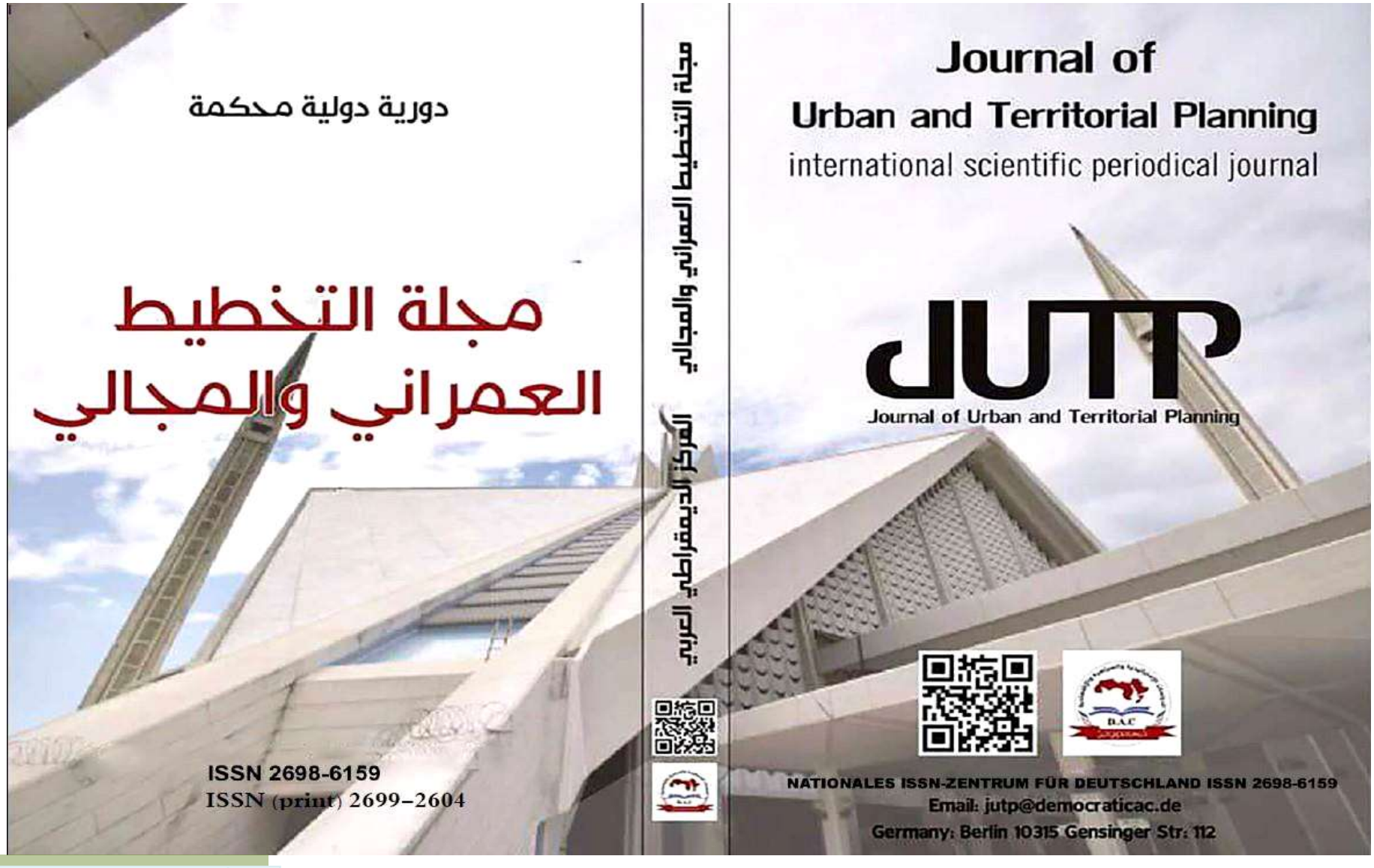
مجلة التخطيط العمراني والمجالي
Journal of Urban and Territorial Planning
العدد 26، 2025
Vol: .. / N°: 26 (2025)
ISSN: 2698 – 6159
ISSN (PRINT): 2699 -2604



مجلة التخطيط العمراني والمجالي

Journal of Urban and Territorial Planning

International Peer-Reviewed Quarterly Journal

Dedicated to publishing research and studies in the field of Urban and Spatial Planning

Published by: Arab Democratic Center – Berlin

مجلة فصلية دولية محكمة

تعنى بنشر البحوث والدراسات في مجال التخطيط العمراني والمجالي

تصدر عن: المركز الديمقراطي العربي – برلين

مدير المركز الديمقراطي العربي

أ.عمار شرعان

President of the Democratic Arab Center
Ammar Sharaan

رئيس التحرير /Editor-in-chief
أ. د. فواز أحمد الموسى / Prof. Fawaz Ahmad Al Moussa

العدد /Issue
26
السنة /Year
December 2025

ISSN: 2698 - 6159

Germany: Berlin 10315
http://democraticac.de http://indexpolls.de
Tel: 0049-code
030-89005468/030-89899419/030-57348845

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

Editorial Board	هيئة التحرير
Editor-in-Chief	**رئيس التحرير**
Prof. Fawaz Ahmad Al-Moussa University of Aleppo - Syrian Arab Republic	**د. فواز أحمد الموسى** جامعة حلب - الجمهورية العربية السورية
Deputy Editor-in-Chief	**نائب رئيس التحرير**
Dr. Adel Moatamed Abdel Hamid Sohag University - Egypt	**د. عادل معتمد عبد الحميد** جامعة سوهاج – جمهورية مصر العربية
Managing Editor	**مدير التحرير**
Maha Asaad Merza University of Aleppo - Syrian Arab Republic	**مها أسعد مرزة** جامعة حلب - الجمهورية العربية السورية

International Advisory Board	الهيئة الاستشارية العلمية الدولية
د. بهجت محمد	المعهد العالي للتخطيط الإقليمي – جامعة دمشق - سوريا
د. سمر محمد سمير الصيرفي	قسم الجغرافية - ونظم المعلومات الجغرافية- جامعة حلب – سوريا
د. فاتحة غوما	كلية الهندسة المعمارية – جامعة بنغازي - ليبيا
د. مكرم شهيب	كلية الهندسة المعمارية – الجامعة الاسلامية - لبنان
د. أحمد محمود ناجي أحمد درويش	كلية الهندسة– جامعة المدينة - مصر
د. سارة عصام محمد علي	كلية الهندسة المعمارية بجامعة المنيا - مصر
د. محمد صلاح عز	كلية الهندسة المعمارية بجامعة عنيزة - السعودية
د. صبحي عبد الحميد	أستاذ نظم المعلومات الجغرافية -الجامعة المصرية الصينية- مصر
د. سمية طالب	قسم الجغرافية - جامعة دمشق – سوريا
ا.د. احمد محرن	جامعة لحج - اليمن
ا.د. محمد حزام العماري	جامعة ذمار- اليمن
د. ميمون المهداوي	جامعة السلطان مولاي سليمان - المغرب
د. محمد أحمد بشار المفتي	جامعة دمشق - سوريا
د. محمد ازهار	جامعة الحسن الثاني المحمدية - المغرب
د. هشام ناجي	جامعة صنعاء - اليمن
د. وسام بن شيخة	جامعة القيروان - تونس
د. ميثم منفي كاظم العميدي	جامعة الحلة - العراق
د. امين عبدالقادر هشله	جامعة حضرموت - اليمن

بيان أخلاقيات النشر

تلتزم مجلة **التخطيط العمراني والمجالي** بأعلى معايير أخلاقيات النشر والنزاهة الأكاديمية. وتلتزم هذه المجلة التزامًا تامًا بتوجيهات **اللجنة الدولية لأخلاقيات النشر (COPE)**. تخضع جميع الأعمال المقدمة لعملية تحكيم دقيقة من قبل النظراء وتتم بنظام **التحكيم المزدوج المجهول** لضمان العدالة والحيادية. يُمنع تمامًا أي شكل من أشكال الانتحال، أو تزوير البيانات، أو الممارسات البحثية غير الأخلاقية، وتخضع هذه الحالات للتحقيق.

Publication Ethics Statement

Journal of Urban and Territorial Planning is committed to upholding the highest standards of publication ethics and academic integrity. This journal strictly follows the guidelines of the **Committee on Publication Ethics (COPE)**. All submitted manuscripts undergo a rigorous **double-blind peer review** process to ensure fairness and impartiality. Any form of plagiarism, data fabrication, or unethical research practices are strictly prohibited and subject to investigation.

© Journal of Urban and Territorial Planning
All rights reserved.

© مجلة التخطيط العمراني والمجالي
جميع الحقوق محفوظة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

التعريف بالمجلة:

مجلة التخطيط العمراني و المجالي، مجلة فصلية دولية محكمة متخصصة في علوم التخطيط العمراني والحضري والإقليمي و تخطيط المدن، وكل ما له علاقة بالبعد التخطيطي بالاعتماد على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، كما تهتم المجلة بتطبيق الهندسة المدنية على جوانب التخطيط الحضري مثل النقل والمنشئات القاعدية، تخطيط المرافق وحماية الأنسجة العمرانية ومواقع التراث، تخطيط المناطق السياحية والمدن الجديدة، تحسين المناطق الحضرية وإعادة تنميتها وتأهيلها،الهندسة المعمارية والتنمية المحلية، الاعتبارات الجمالية، تخطيط استخدام الأراضي، المرافق، إدارة البنية التحتية، تشريعات البناء والتعمير، تخطيط النقل ,البيئة والتخطيط المجالي.

وتهدف هذه المجلة إلى توفير منصة للباحثين العرب والدوليين، وخاصة أولئك الذين يعملون في العالم العربي، لنشر البحوث المتعلقة بالمسائل المرتبطة بالتغيرات السريعة التي تؤثر على البيئة المبنية والقضايا المتعلقة ببرامج التخطيط واستدامة هذه التطورات وآثارها الاجتماعية والاقتصادية والمادية، كما تهدف أيضا بشكل خاص إلى فهم الدوافع وتوضيح التحديات والعوائق التي تواجهها المجالات الحضرية، مما يشكل تحديات كبيرة بالنسبة للدراسة والبحث وجمع البيانات ووضع خطط للتنمية واستدامة هذه المجتمعات وفق مخططات عمرانية ومعمارية تراعي خصوصيات المجال وهوية المجتمع.

محددات النشر

معايير التحكيم الأولي لقبول النشر :

- يجب أن تتوفر في البحوث المقترحة الأصالة العلمية الجادة وتتسم بالعمق.
- يجب ألا يكون المقال قد سبق نشره أو قدم الى مجلة أخرى.
- ألا تكون البحوث المرسلة مستلة من كتب مطبوعة، او جزء من أطروحة.
- تمتلك المجلة حقوق نشر المقالات المقبولة ولا يجوز نشرها لدى جهات أخرى الا بعد الحصول على ترخيص رسمي منها.
- لا تنشر المقالات التي لا تتوفر على مقاييس البحث العلمي أو مقاييس المجلة المذكورة.
- المجلة غير ملزمة بإعادة البحوث المرفوضة الى أصحابها.
- تحتفظ المجلة بحقّ نشر المقالات المقبولة وفق أولوياتها وبرنامجها الخاص.
- البحوث التي تتطلب تصحيح أو تعديل مقترح من قبل لجنة القراءة تعاد الى أصحابها لإجراء التعديلات المطلوبة قبل نشرها.
- على البحوث المقترحة أن تراعي القواعد المنهجية والعلمية المتعارف عليها.
- تخضع كل البحوث المقترحة للتحكيم العلمي من طرف لجنة القراءة وبسرية تامة، بحيث:
- يحق للمجلة اجراء بعض التعديلات الشكلية الضرورية على البحوث المقدمة للنشر دون المساس بمضمونها.
- ترسل الأبحاث على اميل المجلة التالي: jutp@democraticac.de

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

شروط النشر :

- لغات مقالات هذه المجلة: العربية، الإنجليزية، الفرنسية، الألمانية.
- إعداد الصفحة: الورق مقاسA4 ، مع ترك مسافة 2 سم لكافة أبعاد الورقة، والتباعد بين الأسطر singleوعند بداية كل فقرة، يترك فراغ بمقدار(1سم).
- خطوط الكتابة: استخدامTime new Roman لكافة اللغات المعتمدة في المجلة، وبحجم الخط (12) للمتن، وكذلك للعناوين الفرعية ولكن بخط غامق . وبحجم الخط (10) للملخص ولعنوانه (10) غامق، كما يستخدم حجم (10) للهوامش، وللكلمات المفاتيح، ولنهاية البحث من المصادر والمراجع.
- لا يستخدم في البحث نظام الفصول: الفصل الأول، والفصل الثاني، بل يستخدم الترقيم ابتداء من المقدمة، أي أن المقدمة سيسند لها الرقم واحد وهكذا لباقي الفقرات التي سيسند لها الأرقام بحسب تسلسلها، وإذا كانت هناك فقرات فرعية ضمن الفقرة الرئيسية فيتم ترقيمها اعتماداً على رقم الفقرة ورقم تسلسلها (مثلاً ضمن المقدمة التي رقمها واحد توجد فقرات فرعية فالأولى سيكون رقمها كمايلي 1.1 والثانية 1.2 وهكذا). أي سترقم العناوين الأساسية بأرقام أساسية والعناوين الفرعية بأرقام فرعية مثال (1-، 1-1-، 2-، 2-2 -). ويفضل أن يكون الترقيم يدوياً وليس آلياً.

يبوب البحث على النحو التالي:

1. عنوان البحث يظهر في منتصف أعلى الصفحة الأولى من البحث، واسم الباحث (أو الباحثين)، وجهة الدراسة أو العمل، والبلد الذي ينتمي إليه، والعنوان (العناوين)، والبريد الإلكتروني.
2. ثم الملخصAbstract ، الملخص باللغة المعتمدة في البحث وكذلك باللغة الإنكليزية، وإن أمكن باللغة العربية أيضاً. يتألف الملخص من مئة وخمسين كلمة تقريباً، ويحتوي على هدف البحث وأهميته، وأسباب اختيار البحث، والجديد الذي سيضيفه عن الأبحاث السابقة، ومنهج البحث وطريقته (في الجمع والفرز، وفي استخدام البيانات والمعلومات، أو من التقنيات أو وسائل البحث والإحصاء وغيرها)، ولمحة عن النتائج، ثمَّ عرض ترتيب الفقرات التي ستتبع المقدمة.
3. ثم الكلمات المفتاحية الدالة(key words) ، تمثل المواضيع الأساسية بالبحث، ويفضل ألا تكون من العنوان.
4. ثم المقدمة : Introduction تتضمن أهمية البحث وأهدافه وفائدته، جديدهوتميزه عن الأعمال السابقة(لبيان الإضافة في البحث)، وبيان الأسباب الداعية للبحث، وتأثيره.
5. المتن: عرض المعلومات والبيانات والمناقشة والتحليل. ويجب أن يكون تسلسل الأعمال منسقاً بشكل جيد بما يساعد على المتابعة، وعرض الأشكال والصور التفصيلية الواضحة.
6. النتائج والمقترحات. بعرض مساهمات هذا البحث، ومقارنتها بالبحوث المشابهة السابقة، وبيان ما يميزه عنها، ومناقشة النتائج التي تم التوصل إليها، سلباً أو إيجاباً، وإذا كان هناك انحرافات بالنتائج فينبغي توضيح أسباب هذه الانحرافات. تُعرض هذه النتائج بشكل مختصر ومركّز.

- إرفاق نبذة عن سيرة ذاتية للباحث أو الباحثين المشاركين في نهاية البحث.
- حجم البحث لا يقل عن 10 صفحات ولا يزيد عن 20صفحةبما فيها الرسوم والأشكال والجداول.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- أن يتبع المؤلف الأصول العلمية المتعارف عليها في إعداد وكتابة البحوث وخاصة فيما يتعلق بإثبات مصادر المعلومات وتوثيق الاقتباس واحترام الأمانة العلمية في تهميش المراجع والمصادر.
- ترتب المراجع والهوامش في نهاية المقال بحسب الطرق المنهجية المتعارف عليها ووفقا للتسلسل العلمي المنهجي وبطريقة يدوية.
- المراجع والهوامش تكتب بطريقة APA على الشكل الآتي:

في المتن يكتب بين قوسين: لقب الكاتب والسنة والصفحة (اللقب: السنة...، ص..)، وتكتب المعلومات الكاملة في آخر المقال على هذا النحو: اسم ولقب الكاتب، عنوان الكتاب، الجزء، دار النشر، الطبعة، بلد النشر، سنة النشر، الصفحة.

أسلوب عرض المراجع:

- الكتب: اسم المؤلف أو المؤلفين، (سنة النشر)، عنوان الكتاب، اسم المترجم أو المحرر، الطبعة، الناشر، مكان النشر، رقم الصفحة.
- الدوريات والمجلات والتقارير: اسم المؤلف أو المؤلفين، (سنة النشر)، عنوان الدراسة أو المقالة، اسم المجلة، العدد، رقم الصفحة.
- مقالات الجرائد الإخبارية: اسم المؤلف، عنوان المقالة، اسم الجريدة، تاريخ النشر.
- المنشورات الإلكترونيةاسم الكاتب، عنوان المقال أو التقرير، اسم السلسة إن وجدت، اسم الموقع الالكتروني، تاريخ النشر إن وجد.
- في حين يستشهد بالمرجع في قائمة المصادر والمراجع بالنسبة لمقالات الجرائد والمنشورات الالكترونية بإزالة تاريخ المشاهدة والنشر.
- في حالة عدم معرفة اسم الكاتب أو المجلة نكتب بين قوسين (د.ن) وهي تعني دون ناشر.
- في حال عدم معرفة تاريخ النشر نكتب بين قوسين (د.ت) في القوسين الخاصين بالتاريخ وهي تعني دون تاريخ.
- كتابة المراجع باللغة الأجنبية يكون بنفس الطريقة التي تكتب بها المراجع باللغة العربية.
- لا تقسم قائمة المراجع إلى كتب ومجلات وموسوعات بل ترتب ترتيبا ابجديا حسب أسماء المؤلفين.
- توضع المراجع باللغة العربية أولا وبعدها المراجع الأجنبية.

الصورالأشكال والجداول:

- يتم ترقيم الجداول والرسوم التوضيحية وغيرها بحسب ورودها في البحث، مع ذكر العنوان في الأعلى للجدول والأسفل للشكل.
- ترقم الجداول ترقيماً مسلسلاً مستقلاً عن ترقيم الأشكال خلال المتن، ويكون لكل منها عنوانه أعلى الجدول ومصدره أسفله.
- جميع الصور والجداول المستخدمة في البحث لا يجوز أن تكون أعرض من (11سم). حجم الخط داخل الجداول لا تتجاوز. (10)

كلّ ما يرد في المجلة يعبّرعن آراء كاتبه ولا يعكس بالضرورة آراء هيئة التحرير.

Preliminary evaluation criteria for publication acceptance:

- Proposed research must have serious scientific originality and depth
- The article must not have been previously published or submitted to another journal
- The submitted research should not be taken from a publication or part of a dissertation
- The journal owns the rights to publish the accepted articles, and it is not permissible to publish them with other parties except after obtaining an official license from them
- Do not publish articles that are not available on the standards of scientific research or the standards of the aforementioned journal
- The journal is not obligated to return the rejected researches to their owners
- The journal reserves the right to publish accepted articles according to its own priorities and program
- Researches that require correction or modification proposed by the reading committee are returned to their authors to make the required modifications before publishing them
- The proposed articles are sent to the Editorial Board for arrangement and classification, and the articles are presented to the Scientific Committee for evaluation
- All proposed research is subject to double scientific evaluation by the reading committee and in complete confidentiality, so that
- The journal has the right to make some necessary formal modifications to the research submitted for publication without prejudice to its content
- The researcher corrects the errors presented by the evaluations, if any, and sends them back to the journal
- **Research should be sent to the journal's email address: jutp@democraticac.de**

Publication terms

- Languages of articles of this journal are: Arabic, French, English, German
- The author of the research should write his/her name, e-mail address, university and country to which he/she belongs below the research title, with a summary of his/her CV attached, and it should be on a special page within the research
- Attach the research with a summary in both Arabic and English
- Articles are attached to a summary of approximately 150 words, and the summary is translated into English or vice versa, with reference to key words
- Research volume is not less than 10 pages and not more than 20 pages
- Page preparation: A4 size paper, leaving a space of 2 cm for all dimensions of the paper, and the spacing between the lines is single. At the beginning of each paragraph, a distance of (1 cm) is left
- Writing fonts: using Time New Roman for all languages approved in the journal, with a font size of (12) for the text, as well as for subheadings, but in bold. Font size (10) for the abstract and its title (10) in bold, and size (10) is used for margins, keywords, and the end of the research from sources and references
- The submitted research should include a list of references to be included in the latter
- References and footnotes are arranged at the end of the article according to the recognized methodological methods and in accordance with the systematic scientific sequence and in a manual manner

- References and footnotes are written in the APA manner as follows
- In the text, write in brackets: the title of the author, the year and the page (title: the year, p:)
- The complete information is written at the end of the article in this way: the name and surname of the author, the book title, the chapter, the publishing place, the edition, the country of publication, the year of publication, and the page

References writing style

- Name of the author or authors, (year of publication), title of the book, name of the translator or editor, edition, publisher, place of publication, page number
- Periodicals, journals and reports: name of the author or authors, (year of publication), title of the study or article, name of the journal, issue, page number
- Newspaper articles: the name of the author, the title of the article, the name of the newspaper, and the date of publication
- Electronic Publications: Name of the author, title of the article or report, name of the series, if any, name of the website, date of publication
- The reference is cited in the list of sources and references for newspaper articles and electronic publications by removing the date of viewing and publication
- In the event that the name of the writer or journal is not known, we write (N.R) in brackets, which means without a publisher
- In the event that the date of publication is not known, we write (N.D) in parentheses for the date, which means without a date
- Writing references in a foreign language is in the same way as writing references in Arabic
- The list of references is not divided into books, journals, and encyclopedias, but is arranged alphabetically according to the authors' names
- References should be placed in Arabic first, followed by foreign references

Pictures and tables

- Tables, illustrations, etc. are numbered according to their inclusion in the research, with the title mentioned at the top of the table and the bottom of the figure
- The tables are numbered sequentially, independent of the numbering of the figures throughout the text, each of them has its title at the top of the table and its source below it
- All images and tables used in the research may not be wider than (11). The font size within the tables does not exceed (10)

المركز الديمقراطي العربي للدراسات الاستراتيجية والسياسية والاقتصادية – ألمانيا – برلين
Democratic Arabic Center in Berlin – Germany

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

jutp@democraticac.de	البريد الإلكتروني | E-mail
00967777479801	الهاتف | Phone
Germany: Berlin 10315	العنوان | Address
الصفحة الرسمية على المركز الديمقراطي العربي	الموقع الإلكتروني| Website
https://democraticac.de/?page_id=61723	الموقع الخاص بالمجلة
Facebook Accounts https://www.facebook.com/groups/2860991800706590	مواقع التواصل الاجتماعي
The following is a list of the Indexing databases	المجلة مفهرسة ضمن

قاعدة بيانات المكتبة الألمانية الوطنية

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

قائمــة المحتويــات | Contents

	مؤلف/مؤلفو المقال	عنوان المقال	الصفحات
	Author(s)	Title	Pages
01	Mahmood Mohammed Ali Saleh Mansour A.S. Salem Khalil M. A. Qasem	Towards Sustainable Waste Management: Optimizing Nitric Acid Leaching for Cadmium Recovery from Spent Alkaline Batteries	21-11
02	Ms.Sanaa Al-Alaiy1a, Prof. Shaif Saleh Prof. Abdel Kawi Al-Alimi	Assessment of the bacteriological quality and the health risk of heavy metals (non-carcinogenic and carcinogenic) of Household drinking water in Zabid City /Yemen	39-22
03	د. عبد الله اليوسفي د. أحلام عليمي	تحلية مياه البحر بالمغرب: خيار استراتيجي لتحقيق الأمن المائي	53 -40
04	د. نبيلة عبد العزيز خليل القادري د فواز عبدالله باحميش	أثر التغيرات المناخية على العمارة الطينية في مديريات سيئون بمحافظة حضرموت – الجمهورية اليمنية	68-54
05	معروف إبراهيم عمر عقبه	التغيرات المناخية العالمية وتأثيراتها على المناطق الساحلية في محافظة عدن إمكانات التكييف وإجراءات التخفيف	80 -69
06	د. جمال أبوبكر عوض عبّاد	دراسة ميدانية لتقييم ومعرفة الأسباب خلف مشكلة خدمات مياه الشرب في محافظة حضرموت ووضع الحلول	91-81
07	د. حلوي خيرة	إدارة المياه الجوفية العابرة للحدود كآلية لتحقيق الأمن المائي المستدام: دراسة حالة حوض الصّحراء الشّمالي الغربي المشترك بين الجزائر، تونس وليبيا	104 -92
08	د. أمين عبدالقادر حسين هشلة	التقييم الجيومكاني والهيدرولوجي لمخاطر الفيضانات وتأثيرها على الأمن المائي والبيئي في مديرية حصوين (المهرة-اليمن) بعد إعصار تيج: نحو استراتيجيات التكيف المستدام	124 -105
09	امين عبد القادر حسين هشلة باسل عبد الله مبارك شملان	تحليل التباين المكاني وكفاءة التوزيع لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا: دراسة في التخطيط المجالي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)	154 -125

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

أعزائي القـراء والباحثيـن

يسعدني أن أرحّب بكم في العدد السادس والعشرين من مجلة «التخطيط العمراني والمجالي»، والذي يأتي امتدادًا لمسيرة علمية تهدف إلى ترسيخ البحث الرصين وتعزيز المعرفة المتخصصة في قضايا التخطيط العمراني والمجالي والتنمية المستدامة.

إنّ وصول المجلة إلى هذا الإصدار يعكس التفاني المستمر لهيئة التحرير والباحثين المشاركين في تقديم دراسات علمية عالية الجودة، تتناول قضايا معاصرة تتصل بإدارة الموارد المائية، والتغيرات المناخية، والأمن البيئي، والتخطيط الحضري، واستخدام التقنيات الجيومكانية، إضافةً إلى موضوعات الاستدامة البيئية والصحية، وهي قضايا تمثل تحديات جوهرية في عالمنا المعاصر، لا سيما في البلدان النامية والمناطق الهشّة بيئيًا.

ويضم هذا العدد مجموعة متميزة من الأبحاث التي تتنوع في مناهجها العلمية ومجالاتها التطبيقية، بما يعكس البعد التكاملي للتخطيط العمراني والمجالي، ويسهم في إثراء الحوار العلمي وتبادل الخبرات بين الباحثين والمهنيين وصنّاع القرار. ويضم هذا العدد مجموعة من البحوث العلمية المتنوعة التي تعالج قضايا محورية في مجالات التخطيط العمراني والمجالي، والاستدامة البيئية، والأمن المائي، والتغيرات المناخية. إ

نطمح إلى أن تظل هذه المجلة مصدرًا موثوقًا للمعلومات والأبحاث العلمية، ومنبرًا للحوار البنّاء والتبادل الفكري، بما يعزز من دور البحث العلمي في خدمة التنمية المستدامة وتحسين جودة الحياة.

نتمنى لكم قراءة ممتعة ومفيدة، ونرحب بمساهماتكم العلمية ومشاركاتكم البحثية في الأعداد القادمة.

والله وليّ التوفيق.

رئيس التحرير

أ. د. فواز أحمد الموسى

مجلة التخطيط العمراني والمجالي
Journal of Urban and Territorial Planning
العدد 26، 2025
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

Towards Sustainable Waste Management: Optimizing Nitric Acid Leaching for Cadmium Recovery from Spent Alkaline Batteries

Mahmood Mohammed Ali Saleh[1], Mansour A.S. Salem[2] and Khalil M. A. Qasem[3]

[1]Dept, of Chemistry, Faculty of Education University of Aden, Aden, Yemen
[1]Dept, of Chemistry, Faculty of Education University of Aden, Aden, Yemen
[1]Dept, of Chemistry, Faculty of Education University of Aden, Aden, Yemen

Abstract:

The improper disposal of batteries, particularly those containing heavy metals, establishes a critical connection between natural resource contamination and accelerated climate change. Carbon emissions from manufacturing new batteries and landfill operations contribute significantly to atmospheric greenhouse gas concentrations. Simultaneously, contamination of soil and water resources by toxic battery components - including cadmium and lead - damages natural ecosystems that function as essential carbon sinks, such as forests and oceans, thereby compromising the Earth's capacity to absorb carbon dioxide. Cadmium is a highly toxic heavy metal, posing significant risks to living organisms even at trace concentrations. In the nickel-cadmium battery industry, cadmium is typically found in association with nickel and cobalt. This study investigates an optimized hydrometallurgical process for recovering cadmium from spent Ni-Cd batteries. Experimental results demonstrated that nitric acid (HNO_3) exhibits significantly superior leaching efficiency compared to sulfuric acid (H_2SO_4). Consequently, the influence of key parameters—including nitric acid volume, molarity, temperature, and leaching time—on cadmium recovery yield was systematically examined. The optimal leaching conditions were determined to be: 70 mL of 5 M nitric acid at a temperature of 70°C for a duration of 180 minutes, using a 2g sample of spent battery material. The solid recovery products were thoroughly characterized using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), and energy dispersive X-ray spectroscopy (EDX) to elucidate their phase composition, morphology, and elemental distribution. Furthermore, the chemical composition of the leachates was quantitatively analyzed using atomic absorption spectrometry (AAS) to determine the final cadmium recovery efficiency.

Keywords: Battery Recycling, Cadmium Recovery, Nitric Acid Leaching, Process Optimization, Heavy Metal Pollution.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الملخص:

يُثبت التخلص غير السليم من البطاريات، وخاصةً تلك التي تحتوي على معادن ثقيلة، وجود صلة جوهرية بين تلوث الموارد الطبيعية وتسارع تغير المناخ. تُسهم انبعاثات الكربون الناتجة عن تصنيع البطاريات الجديدة وعمليات طمر النفايات بشكل كبير في تركيزات غازات الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي. وفي الوقت نفسه، يُلحق تلوث التربة والموارد المائية بمكونات البطاريات السامة بما في ذلك الكادميوم والرصاص - الضرر بالنظم البيئية الطبيعية التي تعمل كمصارف أساسية للكربون، مثل الغابات والمحيطات، مما يُضعف قدرة الأرض على امتصاص ثاني أكسيد الكربون.

يعَدُّ عنصر الكادميوم (Cd) من المعادن الثقيلة عالية السُمِّيَّة، والتي تشكِّل مخاطر جسيمة على الكائنات الحية حتى عند تراكيزها الشديدة الانخفاض. وفي صناعة بطاريات النيكل-كادميوم، يوجد الكادميوم مرافقاً لعنصري النيكل والكوبالت بشكلٍ نمطي.

تستقصي هذه الدراسة عملية استخلاص مائي-معدني مُحَسَّنة لاسترداد الكادميوم من بطاريات النيكل-كادميوم المستهلكة. وأظهرت النتائج التجريبية تفوُّقاً ملحوظاً لكفاءة استخلاص حمض النيتريك (HNO_3) مقارنة بحمض الكبريتيك (H_2SO_4). وبناءً على ذلك، تم فحص تأثير العوامل الرئيسية والتي تشمل حجم حمض النيتريك، وتركيزه المولي، ودرجة الحرارة، وزمن الاستخلاص على مردود استرداد الكادميوم بشكلٍ منهجي. وتم تحديد الظروف المثلى للاستخلاص على النحو التالي: استخدام 70 مليلتر من حمض النيتريك بتركيز 5 مولار عند درجة حرارة 70 مئوية ولمدة 180 دقيقة، وذلك مع عينة وزنها 2 غرام من مادة البطارية المستهلكة.

وتم توصيف نواتج الاسترداد الصلبة بدقة باستخدام تقنيات حيود الأشعة السينية(XRD) ، والمجهود الإلكتروني الماسح(SEM) ، ومطيافية الطاقة المشتتة للأشعة السينية (EDX) لتوضيح تركيبها الطوري، ومظهرها السطحي، وتوزيع العناصر فيها. تم تحليل التركيب الكيميائي لمستخلصات السوائل كمياً باستخدام مطيافية الامتصاص الذري (AAS) لتحديد الكفاءة النهائية لاسترداد الكادميوم.

الكلمات المفتاحية: إعادة تدوير البطاريات، استعادة الكادميوم، استخلاص حمض النيتريك، تحسين العمليات، تلوث المعادن الثقيلة.

1. Introduction

Nickel-cadmium (Ni-Cd) batteries represent a significant waste management challenge due to their classification as hazardous materials, primarily attributable to the high concentration of toxic cadmium. Currently, industrial recycling of these batteries relies on pyrometallurgical processes, as exemplified by operations such as SNAM in France, SAFT in Sweden, and INMETCO in the USA, which focus on cadmium distillation (Espinosa *et al.*, 2006). While battery recycling is essential for resource conservation and waste reduction, the specific handling of Ni-Cd waste presents critical environmental and health concerns (Salihah & Hafeeh 2013; Spellman & Frank 2018).

The development of efficient recycling strategies is critically motivated by the severe toxicity of cadmium. This heavy metal is a well-established human carcinogen, classified by the International Agency for Research on Cancer (IARC, 2012) as Group 1: Carcinogenic to humans. Recent evidence consistently links cadmium exposure to an increased risk of lung, prostate (Wang & Wang, 2021), and breast cancers (Oliveira & Souza, 2023), as well as multi-organ toxicity affecting the kidneys and skeletal system through mechanisms like oxidative stress (Rahimzadeh *et al.*, 2022).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

Consequently, the recovery of valuable metal content from spent Ni-Cd batteries through environmentally benign processes is not only economically advantageous but also a crucial measure for mitigating environmental pollution (Huang *et al.*, 2009). Substantial research has been dedicated to the hydrometallurgical recovery of metals from battery waste. Previous studies have demonstrated successful extraction of various metals, including 65% manganese, 99.9% cadmium, 100% zinc, 64% nickel, and 74% cobalt, using leaching agents such as sulfuric acid, hydrochloric acid, and organic complexants (Tanong *et al.*, 2016). Specific methodologies for cadmium recovery include liquid-liquid extraction with ionic liquids (Swain *et al.*, 2016), direct electrodeposition (Hazotte *et al.*, 2016), and solvent extraction using phosphorus-based extractants like Cyanex series reagents (Aline *et al.*, 2012; Reddy *et al.*, 2006). Alternative approaches have also employed ferric sulfate as a leaching medium (Umesh & Hong 2014).

Despite these advancements, the widespread application of Ni-Cd batteries, valued for their high energy density and long cycle life (Freitas *et al.*, 2007; Bale *et al.*, 2009), necessitates continued research into developing simpler, more cost-effective, and highly efficient recovery systems. This study aims to contribute to this goal by systematically evaluating various chemical solvents to identify the most effective agent for cadmium leaching from spent Ni-Cd batteries. The influence of key process parameters—including solvent quantity, molarity, temperature, and recovery time—will be investigated to optimize the leaching efficiency and develop an enhanced hydrometallurgical process for cadmium valorization.

2. Materials and Methods

2.1 Materials and apparatus

The spent Ni–Cd battery powder was obtained from FNO 205L – Hoppecke Solar Batteries which were supplied by Yemen Electrical Power Stations-Hadhramout Valley Station. Sulfuric acid (BDH), hydrochloric acid (BDH), nitric acid (BDH), sodium hydroxide (GCC), potassium hydroxide (GCC), sodium carbonate (GCC), and sodium bicarbonate (GCC) Chemicals, as obtained, were used with no further purification process applied. Since the characterization of the metal content produced can provide valuable knowledge for the implementation of successful recycling processes, the chemical composition of spent Ni-Cd battery powder has been investigated using XRD. The XRD pattern was recorded using (Bruker D8 Discover) instrument and copper source at 40 kV and 40 mA was used. Morphology of the sample and leach residues were investigated using (SEM, TESCAN Ultra-High Resolution). This Scanning electron microscope(20 kV) is also equipped with an X-ray, energy dispersive spectroscope (EDS). The chemical analysis of leaching samples was carried out using atomic absorption spectrometer (AAS, iC3000- Thermo).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

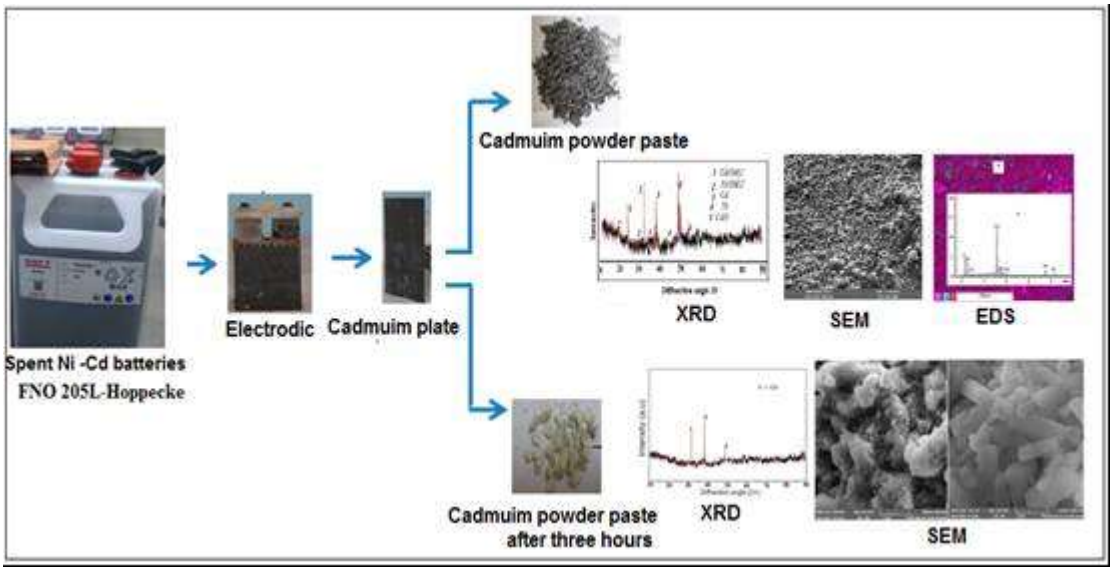


Figure 1. Schematic illustration of the chemical recycling of Cadmium from the Negative electrode of spent Nickel-Cadmium batteries.

2.2. Preparation of Acid and Bases Solutions

All acid and base solutions were prepared in 1 L volumetric flasks. Stock solutions of sulfuric acid (H_2SO_4), nitric acid (HNO_3), and hydrochloric acid (HCl) were systematically diluted to achieve concentrations ranging from 2 to 6 M, following standard dilution principles. Similarly, basic solutions of sodium hydroxide (NaOH), potassium hydroxide (KOH), sodium bicarbonate ($NaHCO_3$), and sodium carbonate (Na_2CO_3) were prepared at a standardized concentration of 2 M. This consistent methodology ensured accurate and reproducible solution concentrations for all subsequent experimental procedures.

2.2Material Recovery Procedure

Spent Ni-Cd batteries were manually dismantled to separate their components. The electrode assemblies were carefully excised from their supporting panels. The cadmium anode plates underwent sequential cleaning with tap water followed by distilled water, then were sectioned into fine fragments and pulverized using a mortar and pestle.

The resulting anode powder was subjected to systematic leaching treatments using various acid and base solutions. Following each leaching process, the mixtures were filtered, and the obtained leachates were evaporated to dryness. The recovered cadmium content was quantitatively determined using atomic absorption spectrometry (AAS), with recovery efficiency calculated based on leachate concentration measurements. Figure 1 presents a schematic overview of the battery dismantling process and material identification stages throughout the chemical treatment sequence.

3. Results and Discussion

3.1 Anode Material Characterization

The chemical composition of the Ni-Cd battery anode was determined through AAS, EDS, and XRD analyses following digestion in HNO_3, H_2SO_4, and HCl. Figure 2a displays the SEM micrograph of the anode powder, revealing a predominantly loose particulate morphology with limited aggregation. This structural observation suggests effective material solubility, consistent with established dissolution mechanisms reported in literature (Nogueira *et al.*, 2004; Randhawa *et al.*, 2015).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

X-ray diffraction analysis (Fig. 2b) confirmed the presence of metallic Cd (JCPDS: 04-0850), $Cd(OH)_2$ (JCPDS: 31-0228), CdO_2 (JCPDS: 27-0956), and metallic Ni (JCPDS: 04-0850) in the anode material. The elemental composition determined by AAS and EDS (Table 1) revealed nickel and cadmium as the predominant constituents, with minor amounts of Si, Co, and K. Notably, the cadmium content in the present sample exceeded values typically reported in literature for spent Ni-Cd batteries (Nogueira *et al.*, 2004; Randhawa *et al.*, 2015; Nogueira & Margarido; Pietrelli et al., 2005).

EDS spectral analysis (Fig. 2c, 2d) further identified carbon and cobalt as additional components, consistent with their known role as conductive additives in electrode formulation (Nogueira *et al.*, 2004; Randhawa *et al.*, 2015). The detected oxygen signature correlates with the observed cadmium and cobalt oxides, while potassium is likely derived from residual KOH electrolyte adsorbed on the material surface.

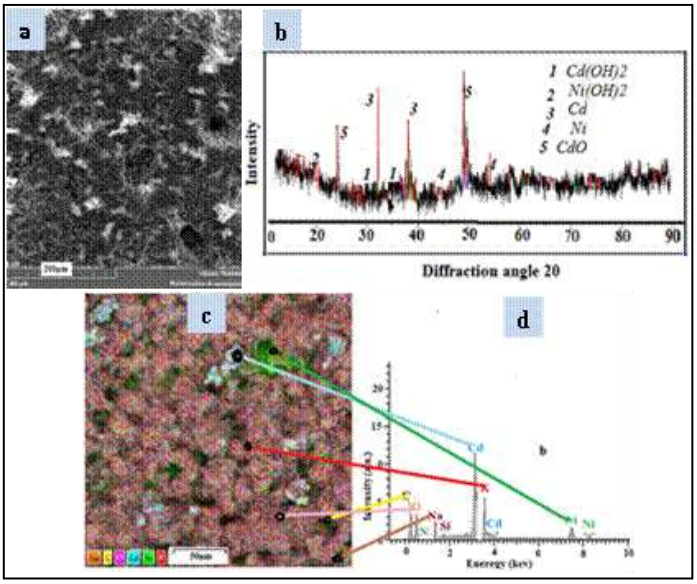


Figure 2. (a) Scanning electron micrograph, (b) XRD , (c) and (d) Energy dispersive X-ray (EDX) spectrum for powder obtained from the negative electrode of spent Ni–Cd battery batteries.

Table 1. Chemical composition of spent Ni-Cd battery powder of the negative electrode and leached residue.

Element	Chemical composition Spent Ni–Cd battery powder	Leached residue (Wt.%)
Cd	49.0	99.0
Ni	3.4	Not found
Si	1.6	0.04
K	11.1	Not found
Co	2.2	Not found

3.2. Leaching Studies

3.2.1. Cadmium Recovery Efficiency of Various Leachants.

The leaching efficiency of different acidic and basic solutions (Na_2CO_3, KOH, $NaHCO_3$, NaOH, HCl, HNO_3, H_2SO_4) was evaluated under standardized conditions: 2 M concentration, 15 mL solvent volume, 2.5 g anode material, 25°C, and 60-minute duration. As shown in Figure 3a, acidic solutions demonstrated superior cadmium recovery compared to basic solutions. Nitric acid (HNO_3) achieved the highest

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

recovery yield, while sodium carbonate exhibited the lowest efficiency. The dissolution mechanisms for different phases in acidic media were simulated using the reaction module in FACTS age 6.1 (Nogueira *et al.*, 2004; Bale *et al.*, 2009).

$$Cd(OH)_{2\,(s)} + 2HCL \rightarrow CdCL_{2(L)} + 2H_2O \quad (1)$$

$$Cd(OH)_{2\,(s)} + 2HNO3 \rightarrow Cd(NO_3)_{2\,(L)} + 2H_2O \quad (2)$$

$$Cd(OH)_{2\,(s)} + H_2SO_4 \rightarrow CdSO_{4(L)} + 2H_2O \quad (3)$$

The recovery percentage was calculated as follows [24]:

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{\text{metal in solution (mg}}{\text{metal in sample (mg)}} \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

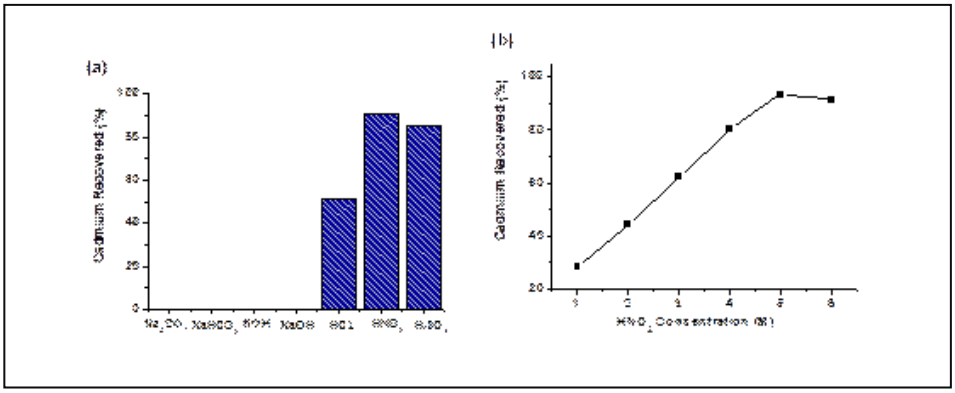


Figure 3. (a) The cadmium recovery (%) using different chemical solutions for 2.5 g paste, (b) effect of HNO_3 concentration on recovering process.

3.2.2. Effect of Nitric Acid Concentration

Building upon the superior performance of nitric acid identified in the previous section, its concentration was systematically varied from 1 to 6 M to quantify its effect on leaching efficiency. Figure 3b demonstrates a positive correlation between acid concentration and cadmium recovery, with yield increasing progressively up to a maximum of 93.31% at 5 M concentration. Beyond this point, the recovery rate plateaued, indicating approach to saturation at 6 M. These findings align with trends reported in comparable hydrometallurgical studies (Nogueira *et al.*, 2004; Bale *et al.*, 2009), confirming 5 M HNO_3 as the optimal concentration for maximal cadmium extraction under the investigated conditions.

3.2.3 Effect of Cadmium Paste Mass

The influence of cadmium paste mass on leaching efficiency was investigated using 5 M nitric acid with varying solid masses (1-3 g). Figure 4a illustrates the recovery percentages, revealing an optimal cadmium recovery at 2 g of paste mass. Beyond this mass, a decline in recovery efficiency was observed, with the 3 g sample yielding the lowest extraction rate. Consequently, 2 g was established as the optimal paste mass, representing the threshold for maximizing cadmium recovery under the specified leaching conditions.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

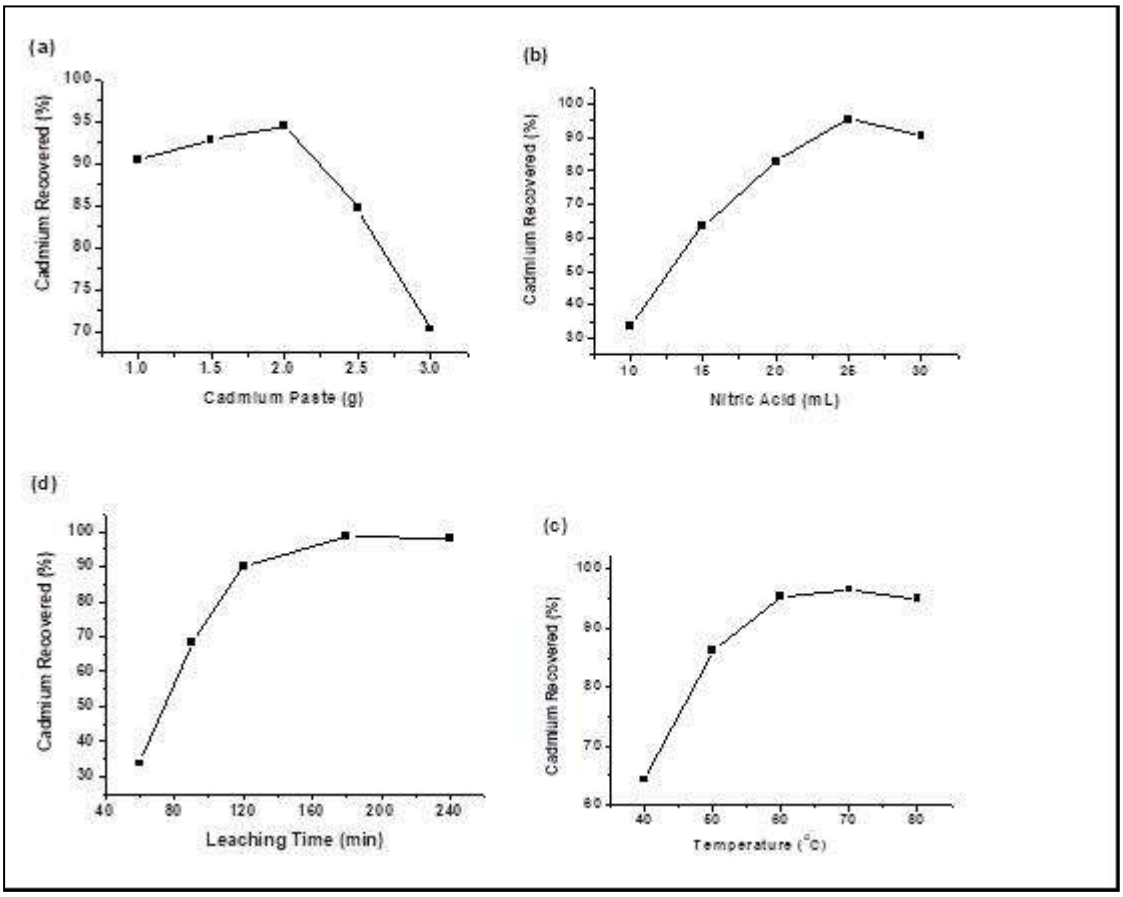


Figure 4. percentage of the extracted cadmium against (a) the crushed plate quantity (b) solvent quantity (c) temperature and (d) time of the extraction process.

3.2.4 Effect of Nitric Acid Volume.

Following the determination of optimal concentration (5 M) and paste mass (2 g), the effect of nitric acid volume on cadmium recovery was investigated. Various volumes (10-30 mL) of 5 M HNO_3 were reacted with 2 g of cadmium paste. As shown in Figure 4b, cadmium recovery efficiency increased with acid volume, reaching a maximum of 95.32% at 25 mL. Beyond this optimal volume, a 5% decrease in recovery was observed at 30 mL, establishing 25 mL as the optimum nitric acid volume for maximal cadmium extraction efficiency (Randhawa *et al.*, 2015).

3.2.5 Effect of Leaching Temperature.

The influence of temperature on leaching efficiency was investigated by conducting experiments at temperatures ranging from 30 to 80°C, maintaining constant optimal parameters of 25 mL 5 M HNO_3 and 2 g cadmium paste. As shown in Figure 4d, cadmium recovery exhibited a positive temperature dependence, increasing progressively to reach a maximum yield of 96.5% at 70°C. Notably, the recovery rate demonstrated negligible enhancement beyond 60°C, indicating system saturation. This temperature-dependent behavior aligns with established reaction kinetics and is consistent with previous studies on hydrometallurgical extraction (Randhawa *et al.*, 2015; Abdel-Aal *et al.*, 2004; Al-Mansi & Monem 2002).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

3.2.6 Effect of Leaching Time.

The influence of leaching duration on cadmium recovery was investigated over intervals of 60-240 minutes under optimal conditions (25 mL of 5 M HNO_3, 2 g cadmium paste). As shown in Figure 4c, recovery efficiency increased with time, reaching a maximum of 98.52% at 180 minutes. Further extension to 240 minutes resulted in saturation, indicating completion of the extraction process (Randhawa *et al.*, 2015).

Phase analysis of leaching residues by XRD (Figure 5a-b) confirmed progressive dissolution of cadmium compounds. After 120 minutes, minor CdO_2 phases persisted (JCPDS: 27-0956) (Zhang *et al.*, 2022), while the 180-minute sample exhibited complete conversion to metallic cadmium. Corresponding SEM micrographs (Figure 5c-d) revealed significant morphological evolution, with 120-minute samples showing finer particulate structures that coalesced into larger, porous aggregates by 180 minutes. This microstructural transformation correlates with the progressive dissolution of mesh-like cadmium formations and exposure of underlying pitted connective structures.

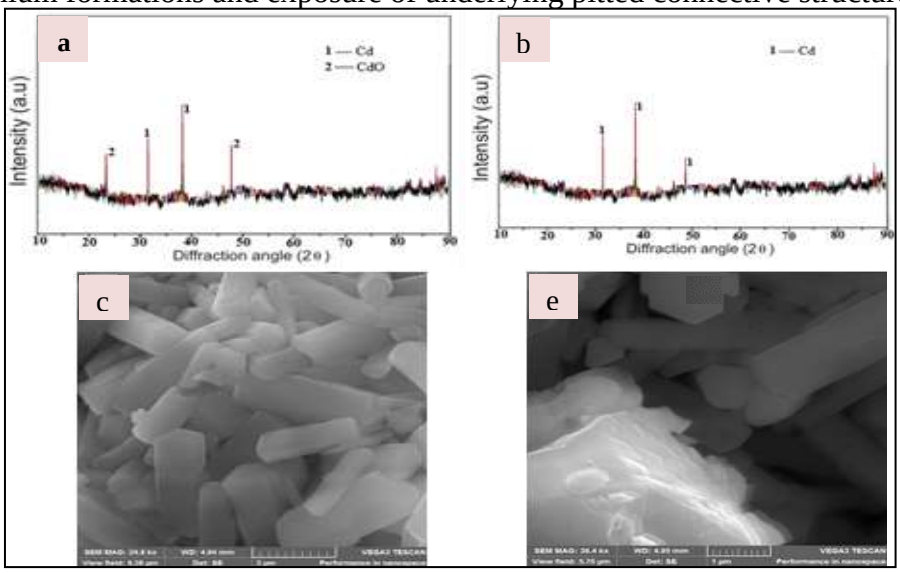


Figure 5. X-ray diffraction pattern and SEM for samples leached for (a and c) 120 min and (b and e) 180 min.

4. Conclusions

This study demonstrates an effective hydrometallurgical process for cadmium recovery from spent Ni-Cd battery anodes using nitric acid leaching. The optimized parameters—5 M HNO_3 concentration, 70°C temperature, and 180-minute duration—achieved a remarkable cadmium recovery efficiency of 98.52%. Systematic characterization via SEM and XRD revealed progressive morphological transformations consistent with the shrinking core model, confirming the dissolution mechanism. The principal innovation of this work lies in achieving near-complete cadmium recovery (~99%) using moderate-temperature acid leaching, presenting an efficient and potentially scalable alternative to conventional pyrometallurgical methods for heavy metal reclamation from hazardous battery waste.

5. Acknowledgments

The authors extend their sincere appreciation to the Surface Science Laboratory at the Chemistry Department of Kabardino-Balkarian State University (KBSUN), Nalchik, Russia, for performing sample characterization and

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

analysis. Gratitude is also expressed to Hadhramout University, College of Science, for providing the research facilities essential for the completion of this study.

6. References

- Abdel-Aal, E. A., & Rashad, M. M. (2004). Kinetic study on the leaching of spent nickel oxide catalyst with sulfuric acid. *Hydrometallurgy*, *74*(3-4), 189–194.
- Al-Mansi, N. M., & Monem, N. A. (2002). Recovery of nickel oxide from spent catalyst. *Waste Management*, *22*(1), 85–90.
- Bale, C. W., Bélisle, E., Chartrand, P., Decterov, S. A., Eriksson, G., Hack, K., Jung, I.-H., Kang, Y.-B., Melançon, J., Pelton, A. D., Robelin, C., & Petersen, S. (2009). FactSage thermochemical software and databases — recent developments. *Calphad*, *33*(2), 295–311.
- Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2006). Recycling of nickel–cadmium batteries using coal as reducing agent. *Journal of Power Sources*, *157*(2), 600–604.
- Freitas, M. B. J. G., Penha, T. R., & Sirtoli, S. (2007). Chemical and electrochemical recycling of the negative electrodes from spent Ni–Cd batteries. *Journal of Power Sources*, *163*(2), 1114–1119.
- Goering, P. L., Waalkes, M. P., & Klaassen, C. D. (1994). Toxicology of metals, biochemical effects. In R. A. Goyer & M. G. Cherian (Eds.), *Handbook of Experimental Pharmacology: Vol. 115. Toxicology of Metals* (pp. 189–214). Springer.
- Hafeeh, S. (2013). *The environmental and economic importance of recycling solid waste in industrial establishments and its relationship to sustainable development, a field study at the level of the metal conversion company* [Master's thesis, University of Khamis Meliana].
- Hazotte, C., Leclerc, N., Meux, E., & Lapicque, F. (2016). Direct recovery of cadmium and nickel from Ni-Cd spent batteries by electro-assisted leaching and electrodeposition in a single-cell process. *Hydrometallurgy*, *165*, 94–103.
- Hoffmann, L., Putzke, H. P., Kampehl, H. J., Russbült, R., Gase, P., Simonn, C., Erdmann, T., & Huckstorf, C. (1985). [Article title]. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, *109*, 193–199.
- Huang, K., Li, J., & Xu, Z. (2009). A novel process for recovering valuable metals from waste nickel–cadmium batteries. *Environmental Science & Technology*, *43*(23), 8974–8978.
- International Agency for Research on Cancer. (2012). Cadmium and cadmium compounds. In *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 100C: Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts*. IARC Press.
- K., T., L., C., G., M., & J. F., B. (2016). Recovery of metals from a mixture of various spent batteries by a hydrometallurgical process. *Journal of Environmental Management*, *181*, 95–107.
- Li, J., Zhang, Y., Wang, L., & Chen, W. (2022). Insight into the leaching kinetics of cadmium from hazardous leaching residue: Mechanisms and phase transformations. *Journal of Hazardous Materials*, *424*(Part C), 127582.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- Nogueira, C. A., & Margarido, F. (2004). Leaching behavior of electrode materials of spent nickel–cadmium batteries in sulphuric acid media. *Hydrometallurgy, 72*(1-2), 111–118.
- Nogueira, C. A., & Margarido, F. (2007). Chemical and physical characterization of electrode materials of spent sealed Ni–Cd batteries. *Waste Management, 27*(11), 1570–1579.
- Oliveira, M. M., & Souza, V. C. (2023). Cadmium as a breast carcinogen: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Research, 216*(Pt 3), 114696.
- Pietrelli, L., Bellomo, B., Fontana, D., & Montereali, M. R. (2005). Characterization and leaching of NiCd and NiMH spent batteries for the recovery of metals. *Waste Management, 25*(2), 221–226.
- Rahimzadeh, M. R., Rahimzadeh, M. R., Kazemi, S., & Moghadamnia, A. A. (2022). Cadmium toxicity and treatment: An update. *Caspian Journal of Internal Medicine, 13*(2), 367–373.
- Randhawa, N. S., & Kumar, K. G. (2015). Leaching kinetics of spent nickel–cadmium battery in sulphuric acid. *Hydrometallurgy, 158*, 1–5.
- Reddy, B. R., Priya, D. N., & Park, K. H. (2006). Separation and recovery of cadmium(II), cobalt(II) and nickel(II) from sulphate leach liquors of spent Ni–Cd batteries using phosphorus based extractants. *Separation and Purification Technology, 50*(2), 161–166.
- Spellman, F. R. (2018). *The science of environmental pollution* (3rd ed.). CRC Press.
- Ştefănuţ, M. N., Căta, A., & Sfîrloagă, P. (2008). Electrochemical recovery of nickel and cadmium from spent Ni-Cd batteries. *Chemical Bulletin of "POLITEHNICA" University of Timişoara, Romania, 53*(67), 1-2.
- Swain, S. S., Nayak, B., Devi, N., Das, S., & Swain, N. (2016). Liquid–liquid extraction of cadmium (II) from sulfate medium using phosphonium and ammonium based ionic liquids diluted in kerosene. *Hydrometallurgy, 165*, 1–25.
- Umesh, U. J., & Hong, H. (2014). Removal of nickel and cadmium from battery waste by a chemical method using ferric sulphate. *Environmental Technology, 35*(10), 1263–1268.
- Wang, M., & Wang, Z. (2021). Cadmium and its epigenetic effects on prostate cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 24*(5), 215–235.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

Assessment of the bacteriological quality and the health risk of heavy metals (non-carcinogenic and carcinogenic) of Household drinking water in Zabid City /Yemen

Ms.Sanaa Al-Alaiy[1a], Prof. Shaif Saleh[2,3,4*], Prof. Abdel Kawi Al-Alimi[5]

[1] *Ph.D Student, Chemistry Dep., Faculty of Education-Aden, University of Aden, Yemen*
[2] *Professor of the Environmental Chemistry and Environmental Assessment, Chemistry Dep., Faculty of Science, University of Aden, Yemen*
[3] *Technical Adviser to the Center for Environmental & Climate Studies, University of Aden,*
[4] *Chairman of the Advisory Committee of the International Scientific Conference "Environmental Protection and Water Security in the Era of Climate Changes, 28-29 Oct 2025"*
[5] *Professor of the Environmental Science, Dep. of Environmental Sciences, Faculty of Marine Science and Environment, Hodiedah University, Yemen*

Abstract:

The objective of this work is to assess the bacteriological quality and its safety to the public and evaluate the health risks of exposure to heavy metals in household drinking water (HDW) in Zabid City, Yemen. Samples were collected, and chemical and microbiological analyses were carried out according to the standard methods suggested by the American Public Health Association . The microbiological results of this work showed that 63% of samples were found positive for fecal coliform (E. coli). Other contaminating bacteria besides E. coli were identified and confirmed by biochemical tests. The concentrations of F-, NO_3, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Fe, Al, and Ba were under the permissible limits set by WHO and local standards. The results of the health risk assessment illustrated that the Hazard Index (HI) values in 96% of the samples exceeded the safe limit of HI < 1.0, indicating that there is a potential health risk (non-carcinogenic) due to the consumption of drinking water in Zabid City. The Cancer Risk values of Cr and Cd in all HDWs were within the safe limit (10^{-4}), but the CR values of Ni were higher than the safe limit (10^{-4}) in 83% of samples, indicating that Ni had a chance of cancer risk. Treating water before drinking by boiling or chlorination to avoid microbiological pollution was recommended.

Key words: Health risk assessment, Bacteriological quality, Drinking water, Zabid City, Yemen.

الملخص:

يهدف هذا البحث إلى تقييم الجودة البكتريولوجية وسلامتها على الجمهور، وتقييم المخاطر الصحية الناجمة عن التعرض للمعادن الثقيلة في مياه الشرب المنزلية في مدينة زبيد، اليمن. جُمعت العينات، وأُجريت عليها تحاليل كيميائية وميكروبيولوجية وفقًا للطرق القياسية التي اقترحتها الجمعية الأمريكية للصحة العامة. أظهرت النتائج الميكروبيولوجية لهذا العمل وجود بكتيريا القولون البرازية (الإشريكية القولونية) في 63% من العينات. كما تم تحديد بكتيريا ملوثة أخرى إلى جانب الإشريكية القولونية، وتأكيدها بالتحليل الكيميائي الحيوي. وكانت تركيزات F-، وNO_3، وCu، وZn، وCd، وCr، وMn، وCo، وNi، وFe، وAl، و Baأقل من الحدود المسموح بها التي وضعتها منظمة الصحة العالمية والمعايير المحلية. أظهرت نتائج تقييم المخاطر الصحية أن قيم مؤشر الخطر (HI) في 96% من العينات تجاوزت الحد الآمن البالغ1.0 > HI ، مما يشير إلى وجود خطر صحي محتمل (غير مسرطن) نتيجة استهلاك مياه الشرب في مدينة زبيد. كانت قيم خطر الإصابة بالسرطان للكروم والكادميوم في جميع العينات ضمن الحد الآمن (10^{-4})، بينما كانت قيم مؤشر الخطر للنيكل أعلى من الحد الآمن (10^{-4}) في 83% من العينات، مما يدل على ان النيكل لديه فرصة لخطر الاصابة بالسرطان.لذا نوصي بمعالجة المياه قبل الشرب بالغليان أو الكلورة لتجنب التلوث الميكروبيولوجي.

الكلمات المفتاحية: تقييم المخاطر الصحية، الجودة البكتيرية، مياه الشرب، مدينة زبيد، اليمن.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

1. Introduction

Frequent outbreaks of water-borne infections in both rural and urban areas of developing countries serve as a warning that water quality is becoming a serious issue. It is estimated that 842,000 people die from diarrheal disease each year as a result of water borne illnesses, which continue to pose a serious health threat in many regions of the world. (Chalchisa,et al: 2017,p1) According to World Health Organization each year 3.4 million people, mostly children, die from water borne diseases. According to United Nations Children's Fund assessment, 4000 children die each day as a result of contaminated water(Pandey, et al:p2). Bacterial contamination could happen at the source, during distribution, during transit, or as a result of improper domestic handling, hygiene, and sanitation procedures (Ondieki,et al:2021,p2). Health risk assessment of heavy metals is usually carried out to evaluation the total exposure to heavy metals among the people in a particular area. Risk assessment of pollutants in humans is based on a mechanistic assumption that such chemicals may either be carcinogenic or non-carcinogenic (Mohammadi, et al: 2019,p1644). The interruption of drinking water supply in Zabeid city from the starting the military conflict hindered the distribution of water to the city's residents, which resulted in the use of storage tanks Water is obtained from unsafe water tanks. Water stored in an unsanitary manner may be contaminated and can cause waterborne diseases. The current work aimed to evaluated bacterial household drinking water quality and health risk assessment of F^- , NO^-_3 and selected heavy metals in Zabid city, Yemen.

2. Methodology

2.1 Study area

Zabeid City is located in the southern of Al Hudaydah Governorate in Yemen between latitude (14 11' 41" E) and longitude (43 18' 56" N) in the southern part of the Tehama coastal plain figure (1) and figure (2).

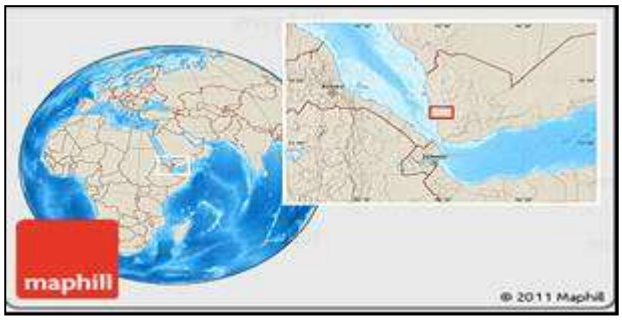


Figure (1): Map of study area

Figure (2): Image satellite map of study area

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

2.2 Sample collection

Thirty household drinking water samples (HDWS) were collected in the month of December , 2021 from four residential zones from the city of Zabid(Aleali , Aljamie, Almujanbidh and Aljuz). HDWS were collected in 1L sterile glass container for microbiological analysis and 500ml clean polyethylene bottles for heavy metals analysis after being washed using dilute hydrochloric acid and distilled water in the laboratory, and then it is washed several times with the water sample from which the water sample will be collected. All samples were numbered, saved and refrigerated at temperature of 4ºC to preserve the cations and the microorganism before transported to the Laboratory for analyses at the Laboratories of Al jarrahi Institute of Health Sciences and the Hydrochemistry in the Department of applied Geology and Environment at the Faculty of sciences at the Jordon University.

2.3 Sample Analysis

For Total Coliforms and fecal coliform were used the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater adapted from the American Public Health Association 1999 based on the Most Probable Number (MPN) technique (APHA:1999,p1786)

The Most Probable Number (MPN):

Presumptive test

Presumptive test was performed by a method of most probable number (MPN). Following strict aseptic procedures, the sample was shaken vigorously. MacConkey broth was used (for total coliform bacteria), inoculation each with 5ml of sample and 5ml of the medium with inverted Durham tubes were incubated at 37ºC for 48 hours and examined for acid and gas production. Acid production was determined by colour change of the broth from reddish purple to yellow and gas production was checked for by entrapment of gas in the Durham tube

Confirmatory test of bacteria : Confirmatory test of bacteria was carried out by streaking a loopful of broth from a positive tube in presumptive test onto MacConkey agar plate for pure colonies. The plates were incubated at 37ºC for 24-48 hours. Colonies developing on MacConkey agar medium were further identified as faecal coliforms.

Characterization of isolates:

The macroscopic examination for colonies morphology and microscopic examination through Gram staining and biochemical tests (KIA Medium, urease, citrate, indole, Oxidase, and Motility) were used in identifying all isolates(Cheesbrough, Monica: 2006p62).

Flam atomic absorption spectroscopy (FAAS) model AA analyst 200 from Perkin-Elmer company was used as instrumental detection system using hollow cathode lamps.10 cm air–acetylene burner was used for the determination of the metals ion. A Perkin-Elmer Model analyst 200 is a double-beam atomic absorption spectrometer for flame and mercury/hydride analysis. All prepared sample solution was analyzed to determine concentration of F, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Fe, Al and Ba. Blank solution was also measured before the sample analysis using the same conditions.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

2.4 Health Risk Assessment

The health risk assessment classified as a carcinogen or non-carcinogen and using two indictors: Hazard Quotient(HQ) and Hazard Index(HI) as proposed by US Environmental Protection Agency (USEPA) (Malek &Jari: 2021, p4). In current study, health risk due to ingestion content of heavy metal of household drinking water samples at Zabid city was detected. Equations (1-3) were applied to assessment the non-carcinogen health risk. First the Chronic Daily Intake(CDI) of individual heavy metal was determined based on equation (1) as following:

$$CDI = \frac{CM \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (1)$$

Where:
CM (mg/L): Concentration of heavy metals in water,
IR: Drinking water ingestion rate ((L/day),
EF: The exposure frequency (Days/year),
ED: The exposure duration (year),
BW: Body weight (kg).
AT: The average resident time (days/year). The input parameters for the estimation of CDI through oral ingestion absorption are summarized in **Table (1).**

Table(1): The input parameters for the estimation of CDI through oral ingestion absorption.

Symbol	Description	Unit	Value
Cw	Heavy metal concentration	mg /l	-
IR	Ingestion rate of water	l/day	2.5
EF	Exposure frequency	Days/year	250
ED	Exposure duration	Years	50
BW	Body weight	Kg	55
AT	Averag time	Days	14600
Note: (Dhar, et al: 2020,p240)			

After that the Hazard Quotient(HQ) and Hazard Index were determined by equations(2) &(3)

$$. HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (2)$$

Where:
Rfd is reference dose (in mg/kg day) for the metal.

$$HI = \sum_{i=1}^{n} HQ \quad (3)$$

If the HI < 1 means the non-carcinogenic risk is acceptable, while HI > 1 indicates the risk is beyond the acceptable level (Luvhimbi, et al: 2022,p5).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

The cancer risks(CR) is defined as the likelihood that an individual will develop any type of cancer from lifetime exposure to carcinogenic risk (Seleem, et al: 2021,p6). The Carcinogenic health risk of HDWS was determined based on equation(4).

$$CR = CDI \times sF \quad (4)$$

Where:

SF is the slope factor (mg/kg/day).

Table (2) displays the values of oral reference dose (Rfd) and slope factor (SF).

Table(2): The values of oral reference dose(Rfd) and slope factor(SF).

	F	NO^-_3	Cu	Zn	Cd	Cr	Fe	Mn	Co	Ni	Al	Br
Rfd(mg/kg-day)	0.06	1.6	0.04	0.3	0.0005	0.003	0.7	0.024	0.0003	0.02	1.0	0.2
SF (mg/kg-day)	-	-	-		0.38	0.5	-	-	-	1.7	-	-

Note: (Malek &Jari: 2021, p4)

3. Results and Discussions

3.1 Microbiological Content

The total coliform group is considered a primary indicator for the presence bacteria and pathogenesis in drinking water (Saleh and Al-sallami:2022,P109). The World Health Organization(WHO) and Yemen's Ministry of Water and Environment (YMWE) recommended that the absence of total coliform in public drinking water supplies. As illustrated from **Table (3)** all of the HDWS were contaminated with lactose fermentation positive bacteria which were determined by color the formation of gas in the Derhum tube after 24 hours of incubation at 37^0C.

According the probability tables, the sixteen of the household drinking water Samples (53.33%) (10,1,11,12,21,22,3,14,16,18,19,20,25,26,29.28) showed maximum counts of positive results for each of the 5 test tubes by observing the formation of gas resulting ≥18 MPN/100 ml of sample. samples (2 and 4) showed lowest count as 2 MPN/100 mL of sample. Nineteen (63%) out of 30 water samples were found positive for faecal coliform (*E. coli*). This results surpassed the safe limits of WHO and YMWE Which, that means dangerous indicator of the water pollution.

To demonstrate the full profile of microbial contamination of the (HDWS), other contaminating bacteria besides Escherichia coli were identified and confirmed by biochemical determination **(Table 4)**. *Klebsiella P Pneumoniae, Enterobacter aerogenes, Proteus mirabilis, Proteus vulgaris, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella Typhimurium and Salomenella Typhi* were identified after conducting the biochemical tests. *Proteus mirabilis and Klebsiella P Pneumoniae* were found to be the prominent microorganisms in seven (23%) and six (20%) samples respectively. *Proteus vulgaris* and *Enterobacter aerogenes* were detected in five & six samples respectively. Pseudomonas aeruginosa was found in three samples (sample no 1,12 and 27). Salomenella Typhi was detected in two samples (sample no 17 & 19). Salmonella Typhimurium was found (only in sample no 16). The deterioration of water quality might be due to storing of water, no cleaning drinking water tank periodical, not disinfection the drinking water by boiling or using chlorine and lacking awareness of water polluted water. Previous studies reported that the both unsafe water piped and storing of water attributed to water pollution(Chalchisa, et al:2017,p3) .The results of

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

microbiological quality in present study agree with previous study such as: according to (Saleh, et al:2017a,P14)the results of groundwater of rural areas for Zabid directorate in Al Hudaydah governorate showed that the total coliform test were positive in all groundwater samples and the E. Coli presences in 95% of studied samples. According to (Saleh & Al-Sallami: 2022,p110) the tests of total coliform and E. Coli were positive in 75% and 15% of ground water in Tuban delta. Similar study by(Bekele and Teka.:2023,p4) in slum households of Hawassa City, Ethiopia found that the tests of total coliform and E. coli were positive in (46.7%) and (31.7%) of studied sampled respectively. According to (Bin Hameed, et al: 2019,p188) the results of microbiological quality in Mukalla City in Hadhramout governorate indicated that the bacterial contamination of drinking water was recorded in 8 schools by Escherichia coli 33%, coliforms of Proteus spp 25%, Citrobacter spp 17% and Staphylococcus spp 25%. The results of drinking water in Kisii Town, Kenya by (Ondieki, et al:2021,p4) recorded that 39.3% of the samples were contaminated with total coliforms and 17.5% with E. coli. According to (Hung, et al:2020,p5) 9.7% and 7.8% of studied samples were contaminated by Coliform and/or E. Coli respectively.

Table (3): The results of microbiological content household drinking water

Sample	**Zone**	Total Coliform	MPN/100ml	*E. Coli*
1	**Almujanbidh**	Positive	2	+
2		Positive	3	+
3		Positive	6	+
4		Positive	7	+
5		Positive	9	+
6		Positive	16	+
7		Positive	>18	+
8	**Aleali**	Positive	>18	+
9		Positive	>18	-
10		Positive	>18	-
11		Positive	6	+
12		Positive	>18	+
13		Positive	>18	-
14		Positive	16	+
15		Positive	7	+
16	**Aljuz**	Positive	>18	-
17		Positive	>18	+
18		Positive	9	-
19		Positive	>18	+
20		Positive	16	-
21		Positive	>18	+
22		Positive	>18	-
23		Positive	>18	+
24	**Aljamie**	Positive	2	-
25		Positive	9	+
26		Positive	>18	+
27		Positive	>18	+
28		Positive	16	+
29		Positive	>18	-
30		Positive	>18	+

Table (4): Species of bacterial Isolates in household drinking water drinking water samples										
Species	Percentage %	KIA Medium				Urease	Citrate Test	Indole Test	Oxidase test	Motility
		Slope	Butt	H2S	Gas					
Proteus vulgaris	17	R	Y	+	+	+	+	-	-	+
Pseudomonas aeruginosa	10	R	R	-	-	-	+	-	-	+
Salmonella Typhimurium	3	R	Y	+	-	-	+	-	-	+
Salomenella Typhi	7	R	Y	+	-	-	-	-	-	+
Proteus mirabilis	23	R	Y	+	+	+	+	-	-	+
Enterobacter aerogenes	20	Y	Y	-	+	-	+	-	-	+
Klebsiella P Pneumoniae	20	Y	Y	-	+	+	+	-	-	-

3.2 Fluoride, Nitrate and heavy metals concentration in HDWS:

Table (5) presents Descriptive Data of Fluoride, Nitrate and heavy metals in the HDWS in zabied city. The mean concentration of (F^-, NO_3^-,Cu, Zn, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Fe, Al &Ba) were 0.69, 24.51, 0.00313, 0.00313, 0.00156, 0.00253,0.00346,0.00153,0.00293, 0.00613, 0.00293 & 0.127) respectively. As well as the range concentration were (0.38-1.07) for F, (15.14- 32.5) for NO^-_3 , (0.001-0.005) for Cu, (0.001-0.006) for Zn, (0.001-0.005) for Cd, (0.001-0.002) for Cr, (0.004-0.009) for Fe, (0.001- 0.006) for Mn, (0.001-0.005) for Co, (0.001- 0.005) for Ni, (0.001-0.005) for Al, and (0.090-0.328) for Ba , The order of the mean concentration of(F^- , NO^-_3,Cu, Zn, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Fe, Al &Ba) in HDWS from four residential zones representing the city Zabid (Aleali, Aljamie, Almujanbidh, and Aljuz) were as followes : $NO^-_3 > F^- >$ Ba > Fe > Mn > Zn = Cu > Ni = Al > Cr > Cd >Co . It should be noted that the concentrations of none of these heavy metals (Cu, Zn, Cd, Cr, Mn, Co, Ni, Fe, Al &Ba) and (F- & NO3) were within the permissible limit by World Health Organization (WHO: 2011,p468) and local standards (Yemen, 1999:p4). The heavy metals can contaminate household drinking; water via nature sources through groundwater movement and surface water seepage and run-off or through anthropogenic sources that come from drinking water transport tanks or bad practices of storage of this water at houses. The health risks of heavy metals to the public due to their toxicity, persistence, and bio accumulative nature (Luvhimbi, et al :2022,p14). The results of this study agree with those obtained in drinking water by (Luvhimbi ,et al2022:p14; ; Yeboah ,et al:2022p162; Rahmanian,et al: 2015p6).On Other hand , The Fluoride, Nitrate and heavy metals concentration in present study were less than same heavy metals in other published international and local studies such as: (Saleh, *et al:*2020,p155; Mahmoud, *et a:*2018,p7 ; Alanazi, *et al*:2021,p8)

The content of heavy metals in the present study differs in a very small range. This variation may be due to the distribution system, pipe age, and tank age, in addition to air particulate that is deposited in opened tanks of houses.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

Table(5): Descriptive data of heavy metals in household drinking water						
	Concentration mg/l					
Metal	**Mean**	**Max**	**Min**	**Median**	**WHO (2011)**	**YMWE (1999)**
F^-	0.69	1.07	0.38	0.635	1.5	0.5-1.5
NO_3^-	24.51	32.53	15.14	27.165	50	10-50
Cu	0.00313	0.005	0.001	0.003	2.00	0.5-1
Zn	0.00313	0.006	0.001	0.003	3.00	5-15
Cd	0.00156	0.002	0.001	0.002	0.003	0.005
Cr	0.00253	0.005	0.001	0.0025	0.05	0.05
Fe	0.00613	0.009	0.004	0.006	0.3	0.3-1.0
Mn	0.00346	0.006	0.001	0.003	0.4	0.1-0.2
Co	0.00153	0.002	0.001	0.002	0.05	-
Ni	0.00293	0.005	0.001	0.003	0.07	0.01-0.02
Al	0.00293	0.005	0.001	0.003	0.4	0.2-0.3
Ba	0.127	0.328	0.009	0.110	1.3	0.5-1.0

3.3 Health Risk Assessment

3.3.1 Non-carcinogenic health risk assessment:

The descriptive statistical of Hazard quotient (HQ) values of individual heavy metals due to consumption of drinking water illustrated in **Table(6).**The ratio of the CDI and oral reference dose (RfD) of the corresponding heavy metals is called the Hazard quotient (HQ). The mean values of Hazard quotient (HQ) of (F^-, NO^-_3, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn , Co, Ni, Fe, Al and Ba) were 0.44754, 0.596372, 0.003048, 0.000406, 0.121939, 0.0328628, 0.005621, 0.198907, 0.005708, 0.003409, 0.000112, and 0.024146 respectively. The range of HQ values were (0.246472-0.694012) for F, (0.3868248-0.791222) for NO^-_3, (0.000973-0.004865) for Cu, (0.000129-0.000778) for Zn, (0.077833-0.155666) for Cd, ((0.012972-0.064860) for Cr, (0.000277-0.001667)for Mn, (0.129722-0.259444) for Co, (0.000222-0.000500)for Fe, (3.89166E-05-0.000194)for Al and (0.017512-0.063823) for Ba as shown in **figures 3 to 6**. The results of HQ of individual heavy metals due to consumption of drinking water illustrated that the HQ values of F, NO^-_3, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn , Co, Ni, Fe, Al and Ba were within the safe limit (HQ< 1)Which, that means there **is no potential health risk (non-carcinogenic) associated with the water consumption through ingestion in study area**. The obtained results of HQ of current study agree with the results of HQ of ground water in Radaa City according to (Meftah, et al:2023,p4). which reported that the HQ mean value of Cr, Ni, Mn, Fe and Zn were 0.007337, 0.0243,0.0245, 0.01736 and 0.0035 respectively. And according to (Dhar, et al :2020, p244) which found that the mean values of HQ of Zn, Cu, Fe and Mn were 0.003, 0.012.0.012 and 0.017 respectively. Similar observation according to (Luvhimbi,et al:2022, p32) in Thulamela municipality, Limpopo Province, South Africa, which the mean values of HQ were (4.87E−03) for Cu, (2.32E−03) for Zn, (7.68E−04) for Fe, (9.63E-04) for Mn, (3.47E−05) for Co, (3.42E−04) for Ni, and (2.02E−04) for Al. Moreover, a pervious study by (Seleem, et al :2021,p5) reported that the mean of HQ values of Fe, Mn, Cd and Ni were 0.01, 0.29, 0.39 and 0.09 respectively. The results of HQ were higher than the results of present study. In addition, Other published studies reported that the Hazard quotient (HQ) of individual heavy metals due to consumption of drinking water

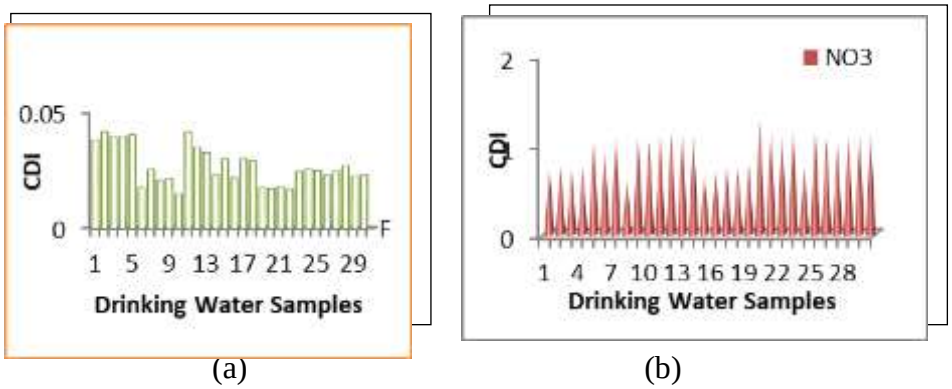
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

were within the safe limit (HQ <1) according to (Li, et al.:2018p8; Mahmoud, et al.:2018p11; Maleki & Jari:2021p9 ; and Niknejad, et al: 2023,p6).

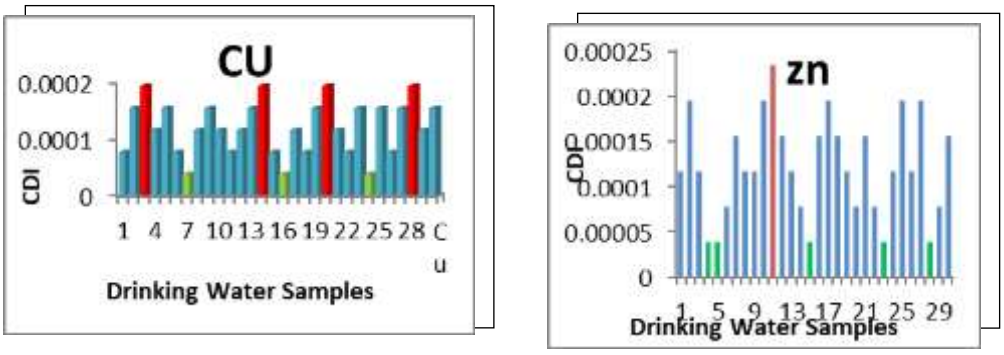
Table(6): The Descriptive statistics of CDI and HQ for individual Fluoride , Nitrate and selected heavy metal in (HDWS)

Elements		CDI	HQ
F	Mean	0.026852	0.44754
	Max	0.041641	0.694012
	Min	0.014788	0.246472
NO^-_3	Mean	0.954195	0.596372
	Max	1.265956	0.791222
	Min	0.589197	0.368248
Cu	Mean	0.000121	0.003048
	Max	0.000194	0.004865
	Min	3.89166E-05	0.000973
Zn	Mean	0.000121	0.000406
	Max	0.000233	0.000778
	Min	3.89166E-05	0.000129
Cd	Mean	6.09693E-05	0.121939
	Max	7.78331E-05	0.155666
	Min	3.89166E-05	0.077833
Cr	Mean	9.85886E-05	0.032862
	Max	0.000194	0.064860
	Min	3.89166E-05	0.012972
Mn	Mean	0.000134	0.000963
	Max	0.000233	0.001667
	Min	3.89166E-05	0.000277
Co	Mean	5.96721E-05	0.198907
	Max	7.78331E-05	0.259444
	Min	3.89166E-05	0.129722
Ni	Mean	0.000114	0.005708
	Max	0.000194	0.009729
	Min	3.89166E-05	0.001946
Fe	Mean	0.000238	0.000340
	Max	0.000350	0.000500
	Min	0.000155	0.000222
Al	Mean	0.000112	0.000112
	Max	0.000194	0.000194
	Min	3.89166E-05	3.89166E-05
Ba	Mean	0.004944	0.024719
	Max	0.012765	0.063823
	Min	0.003502	0.017512

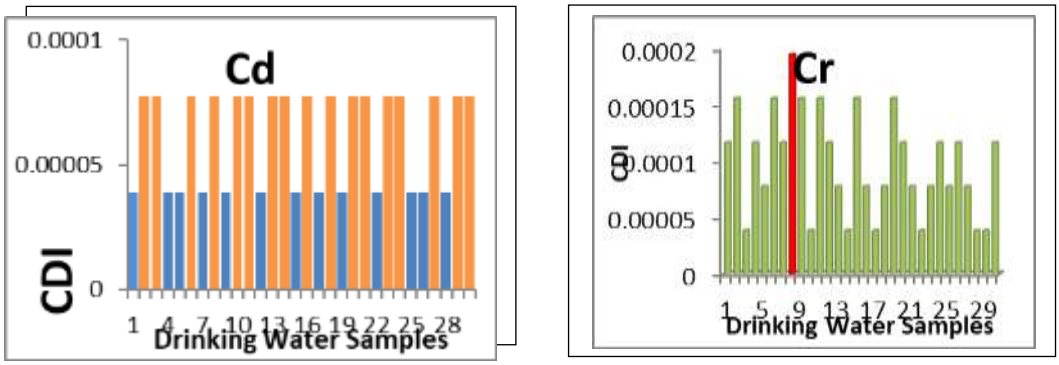
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



(a) (b)



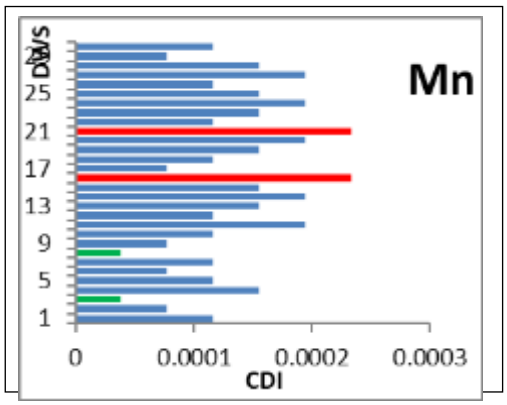
(c) (d)



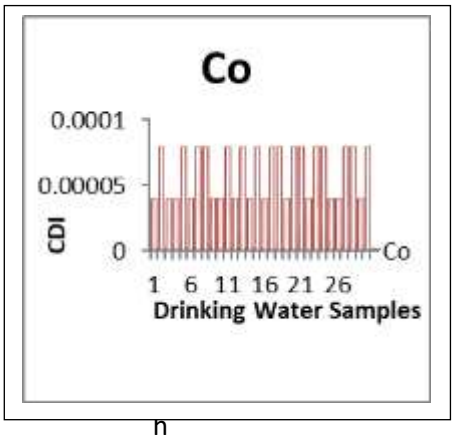
(e) (f)

Figures(3): The CDI of F,NO_3 and studied heavy metals (a-f).

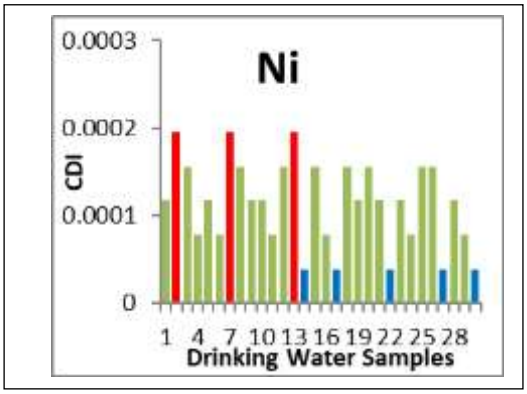
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



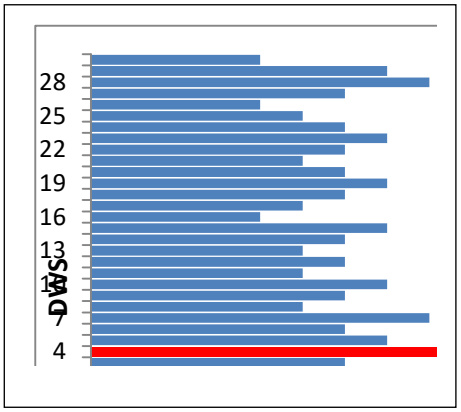
g



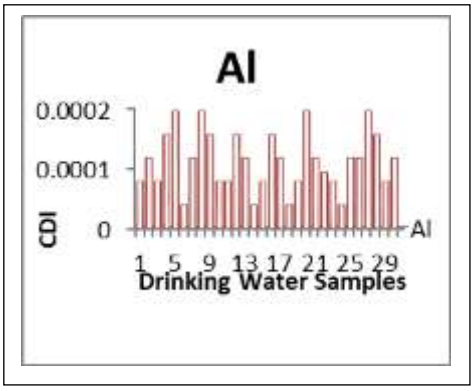
n

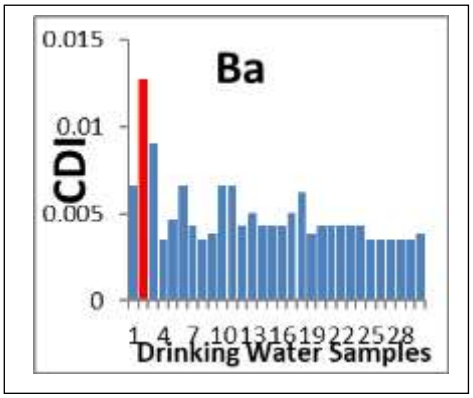


i



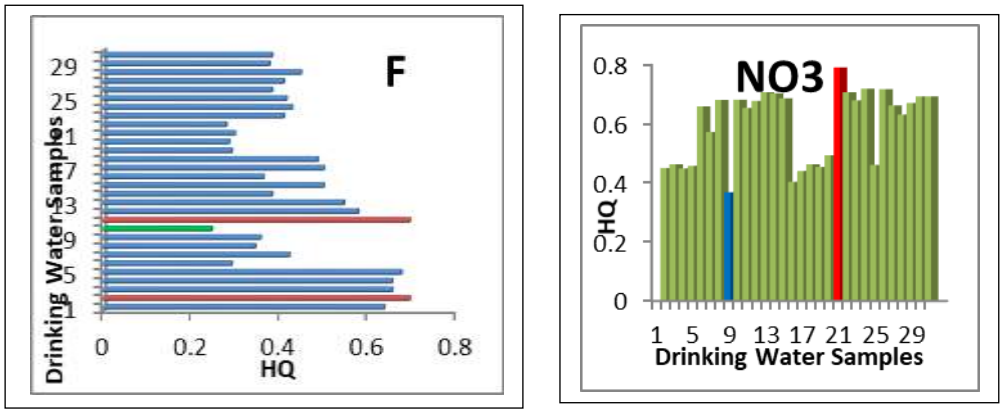
j



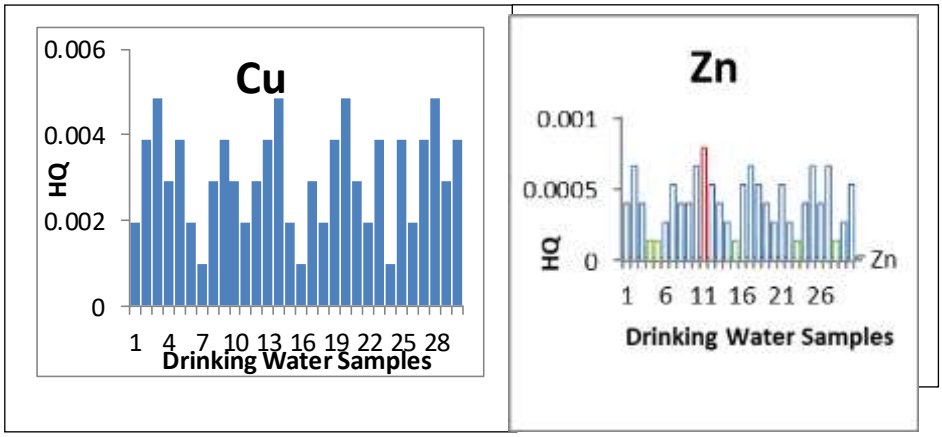


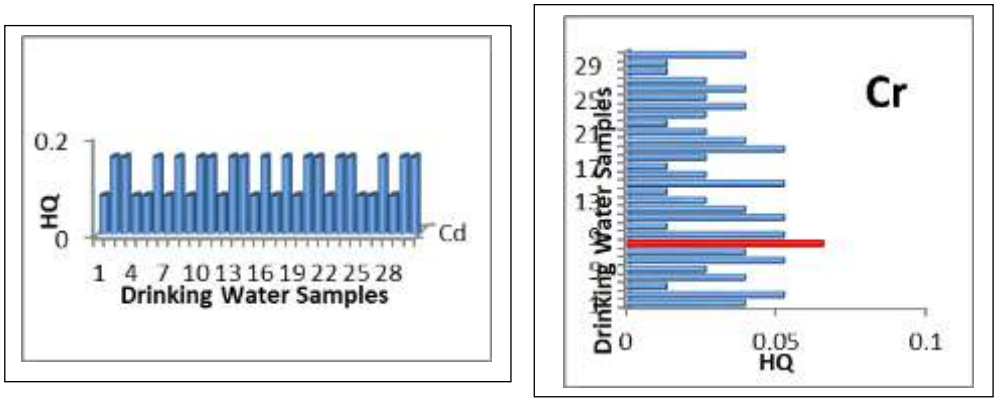
Figures(4): The CDI of studied heavy metals (g-l)

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



a b

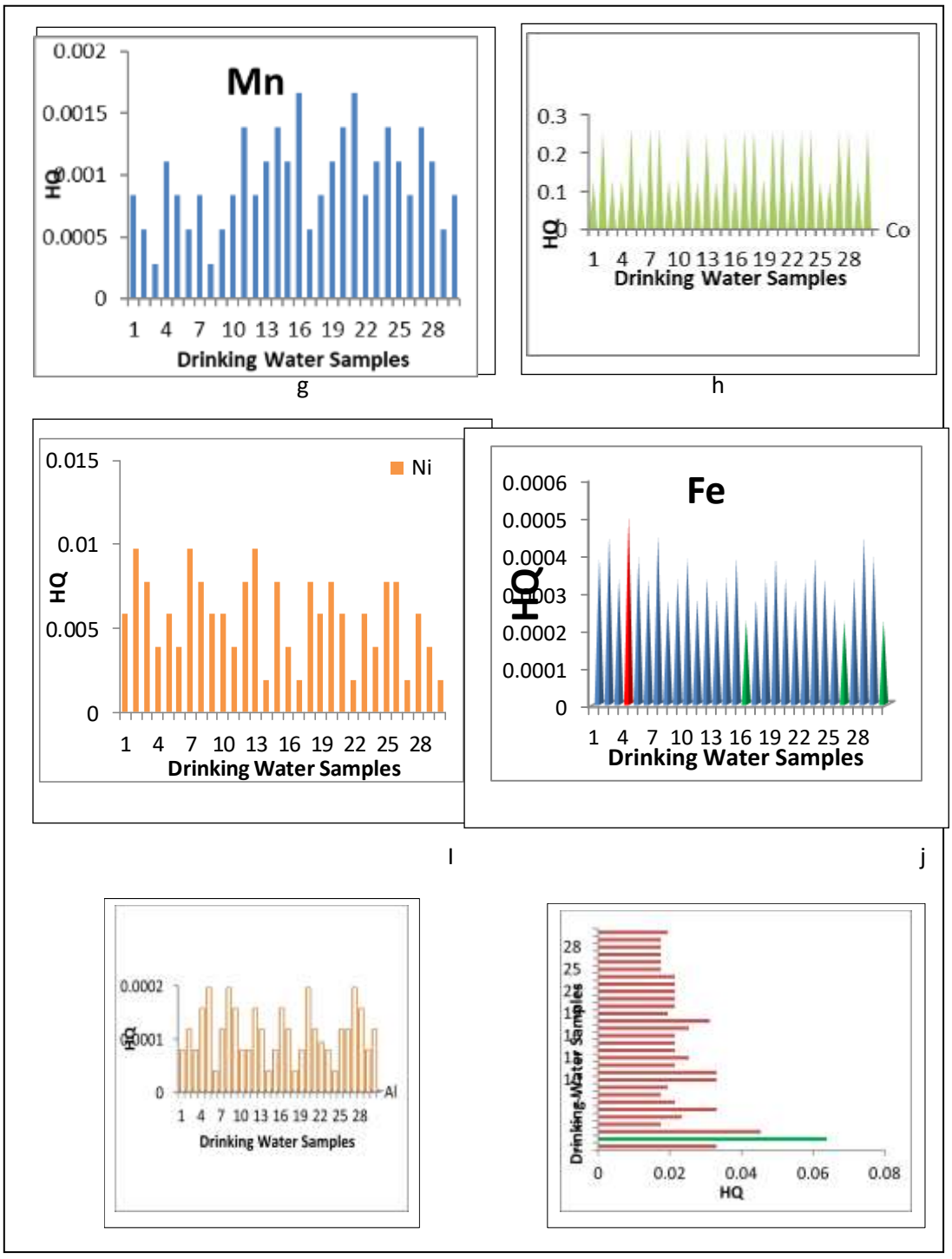




e f

Figures(5): The HQ of F,NO_3 and studied heavy metals (a-f)

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



Figures(6): The HQ of studied heavy metals (g-l).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

Hazard Index (HI)
To assessment the total potential health risk posed by more than one heavy metal, the Hazard Index (HI) was used. Hazard Index (HI) is the sum of the Hazard quotient (HQ) of all the investigated heavy metals in sampled house. If the value of HI is less than 1.0, the individual is safe from non-carcinogenic health risks (Seleem, et al: 2021,p6). **Figure (7)** shows that the Hazard Index(HI) of (NO^-_3 &F^-) and selected heavy metals in sampled houses. The range of HI values were from (0.841952 to 1.901867) with the mean value of (1.416583). The HI values in (96%) of the sampled houses were exceeded the recommended threshold risk limit of HI < 1.0 which is a matter of health concern. **There is potential health risk (non-carcinogenic) from (NO_3^- &F^-) and selected heavy metals concentration due to the consumption of drinking water in Zabid city.** This results due to that the high temperatures in study area and humidity with strong exposure to sunlight, increased the need for daily water consumption. The result of Hazard Index(HI) of present study was a lot less than the result of HI in Assiut City (mean value: 376) according to (Seleem, et al: 2021,p5). A pervious study of drinking water in Khorramabad, Iran, The mean value of HI of drinking water were 0.0033 according to (Mohammadi, et al:2019,p1648) it was less than the result obtained of present study. Other study in Kurdistan, Iran rural water supplies, the mean values of HI were 0.7, 0.83 and 1.67 for men, women and children respectively (Maleki & Jari:2021,p9).
Based on the following categories:
Risk category 1: Negligible risk, where the HI or HQ are <0.1
_ Risk category 2: Low risk, where the HI or HQ are > 0.1 but <1.0
_ Risk category 3: Moderate risk, where the HI or HQ are > 1.0 but <4.0
_ Risk category 4: High risk, where the HI or HQ are > 4.0 (Mahmoud, et al., 2018).

The HI Values of household drinking water categorized at **moderate risk** (HI >1 but <4.0).

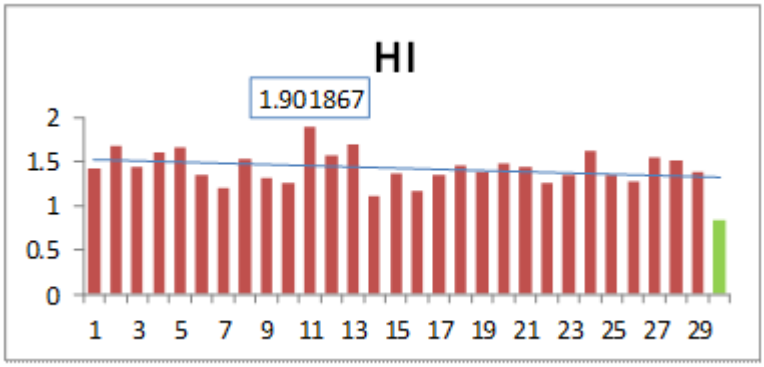


Figure (7): The Hazard Index (HI) of (NO_3^- &F^-) and selected heavy metals in sampled houses

3.3.2 Carcinogenic health risk assessment
Cancer Risk (CR) calculated of Cr, Cd and Ni to estimating the probability of developing cancer due to exposure to a specified carcinogen such as heavy metal in drinking water. Heavy metals (Cr, Cd, and Ni) can potentially enhance the metals might, consequently, result in many types of cancers (Ghahramani, et al:2020,p6; Mohammadi, et al:2019,p1649). For heavy metals, an acceptable carcinogenic risk value of less than 1×10^{-6} is considered as insignificant and the cancer risk can be neglected; while an acceptable carcinogenic risk value of above 1×10^{-4} is considered as harmful and the cancer risk is worrisome(Seleem, et al: 2021,p6). The CR values ranged from ($1.95x10^{-5}$ to $9.73x10^{-5}$) for Cr, ($1.48x10^{-5}$ to $2.96x10^{-5}$) for Cd and ($6.62x10^{-5}$ to $3.30x10^{-4}$) for Ni as shown in **Table (7)** and the mean of cancer risk(CR) values of Cr, Cd and Ni were ($4.93x10^{-5}$, $2.32x10^{-5}$ and **$1.94x10^{-4}$**) respectively. The CR values of Cr and Cd in all households drinking water samples studied were fall within

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

safe limit ($1x10^{-6}$ to $1x10^{-4}$) recommended by USEPA as illustrated in **figures (8) and (9)** but the CR values of Ni were higher than safe limit (10^{-4}) in (83%) of samples as illustrated in **figure (10)** indicating that the Ni had a chance of Cancer Risk .The CR result of Ni agree with the CR result of Ni in ground water (mean value of Ni : $4.42x10^{-4}$) in Radaa city according to **(**Meftah, et al:2024,p4). The results of Cancer Risk of Ni in present study were higher than those obtained by(Luvhimbi, et al:2022,p14) which the mean value was 7.52E−06. The mean values of CR of drinking water in rural areas of Divandarreh County, Kurdistan Province were 9.74E-04 ,1.38E-03, 3.00E-03 of Cd, Cr and Ni Respectively, according to (Ghahramani, et al:2020,p8) which it was higher than the results of CR in present study and it was above safe limit by USEPA (10^{-4}).

Table(7): The Cancer Risk (CR) associated with the levels of Cr, Ni and Cd

	CR		
Sample No	Cr	Ni	Cd
1	5.83748E-05	0.000198474	1.47883E-05
2	7.78331E-05	0.000330791	2.95766E-05
3	1.94583E-05	0.000264633	2.95766E-05
4	5.83748E-05	0.000132316	1.47883E-05
5	3.89166E-05	0.000198474	1.47883E-05
6	7.78331E-05	0.000132316	2.95766E-05
7	5.83748E-05	0.000330791	1.47883E-05
8	9.72914E-05	0.000264633	2.95766E-05
9	7.78331E-05	0.000198474	1.47883E-05
10	1.94583E-05	0.000198474	2.95766E-05
11	7.78331E-05	0.000132316	2.95766E-05
12	5.83748E-05	0.000264633	1.47883E-05
13	3.89166E-05	0.000330791	2.95766E-05
14	1.94583E-05	6.61582E-05	2.95766E-05
15	7.78331E-05	0.000264633	1.47883E-05
16	3.89166E-05	0.000132316	2.95766E-05
17	1.94583E-05	6.61582E-05	1.47883E-05
18	3.89166E-05	0.000264633	2.95766E-05
19	7.78331E-05	0.000198474	1.47883E-05
20	5.83748E-05	0.000264633	2.95766E-05
21	3.89166E-05	0.000198474	2.95766E-05
22	1.94583E-05	6.61582E-05	1.47883E-05
23	3.89166E-05	0.000198474	2.95766E-05
24	5.83748E-05	0.000132316	2.95766E-05
25	3.89166E-05	0.000264633	1.47883E-05
26	5.83748E-05	0.000264633	1.47883E-05
27	3.89166E-05	6.61582E-05	2.95766E-05
28	1.94583E-05	0.000198474	1.47883E-05
29	1.94583E-05	0.000132316	2.95766E-05
30	5.83748E-05	6.61582E-05	2.95766E-05
Mean	0.0000493	0.0001941	0.0000232
Max	0.0000973	0.0003308	0.0000296
Min	0.0000195	0.0000662	0.0000148

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

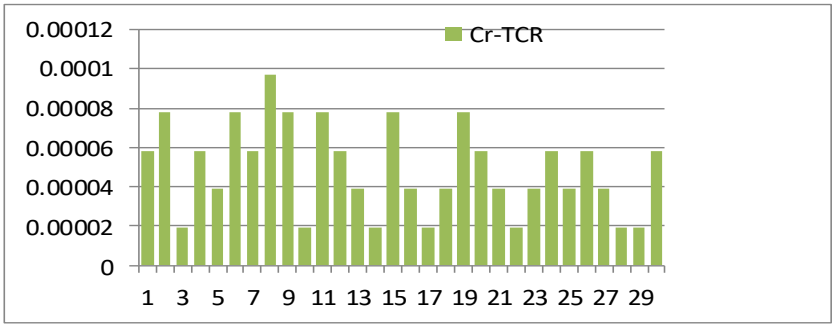


Figure (8): The CR of Cr in Drinking Water Samples

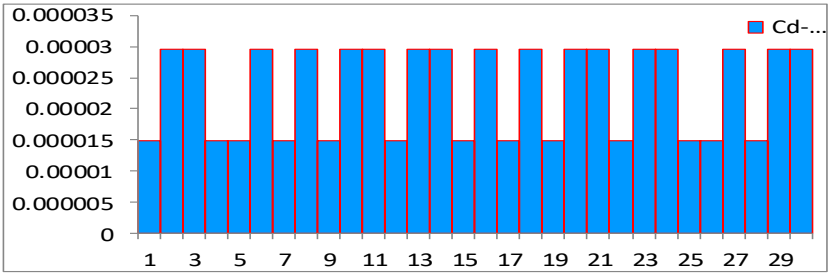


Figure (9): The CR of Cd in Drinking Water Samples

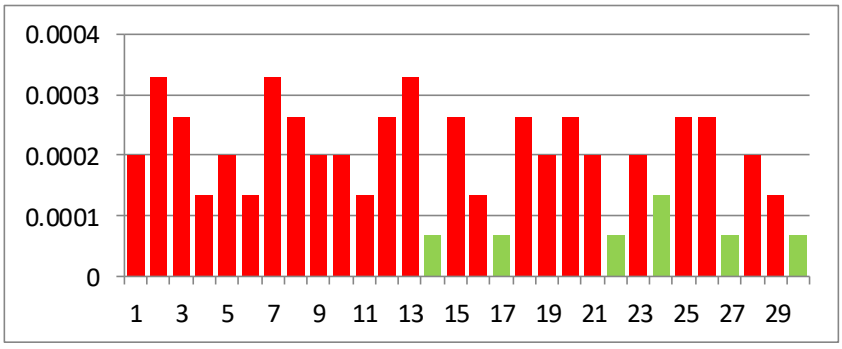


Figure (10): The CR of Ni in Drinking Water Samples

Conclusions and Recommendations

The current study investigated the bacterial quality and health risk assessment to humans of F^-, NO^-_3, Cu, Zn, Cd, Cr, Mn , Co, Ni, Fe, Al and Ba of household drinking water in Zabid City. The results of microbiological content showed that Nineteen (63%) out of 30 water samples were found positive for faecal coliform (*E. coli*). Klebsiella P Pneumoniae, Enterobacter aerogenes, Proteus mirabilis, Proteus vulgaris, Pseudomonas aeruginosa, Salmonella Typhimurium and Salomenella Typhi were identified after conducting the biochemical tests. This results surpassed the safe limits of WHO(2011) and YMWE(1999) Which, that means dangerous indicator of the water pollution. The concentrations of F^-, NO^-_3 and analyzed heavy metals were within permissible limits of WHO and local standard. The results of analysis health indices (CDI, HQ, HI and CR) showed that there is potential health risk (non-carcinogenic) from (NO-3 &F-) and selected heavy metals concentration due to the consumption of drinking water in Zabid City. The Cancer Risk values of Ni were higher than safe limit (10^{-4}) in (83%) of samples indicating that the Ni had a chance of cancer risk. we suggest that the local authorities should ensure water is pumped a minimum of three times each week to mitigate the health risks associated with storing and transporting water.And educate the public on the important of treating drinking water at home through methods such as

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

boiling and chlorination , in order to reduce microbiological pollution. Additionally, proper maintenance of both the water distribution system and household storage facilities is necessary. Furthermore, there is a need to inform the public about the dangers posed by heavy metals found in drinking water. On other hand we propose that researchers conduct studies to detect microbiological contamination in human bodily fluids. The overall conclusions drawn from this work can assist local authorities in developing an effective plan aimed at enhancing the quality of drinking water.

References

- Alanazi, Y.J., Al-Masoud,F.I., Ababneh,Z.Q.(2021): Assessment of the Level of Heavy Metals in Tap Water Network System of Riyadh, Saudi Arabia, J Environ Sci Public Health , 5 (1),137-154.
- APHA. (1999): Standard methods for the examination of water and waste water, 20th eden American Public Health Association. Washington.
- Bekele, R.S., &Teka, M.A.(2022). Physicochemical and microbial quality of drinking water in slum households of Hawassa City, Ethiopia, Applied Water Science, 13,1-7 https://doi.org/10.1007/s13201-022-01806-0
- Bekele, R.S., &Teka, M.A.(2022): Physicochemical and microbial quality of drinking water in slum households of Hawassa City, Ethiopia, Applied Water Science, 13,1-7 https://doi.org/10.1007/s13201-022-01806-0
- Bin Hameed,E.A., & Bin Alshikh Bubkr,Kh.S.(2019):Assessment of Bacteriological Quality of Drinking Water in Some Primary and Secondary Schools in Mukalla City Hadhramout/Yemen,Hadhramout University Journal of Natural & Applied Sciences, 16,(2):185-191.
- Chalchisa, D., Megersa, M., & Beyene,A.(2017):Assessment of the quality of drinking water in storage tanks and its implication on the safety of urban water supply in developing countries ,Environ Syst Res,6(12),1-6 (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0./
- Dhar, P.K., Naznin, A., Ara,M.H. (2020): Health risks assessment of heavy metal contamination in drinking water collected from different educational institutions of Khulna city corporation, Bangladesh Advances in Environmental Technology,4,235-250
- Hung, D.T., Cuc,V.T., Phuong, V.T.B., Diu,D.T.T., Trang, N.T.H., Thoa,N.P., Chinh,D.T.T., Hung,T.M., Linh,C.M., & Long, N.V.(2020): Evaluation of Drinking Water Quality in Schools in a District Area in Hanoi, Vietnam, Environmental Health Insights,14, 1-8.
- Ghahramani, E., Maleki, A., Kamarehie,B., Rezaee, R., valli,M.D., Azimi,F., Karami,M.A., & Rezaiee,H.(2020): Determination of Heavy Metals Concentration in Drinking Water of Rural Areas of Divandarreh County, Kurdistan Province: Carcinogenic and Non-carcinogenic Health Risk Assessment,International Journal of Environmental Health Engineering,7,1-9.
- Li ,M., Du ,Y., Chen ,L., Liu,L., & Duan,Y.(2018): Assessment of trace elements in terminal tap water of Hunan Province, South China, and the potential health risks, Environ Monit Assess, 190(318),1-10.
- Luvhimbi,N.,Tshitangano,T.G.,Mabunda,J.T.,Olaniyi,F.G.C.&Edokpay,J.N.(2022): Water quality assessment and evaluation of human health risk of drinking water from source to point of use at Thulamela municipality, LimpopoProvince,ScientificReports,1-17 www.nature.com/scientificreports
- Maleki, A., & Jari,H. (2021):Evaluation of drinking water quality and non-carcinogenic and carcinogenic risk assessment of heavy metals in rural areas of Kurdistan, Iran, Environmental Technology & Innovation, 23 , 1-13.
- Mohammadi, A.A., Zarei ,A., Majidi, S., Ghaderpoury, A., Hashempour, y., Saghi , M.H., Alinejad,A., Yousefi , M., Hosseingholizadeh, N., & Ghaderpoor, M.(2019):Carcinogenic and non-carcinogenic health risk assessment of heavy metals

in drinking water of Khorramabad,Iran,MethodsX,(6),1642–1651. https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.07.017.

- Massadeh, A.M., El Rjoob, A.O., & Gharaibeh, S.A. (2020):.Analysis of Selected Heavy Metals in Tap Water by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry After Pre-Concentration Using Chelex-100 Ion Exchange Resin, Water Air Soil Pollut, 231-243. https://doi.org/10.1007/s11270-020-04555-5.
- Mahmoude, M.T., Hamouda, M.A., Al Kendi, R.R., & Mohamed, M.M.(2018): Health Risk Assessment of Household Drinking Water in a District in the UAE, Water journal , 10(12), 1-19.
- Meftah, A.M., Al-Majdad,Kh,Q., & Elayah,N.A.(2023): Health Risk Assessment of Some Heavy Metals in Groundwater Samples in Rada'a City, Yemen, Thamar University Journal of Natural & Applied Sciences 8(2),1 – 9.
- Niknejada,H., Alireza ,A., Fatemeh Ahmadi,F., Hamed Mahmoodi,H., Saeedid, R., Borujeni,F.Gh., & Abtahi,M.(2023). Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure to trace elements in groundwater resources of Sari city, Iran,Journal of Water and Health, 21(4),501-513. http://iwaponline.com/jwh/article
- Ondieka, J.K., Akunga, D.N., Warutere ,P.N., & Kenyany ,O.(2021):Bacteriological and physico-chemical quality of household drinking water in Kisii Town, Kisii County, Kenya, *Heliyon*, 7(5),1-8. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06937.
- Pandey, P.K., Kass, P.H., Soupir, M.L., Sagor Biswas,S & and Singh, V.P.(2014): Contamination of water resources by pathogenic bacteria, AMB Express ,SpringerOpen,4,1-16
- Rahmanian, N., Ali, S.H.B., Homayoonfard, M., Ali, N. J., Rehan, M., Sadef,Y., & Nizami,A.S.(2015): Analysis of Physiochemical Parameters to Evaluate the Drinking Water Quality in the State of Perak, Malaysia, Journal of Chemistry.1-11 http://dx.doi.org/10.1155/2015/716125
- Saleh, Sh.M.K. & Al-Sallami, A.(2022): Assessment of the level of physicochemical and microbiological contamination of groundwater in parts of Bir Nasser and Bir Ahmed water fields in Tuban Delta in Aden and Lahej Governorates, Yemen. Elctronic Journals of University of Aden for Basic and Applied Sciences (EJUA-BA), 3(2), 101-116.
- Saleh, Sh.M.K., Al-Alaiy, S.H.Gh., Abdul-Razzak,B.I.,& Nasher, Gh.Sh.A. (2017): Evaluation of Groundwater Quality and its Suitability for Drinking and Agri. Use of Rural Areas for Zabid Hodiedah, Yemen, Journal of Scientific and Engineering Research, 4(7):10-24.
- Saleh, Sh.M.K., Taher M.M., & Saif, B.O.A.(2020): Estimation of Heavy Metals in the Groundwater of Al-Dhalia Gov., Yemen, Elctronic Journals of University of Aden for Basic and Applied Sciences (EJUA-BA),1(3), 151-158.
- Seleem, E. M., Mostafa, A., Mokhtar, M., & Salman, S.A.(2021):Risk assessment of heavy metals in drinking water on the human health, Assiut City, and its environs, Egypt, Arabian Journal of Geosciences , 14(427),1-11.
- USEPA,United States Environmental protection agency.(1989): Risk assessment guidance for superfund. Human health evaluation manual (part A), Washington DC.
- WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality. 4th Edn., World Health Organization, Geneva, (2011): Switzerland, ISBN-13: 9789241548151, Pages: 541.
- YMWE, Yemen's Ministry of Water and Environment. Guidelines for drinking water quality.(1999):Sana'a, Republic of Yemen.
- Yeboah, S.K., Antwi-Agyei, P.A., & Domfeh,M.K.(2022): Drinking water quality and health risk assessment of intake and point-of-use water sources in Tano North Municipality, Ghana, Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, 12 (2),1-11.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تحلية مياه البحر بالمغرب: خيار استراتيجي لتحقيق الأمن المائي

د. أحلام عليمي
جامعة عبد المالك السعدي
كلية العلوم القانونية والاقتصادية والاجتماعية، تطوان/ المغرب

د. عبد الله اليوسفي
جامعة عبد المالك السعدي
كلية العلوم القانونية والاقتصادية والاجتماعية، تطوان/ المغرب

Abstract:

The issue of water constitutes one of the major challenges facing Morocco amid increasing pressure on natural resources resulting from demographic growth, urban expansion, successive years of drought, and the impacts of climate change. Given the limitations of both surface and groundwater resources, Morocco has opted for seawater desalination as a strategic choice within the framework of its national water policy.

Morocco is classified among the countries below the water-stress threshold, with per capita availability not exceeding 600 cubic meters annually—far below the global average. This situation has prompted the country to modernize its legal framework in order to safeguard water resources both civilly and criminally. Added to this is the growing demand caused by the needs of urban populations, the industrial sector, and irrigated agriculture, as well as the scarcity of rainfall.

Seawater desalination has thus become an urgent necessity for Morocco, beyond being merely a technical alternative. It contributes to addressing water scarcity and ensuring water and food security, while serving as a driver of economic and social development, particularly in coastal areas. With continued investments in this field, Morocco is moving toward establishing an integrated model that combines desalination with renewable energy, thereby strengthening its position as a regional leader in the sustainable management of water resources.

Key words: Water – Sea – Water desalination – Sustainable development.

الملخص:

يشكل موضوع الماء أحد التحديات الكبرى التي يواجهها المغرب في ظل تزايد الضغط على الموارد الطبيعية نتيجة النمو الديمغرافي، والتوسع العمراني، وتوالي سنوات الجفاف، إلى جانب انعكاسات التغيرات المناخية. وأمام محدودية الموارد السطحية والجوفية، اختار المغرب التوجه نحو تحلية مياه البحر كخيار استراتيجي يندرج ضمن السياسة الوطنية للماء.

هذا ويعتبر المغرب من الدول المصنفة تحت عتبة الإجهاد المائي، حيث لا يتجاوز نصيب الفرد 600 متر مكعب سنوياً، وهو رقم بعيد عن المعدل العالمي، الأمر الذي دفعه إلى تحديث ترسانته القانونية، بغية حماية الثروة المائية مدنيا وجنائيا، ضف إلى ذلك الطلب المتزايد نتيجة ارتفاع حاجيات الساكنة الحضرية، القطاع الصناعي والفلاحة المسقية، ناهيك عن قلة التساقطات.

وقد أضحى خيار تحلية مياه البحر في المغرب ضرورة ملحة دون كونه بديلا تقنيا، فهو يساهم في مواجهة الندرة المائية وضمان الأمن المائي والغذائي، ويشكل رافعة للتنمية الاقتصادية والاجتماعية سيما في المناطق الساحلية، ومع استمرار الاستثمارات في هذا المجال، يسير المغرب نحو إرساء نموذج متكامل يمزج بين التحلية والطاقات المتجددة، بما يعزز مكانته كرائد إقليمي في مجال تدبير الموارد المائية على نحو مستدام.

الكلمات المفتاحية: الماء – البحر – تحلية المياه – التنمية المستدامة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

مقدمة:

يمثل الماء عنصرا أساسيا تقوم عليه الحياة الإنسانية وسائر الكائنات الحية[1]، إذ يشكل مركبا طبيعيا لا غنى عنه لاستمرار الحياة بمختلف أشكالها، فإلى جانب كونه ضروريا لتلبية الاحتياجات الحيوية لجسم الإنسان، يعد أيضا ركنا محوريا في قيام الحياة الاجتماعية والاقتصادية.

وعلى هذا الأساس، حظي هذا المورد الحيوي بأهمية قصوى منذ عصور زمنية قديمة، كما شكل عبر التاريخ محور نشوء صراعات قبلية ونزاعات سياسية وأمنية أرهقت الأمم في حروب دموية.

إن إشكالية المياه في المغرب طرحت في عصور زمنية قديمة، فقد كان المغرب يعيش سنوات جفاف بين الفينة والأخرى، غير أن الإشكال طرح بحدة خلال السنوات القليلة الماضية، ومنذ سنة 2017، *(حيث شهد المغرب اجهادا مائيا حادا انتقلت خلاله حصة الفرد من الماء من 2500 متر مكعب للفرد خلال سنة 1960 إلى أقل من 650 متر مكعب بحلول سنة 2030)* (المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي) دفعه إلى إعادة هيكلة التشريعات[2] المتعلقة بالماء ومعها السياسات العمومية المتعلقة به.

وقد عبر جلالة الملك في خطابه السامي بمناسبة عيد العرش المجيد عن الوضعية التي يعيشها المغرب فيما يتعلق بقضية الماء بالقول: "ومن أهم هذه التحديات، إشكالية الماء، التي تزداد حدة بسبب الجفاف، وتأثير التغيرات المناخية، والارتفاع الطبيعي للطلب، إضافة إلى التأخر في إنجاز بعض المشاريع المبرمجة، في إطار السياسة المائية"، وقد وصف جلالته هذه القضية بكونها "مصيرية" لما تكتسيه من أهمية استراتيجية بالنسبة لمستقبل البلاد. (الخطاب السامي لجلالة الملك بمناسبة عيد العرش المجيد، 2024/07/29).

في نفس السياق، يراهن المغرب تحت القيادة الرشيدة لصاحب الجلالة الملك محمد السادس نصره الله على مواجهة التحديات التي تفرضها السياسات المائية بالمغرب، وذلك من خلال خلق مجموعة من المشاريع، وإعادة هيكلة السياسات العمومية الموجهة للماء، وتحديث الترسانة التشريعية المتعلقة بها، بما يضمن الحماية اللازمة لها.

ولعل، من بين أهم الأوراش الكبرى التي دعا جلالته إلى تعزيز السياسات الموجهة لها، تحلية مياه البحر، باعتبارها محورا مهما لإعادة التوازن لأنماط الاستهلاك المتعلق بالماء، حيث جاء في خطاب جلالته في نفس المناسبة ما يلي "ويتعين كذلك تسريع إنجاز محطات تحلية مياه البحر".

والقول بكون المغرب اتجه في سياساته المائية إلى استراتيجية تحلية مياه البحر لا ينبغي أن يفهم منه أنه لم يكن يعتمد من ذي قبل على هذا المورد غير التقليدي، بل كانت أول تجربة مغربية لتحلية المياه سنة 1977 ببوجدور بقدرة إنتاجية بلغت (250 م^3)[3] في اليوم (BOUCIF، 1998، صفحة 243).

هذا ويعتمد المغرب في سياسته المائية على مشروع طموح، لما توفره هذه التقنية من مزايا متعددة، سواء من حيث فعاليتها في مواجهة أزمة المياه وضمان الأمن المائي، أو من خلال ما تؤكده التجارب الدولية من جدوى هذا الخيار الاستراتيجي في تحقيق الأهداف المنشودة.

---

[1] شكّلت التساؤلات حول أصل الحياة أولى محاولات الإنسان في التفكير فيما وراء المحسوس، وقد اعتبر الفيلسوف طاليس الملطي (Thales of Miletus) أن الماء هو المبدأ الأول الذي تنبثق منه جميع الكائنات (إمام، 2005، صفحة 91).

[2] رغم كون قانون الماء سابق لهذه المرحلة إلا أن نصوصه التنظيمية صدرت في مراحل لاحقة.

[3] متر مكعب (m^3) هي وحدة قياس الحجم في النظام الدولي للوحدات تستعمل لقياس السوائل والغازات والأجسام الصلبة الكبيرة؛ ومعناه الحجم الذي يشغله مكعب طول ضلعه متر واحد، وبخصوص السوائل التي تهم موضوعنا هذا فإن متر مكعب واحد يساوي ألف لتر من الماء (1000L).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

وتكمن أهمية الموضوع في الأبعاد النظرية والواقعية التي ينطوي عليها، فمن جهة يتجلى الثقل الاستراتيجي الذي يوفره مشروع تحلية مياه البحر في كونه أحد أهم الحلول العملية لمواجهة تحديات ندرة المياه وضمان الأمن المائي، من خلال ضمان الماء الشروب ودعم القطاعات الحيوية كالفلاحة والصناعة. ومن جهةٍ أخرى، تبرز الأهمية النظرية في الطابع العلمي والتقني لهذا المجال، الذي يجمع بين علوم القانون والهندسة والطاقة والبيئة، ويسعى إلى تطوير تقنينات وتقنيات أكثر كفاءة لمواجهة هذه الأزمة.

ومن هنا تبرز الإشكالية المحورية والمتمثلة في دور السياسات العمومية الموجهة نحو تحلية مياه البحر في تعزيز الخيارات الاستراتيجية للأمن المائي في المغرب، في ظل التحولات الراهنة التي تشهدها السياسة المائية الوطنية؟

إن البحث في هذا الموضوع تعيقه عدة صعوبات لعلّ أبرزها تباين المعطيات وتضارب الإحصاءات الصادرة بهذا الخصوص، فضلًا عن التغيّر المستمر في البيانات المرتبطة بالمشاريع والطاقات الإنتاجية، نتيجة الطابع الديناميكي الذي يميز هذا القطاع. كما يُضاف إلى ذلك صعوبة الحصول على وثائق تقنية محدثة تتعلق بالجوانب المختلفة لهذه المشاريع.

وللخوض في جوانب هذه الإشكالية ارتأينا اعتماد المنهج الوصفي التحليلي من خلال مطلبين أولهما: الخيارات الاستراتيجية لتحلية مياه البحر بين حتمية الضرورة وتحقيق الأمن المائي، وثانيهما: آثار تحلية مياه البحر وآفاقها المستقبلية في ضوء الرؤية الاستراتيجية للمغرب.

المطلب الأول: الخيارات الاستراتيجية لتحلية مياه البحر بين حتمية الضرورة وتحقيق الأمن المائي

يعد محور الماء أحد أهم المحاور التي أصبحت تؤرق السياسات العمومية بالمغرب في ظل الأزمة المائية التي يعيشها (*جاء في الخطاب المولوي السامي لعيد العرش المجيد لسنة 2024: "ومن أهم هذه التحديات، إشكالية الماء، التي تزداد حدة..."*)، والتي تؤثر على مجموعة من القطاعات وتهدد الأمن الاجتماعي للمواطن المغربي، وحقه الدستوري (*الفصل 31 من الدستور المغربي لسنة 2011: "تعمل الدولة والمؤسسات العمومية والجماعات الترابية، على تعبئة كل الوسائل المتاحة، لتيسير أسباب استفادة المواطنات والمواطنين، على قدم المساواة، من الحق في: ..... – الحصول على الماء والعيش في بيئة سليمة؛"*) في الحصول على الماء.

ووفق هذا المنظور، فإن مشروع تحلية مياه البحر يشكل خيارا بل ضرورة استراتيجية لتحقيق الأمن المائي وتوفير الموارد المائية الكافية في المستقبل القريب والبعيد، كما أنه خيارا مستداما لبناء سياسة مائية مبتكرة توفر حلول دائمة لمعضلة الماء في المغرب.

لذلك، سنعمل على التطرق لهذا المطلب من خلال محورين أساسيين؛ الفقرة الأولى سنتناول فيها تحلية مياه البحر كأولوية قصوى لمواجهة التحديات المناخية، ثم تحلية مياه البحر كركيزة أساسية لتحقيق الأمن المائي في الفقرة الثانية.

الفقرة الأولى: تحلية مياه البحر أولوية قصوى لمواجهة التحديات المناخية

عاش المغرب خلال السنوات الأخيرة ظرفية مناخية دقيقة اتسمت بتوالي موجات الجفاف وارتفاع درجات الحرارة إلى مستويات غير معتادة (Direction Générale de la Météorologie Ministère de l'Équipement et

l'Eau de، 2025، صفحة 14)[4]، ما نجم عنه ضغط حاد على الموارد المائية الجوفية في مختلف مناطق المملكة، ولا سيما الجهات الجافة وشبه الجافة التي عرفت تراجعًا ملحوظًا في منسوب الفرشات المائية.

ويُظهر تحليل أسباب هذه الأزمة تداخل مجموعة من العوامل المتراكمة، في مقدمتها العوامل المناخية المرتبطة بتغير أنماط التساقطات وارتفاع معدلات الاحترار، إلى جانب العوامل الاقتصادية والاجتماعية والتدبيرية التي ساهمت في تفاقم الوضع. وقد أدى توالي ما يقارب سبع سنوات من الجفاف إلى إضعاف دينامية التغذية الطبيعية للفرشات المائية، وإحداث اختلال واضح في التوازنات المائية الوطنية.

أضف إلى أن الدراسات المناخية التوقعية تضع المغرب ضمن المناطق التي ستشهد أحد أعلى نسب الإجهاد المائي، حيث يقع في المرتبة 19 في ترتيب(World Resources Institute, August 26, 2015) الدول الأكثر مواجهة للإجهاد المائي بحلول سنة 2040 كما يوضح ذلك الشكل (1).

ولتوضيح التراجع الملحوظ في التساقطات المطرية الذي يشهده المغرب، نأخذ السنة الماضية كمثال لعرض البيانات المتعلقة بهذه التساقطات. ولضمان دقة أكبر في الأرقام، نقوم بالتمييز بين حالتين:

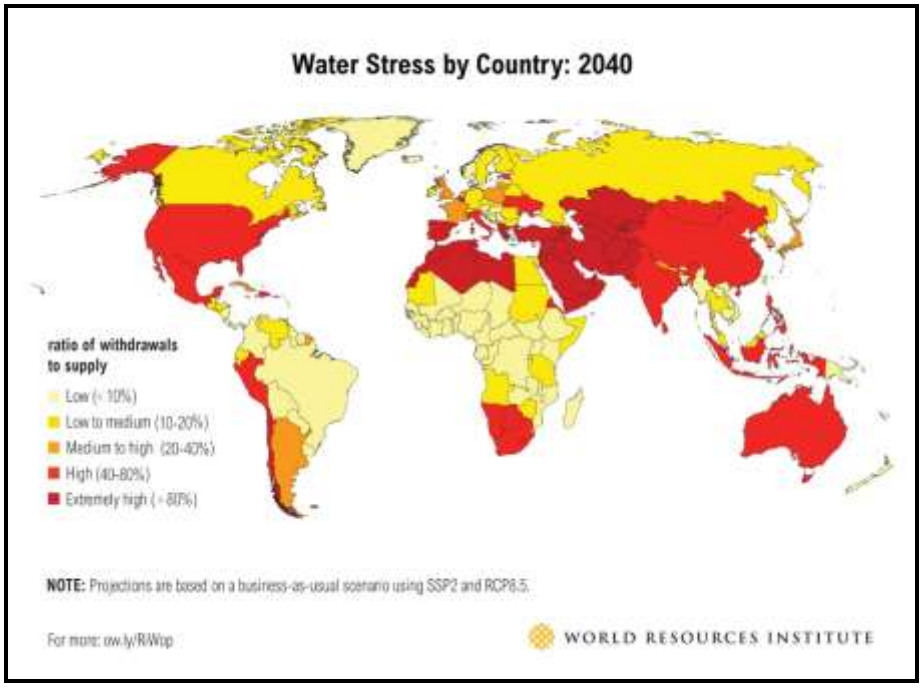
- السنة الميلادية العادية 2024: سجّل عام 2024 عجزًا مطريًا وطنيًا متوسطًا بلغ 24.7%-، ما يؤكد استمرار موجة الجفاف. ورغم الكميات المطرية القياسية التي عرفتها بعض مناطق سلسلة جبال الأطلس وسفوحها الشرقية وكذا النجود العليا شرق البلاد ومناطق تابعة للنفوذ الترابي لطاطا نتيجة التيارات المدارية التي شهدتها هذه المناطق خلال شهر شتنبر إلا أن العجز في التساقطات على المستوى الوطني ظل مراوحا مكانه حتى متم سنة 2024 (Direction Générale de la Météorologie Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2025, p. 4)
- السنة الهيدرولوجية الزراعية (*السنة الزراعية تتناسب مع السنة الهيدرولوجية؛ وتمتد من 1 شتنبر إلى غاية 31 غشت من السنة الموالية*): تُظهر البيانات المتعلقة بالسنة الهيدرولوجية الزراعية 2024-2023 أنها مثّلت أكثر الفترات جفافا منذ ستينيات القرن الماضي، إذ بلغ العجز في التساقطات المطرية نسبة 46.6%- مقارنة بالمعدل المرجعي. وقد ساهم النقص الحاد في الأمطار والثلوج، والمصحوب بارتفاع واضح في درجات الحرارة، في تفاقم مظاهر الجفاف الهيدرولوجي على نطاق واسع، مما انعكس سلبا على الواردات المائية للسدود التي لم تتجاوز 27% من طاقتها التخزينية في نهاية الموسم، كما أدى إلى استنزاف متزايد للفرشات المائية. وتراجع ملحوظ في مستوياتها، مما خلّف انعكاسات مباشرة وخطيرة على النشاط الزراعي، وجعل تأمين مياه الشرب أكثر كلفة وتعقيدا.

وقد تم الكشف عن أرقام الأحواض خلال هذه السنة في التقرير الصادر عن المديرية العامة للأرصاد الجوية، إذ بلغت في حوض الساقية الحمراء-وادي الذهب (81,9%-)، حوض درعة واد نون (76,8%-)، حوض سوس ماسة (59,3%-)، حوض ملوية (46,9%-)، حوض أم الربيع (44,6%-)، حوض أبي رقراق والشاوية (44,2%-)، حوض تانسيفت (44,1%-)، (34,4%-) في حوض كير زيز غريس و(25,4%-) في حوض سبو، بينما

[4] تُعدّ سنة 2024 السنة الأكثر حرارة في تاريخ الرصد المناخي بالمغرب، حيث سجّل متوسط درجة الحرارة ارتفاعًا قدره 1.49+ درجة مئوية فوق المعدل المرجعي للفترة 1991–2020. ويُعدّ هذا الارتفاع القياسي مؤشرًا واضحًا على تسارع وتيرة التغير المناخي، على غرار ما يشهده العالم بأسره، إذ تجاوز المتوسط العالمي لدرجات الحرارة، ولأول مرة، العتبة الرمزية البالغة 5.1 درجة مئوية فوق مستويات ما قبل الحقبة الصناعية. وأبرز تحليل معطيات السنة تفاقماً في الانحرافات الحرارية، خاصة خلال شهري يناير ونونبر اللذين شهدا قيماً قياسية وطنية، فيما رغم برودة صيف 2024 مقارنة بعام 2023، سُجلت موجات حر جديدة رفعت درجات الحرارة إلى 47.7° ببني ملال و47.6° بمراكش.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

كانت النسبة الأقل عجزا هي المسجلة في حوض اللوكوس والتي بلغت -3,2% (Direction Générale de la Météorologie Ministère de l'Équipement et de l'Eau, 2025, p. 13).



الشكل (1)

إلى جانب ندرة التساقطات، ساهم الضغط الفلاحي والصناعي المتزايد على الموارد المائية السطحية والجوفية في تفاقم اختلال التوازن المائي، خاصة في المناطق التي تشهد استغلالًا مفرطًا للفرشات. كما أدى سوء التدبير الإداري والسلوكي إلى زيادة العجز في تلبية الاحتياجات وضمان المعدل الوسطي للفرد من الماء.

أمام هذه الاكراهات، نهج المغرب خلال السنوات الماضية سياسة إصلاحية كبرى على مستوى قطاع الماء، وذلك بإعادة هيكلة المشاريع العمومية الموجهة لهذا القطاع، عبر إصلاح المنظومة التشريعية وتقوية الأوراش الكبرى المتعلقة بها.

وقد عمل المغرب على تعزيز الأوراش التقليدية في مجال تدبير الموارد المائية، في مقدمتها سياسة بناء السدود، وذلك في إطار البرنامج الوطني للتزويد بالماء الشروب ومياه السقي 2020-2027. وقد شمل إلى جانب ذلك مشاريع نوعية جديدة، أبرزها الربط بين الأحواض المائية وتحلية مياه البحر، بهدف تعزيز الأمن المائي الوطني ومواجهة تحديات الندرة.

وإذا كانت الحلول التقليدية التي نهجها المغرب خلال السنوات الماضية قد أبانت عن فعاليتها في مواجهة التحديات المائية مبدئيا (*مبدئيا على اعتبار أن المغرب سجل نسب عجز في الموارد المائية مقلقة جدا خلال السنوات من 2018 إلى 2023 تقدر على التوالي في السنوات المذكورة بـ 48% و67% و54% و83% و66%، حسب المعطيات التي أوردها تقرير المجلس الأعلى للحسابات لسنة 2024 دفع السلطات العمومية إلى إقرار تدابير استباقية بهدف مواجهة العجز*)، فإنها مع ما يعرفه الوضع المناخي أصبحت غير كفيلة لوحدها بتحقيق أمن مائي مستدام (*تفاقمت الوضعية بشكل غير مسبوق خلال السنوات الأخيرة، حيث عرفت الفترة 2018-2023 مواسم جفاف متعاقبة وحادة، إذ سُجّلت، حسب معطيات وزارة التجهيز والماء، نسب عجز في الواردات المائية بالسدود*

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تقدر على التوالي في السنوات المذكورة بـ48% و67% و54% و83% و66%، وذلك مقارنةً بالمعدل السنوي لمتوسط الواردات المائية المقدر ب 11,5 مليار متر مكعب ما بين سنتي 1945 و2023) (تقرير المجلس الأعلى للحسابات، 2024)، لم تستطع تقنية السدود وحدها مواكبة الاحتياجات الوطنية المتزايدة من الماء خصوصا في ظل ندرة التساقطات السابقة الذكر.

في نفس السياق، فإن توزيع الموارد المائية بالمغرب يظهر على أنه يشكل هو الآخر تحدي كبير في ظل تمركز السدود الكبرى في المناطق التي تعرف تساقطات مطرية بشكل معتدل في الشمال والوسط، في حين أن مناطق أخرى من المغرب تعرف اضطرابا كبيرا في الموارد المائية خصوصا مناطق الجنوب والجنوب الشرقي.

على هذا الأساس، فقد حتمت الظرفية التي يعيشها المغرب تبني مشاريع نوعية متعلقة بقطاع الماء على رأسها تحلية مياه البحر لما له من أدوار مهمة على مستوى تكريس الأمن المائي، باعتبارها أولوية قصوى لتأمين مياه الشرب في السياقات الساحلية المتأثرة بنقص المياه وتقلبات المناخ؛ فهي تولّد موارد مائية غير تقليدية لا تعتمد بصورة مباشرة على هطول الأمطار، مما يجعلها مصدراً مستقراً وقابلاً للتشغيل على مدار السنة. كما تُعد مشاريع التحلية أداة فعّالة من أدوات التكيّف مع تغيّر المناخ، لأنها تزيد من مرونة شبكات الإمداد وتضمن استمرارية التزويد خلال فترات الجفاف.

ثم إن حاجة المغرب إلى مثل هذه المشاريع تزداد بالنظر إلى توفره على شريط ساحلي كبير تبلغ مساحته 3411 كلم (رأي المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي بخصوص، 2014) يتضمن واجهتين بحريتين يمكن استغلالهما بشكل يضمن للمواطن المغربي أمن مائي وسهولة في الولوج إلى الحق في الماء، بالرغم الإشكالات والاكراهات التي تعترضه.

الفقرة الثانية: تحلية مياه البحر ركيزة أساسية لتحقيق الأمن المائي

أبانت السياسة المائية الوطنية وفي مقدمتها سياسة بناء السدود عن قدر كبير من الكفاءة خلال العقود الماضية، إذ مكّنت من تعبئة موارد مائية هامة ضمنت مستوى معقولا من الأمن المائي لسنوات طويلة. غير أنّ هذه السياسة التقليدية لم تعد في السياق المناخي الراهن قادرة وحدها على تحقيق التوازنات المائية الكفيلة بضمان الحق الدستوري لكل مواطن في الحصول على الماء، إذ أظهرت السنوات الأخيرة محدوديتها أمام توالي موجات الجفاف وتراجع معدلات التساقطات، الأمر الذي يستدعي اعتماد مقاربة أكثر شمولاً وتنوعاً في تدبير الموارد المائية.

وعلى هذا الأساس شكل ورش تحلية مياه البحر أحد أهم المشاريع البديلة التي توفر حلولا مستدامة تراعي في طياتها المحافظة على التوازنات المائية بشكل مستدام، كما تعد وسيلة فعالة لتحقق الأمن المائي بالإضافة إلى الأوراش الأخرى ووسيلة فعالة لتخفيف الضغط على المياه الجوفية.

وقد عزز المغرب طموحه في هذا المجال عبر إطلاق مشاريع مهيكلة تروم إنشاء محطات لتحلية مياه البحر في مختلف جهات المملكة، مع إيلاء أولوية خاصة للمناطق التي تعاني من خصاص حاد في الموارد المائية، خاصة في الجنوب والجنوب الشرقي، فضلا عن المحاور الكبرى التي تشهد استنزافا متزايدا للبنية المائية، وعلى رأسها محور الدار البيضاء – سطات، والرباط – سلا – القنيطرة.

إن المشروع الطموح للمغرب يستهدف توفير موارد مائية تبلغ 1.4 مليار متر مكعب سنويا ابتداء من سنة 2027، وتبلغ 1.7 مليار متر مكعب في أفق سنة 2030 (تقرير المجلس الأعلى للحسابات، 2024) موجهة لمياه

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الشرب والاستعمال المنزلي والصناعي والتجاري والفلاحي[5]، مما سيعزز الأمن المائي في مجموعة من المحاور التي تعرف شحا كبيرا في الماء.

هذا، وقد نظم المشرّع المغربي مسألة تحلية مياه البحر ضمن القانون رقم 36.15 المتعلق بالماء، حيث خصّص لها ست مواد من المادة 72 إلى المادة 77. وقد نصّت المادة 72 على تحديد الفئات المخوّل لها إنجاز منشآت التحلية، وذلك من خلال تمكين أي شخص ذاتي أو اعتباري، خاضع للقانون العام أو الخاص، من القيام بهذه المنشآت، سواء لتلبية حاجياته الذاتية أو حاجيات مستعملين آخرين، شريطة التقيد بالنصوص التشريعية والتنظيمية الجاري بها العمل.

كما أن المشرع المغربي منح إمكانية القيام بهذا النوع من المشاريع في إطار شراكة بين القطاع العام والخاص (PPP – Public-Private Partnership)؛ وفقا للقانون 86.12 المتعلق بعقود الشراكة بين القطاع العام والخاص، الصادر بتنفيذه ظهير شريف رقم 1.14.192 في فاتح ربيع الأول 1436 (24 ديسمبر 2014)، والمغير والمتمم بالقانون رقم 46.18 الصادر بتنفيذه الظهير الشريف رقم 1.20.04 بتاريخ 11 من رجب 1441 (6 مارس 2020) باعتبار هذه الشراكة عقد محدد المدة، يعهد بموجبه شخص عام إلى شريك خاص مسؤولية القيام بمهمة شاملة تتضمن التصميم والتمويل الكلي أو الجزئي والبناء أو إعادة التأهيل وصيانة أو استغلال منشأة بنية تحتية أو تقديم خدمات ضرورية لتوفير مرفق عمومي (*المادة الأولى من القانون 86.12*).

الأمر الذي سيفتح المجال أمام المقاولات الصغيرة والشركات الكبرى للاستثمار في هذا النوع من المشاريع، كما أنه سيخلق لا محالة تحولا جذريا في مقاربة المشاريع الاستثمارية في قطاع الماء وتنافسية كبيرة فيها (الغوفيري، 2023، صفحة 795).

غير أنّ الملاحظ عند استقراء المواد الست المنظمة لتحلية مياه البحر في التشريع المغربي، كونها أغفلت الإشارة إلى إمكانية إنجاز مشاريع التحلية في إطار الشراكة بين القطاعين العام والخاص (PPP)، واقتصرت على صيغة الامتياز كآلية وحيدة للتدبير. ويُعدّ هذا القصور ملاحظة جوهرية في قانون أحدث من حيث الزمن من القانون رقم 86.12 المتعلق بعقود الشراكة بين القطاعين العام والخاص، الأمر الذي يستدعي مراجعته تحقيقًا للانسجام التشريعي وضمانًا للأمن القانوني. ويزداد هذا المطلب إلحاحًا بالنظر إلى أنّ اعتماد نمط الشراكة(PPP) في بناء وتشغيل منشآت التحلية أثبت نجاعته في عدة تجارب، لما يتميز به من مرونة تمويلية وكفاءة تدبيرية وتقاسم للمخاطر (*وردت مميزات هذه الوسيلة في ديباجة القانون 86.12*)، بما من شأنه المساهمة بشكل فعّال في إنشاء محطات ذات سعات كبرى قادرة على تلبية الحاجيات المائية المستقبلية. فتقييم تطور تحلية المياه لا يقتصر على قياس الطاقة الإنتاجية الإجمالية، بل يشمل أيضًا تحليل حجم الوحدات المُركّبة باعتباره مؤشرًا على كفاءة النظم التقنية ومستوى التحكم في الكلفة الاقتصادية والبيئية. وتُظهر التجارب الدولية الحديثة اتجاهًا متناميًا نحو تشييد محطات تحلية ضخمة بفضل توظيف آليات التمويل والشراكة الحديثة، في إطار تنافس دولي لتعزيز الاستثمارات وتوسيع نطاق هذه المنشآت (El Hassane EL MAHDAD، 2024، صفحة 75).

وفقا لما سبق، يتبين أن مشروع تحلية مياه البحر يعد ورشا استراتيجيا وحيويا، لما يوفره من حلول مبتكرة تسهم في تحقيق الأمن المائي، كما يتوقع أن يساهم بشكل ملموس في تعزيز مكانة المغرب ضمن الدول الرائدة في مجال تدبير الموارد المائية.

[5] يرتكز مشروع المغرب الطموح في المجال الصناعي على معالجة المياه العادمة بشكل أكبر، حيث من المرتقب أن يتم احداث محطات لمعالجة المياه العادمة في جميع المدن التي تتوفر على مناطق صناعية

وهو ما من شأنه أن ينعكس إيجابا على مختلف المستويات، ولا سيما الجوانب الاجتماعية والاقتصادية والفلاحية، كما سيساهم في تلبية الحاجيات المتزايدة للقطاع السياحي من الموارد المائية، انسجاما مع الرؤية الاستراتيجية للمغرب في هذا المجال، خاصة في ظل الاستحقاقات الكبرى التي يستعد لاستضافتها، وعلى رأسها نهائيات كأس العالم 2030.

المطلب الثاني: آثار تحلية مياه البحر و آفاقها المستقبلية في ضوء الرؤية الاستراتيجية للمغرب

إن تحلية المياه باعتباره حلا من الحلول لمواجهة الإجهاد المائي يتطلّب موارد بشرية وتقنية ومالية ضخمة، فضلاً عن أنها ترتب آثارا صحية وبيئية. فهي عملية عالية الاستهلاك للطاقة، تفرض أعباء مالية كبيرة وتخلّف انعكاسات سلبية على البيئة.

مما ارتأينا معه التطرق إلى كل من التأثيرات المترتبة عن تحلية المياه في الفقرة الأولى ومستقبل هذه التقنية على ضوء الرؤية الاستراتيجية للمغرب في الفقرة الثانية.

الفقرة الأولى: تحلية المياه وإشكالية تحقيق التوازنات الكبرى

تثير مسألة تحلية مياه البحر إشكالات عدة تتجاوز بعدها التقني البحت لتلامس أبعادًا أوسع ترتبط بالتوازنات الكبرى. فبينما يُنظر إلى التحلية بوصفها خيارًا استراتيجيًا لمعالجة ندرة الموارد وضمان الأمن المائي، فإنّ التوسّع في اعتمادها يطرح في المقابل تساؤلاتٍ حول كلفتها واستدامتها وانعكاساتها المختلفة. ومن ثَمّ، تحليل هذا الخيار ضمن سياق التوازنات التي يسعى المغرب إلى تحقيقها بين متطلبات التنمية والحفاظ على الموارد الحيوية.

أولا: التأثير البيئي

سبق أن أشارت لجنة كاليفورنيا الساحلية إلى أن أبرز التأثيرات السلبية المباشرة لمحطات تحلية مياه البحر تتعلق بالكائنات البحرية، وقد يكون هذا التأثير كبيرًا في بعض الحالات (Pappas، 2011، صفحة 88).

فعلى الرغم من وجود مجموعة متنوعة من التقنيات والعمليات الحديثة لتحلية المياه[6]، إلا أن كل منها يتضمن نفس المكونات اللازمة، ويُنتج أساسا نفس النتائج الثانوية.

وتجدر الإشارة أن المادة الخام اللازمة لتحلية المياه هي المياه المالحة؛ حيث يجب أن تستقبل جميع محطات تحلية المياه المياه المالحة بالاعتماد عادةً على أنابيب مزودة بمرشحات لتصفية المواد الكبيرة. بعد ذلك، يُسحب الماء المالح ويخضع لعملية تحلية المياه التي تُنتج تيارين من المخرجات: أولهما منتج المياه العذبة المطلوب، وثانيهما منتج ثانوي من محلول ملحي يحتوي على تركيزات عالية من الأملاح المُزالة، بالإضافة إلى أي مواد كيميائية أو معادن أخرى فُصلت خلال عملية التحلية (Pappas، 2011، صفحة 86).

وبخصوص المحلول الملحي الناتج عن هذه التقنية أو ما يسمى بالرجيع الملحي فيتم إعادته إلى المحيط، مما يؤدي حتما إلى التأثير على الحياة البحرية من خلال تغيير نسبة ملوحة بيئة الكائنات الحية.

وهو ما يثير الإشكالية القانونية المرتبطة بحماية البيئة وحماية الساحل، حيث نصّ القانون رقم 81.12، ومن خلال مادته الأولى على ضرورة المحافظة على توازن الأنظمة الساحلية وصون التنوع البيولوجي. تضاف إلى

6 تنقسم تقنيات تحلية المياه إلى فئتين: تحلية المياه باستخدام عمليات تغيير الطور أو العمليات الحرارية، وتحلية المياه باستخدام عمليات أحادية الطور أو الغشائية. تشمل تقنيات تحلية المياه بتغيير الطور: الوميض متعدد المراحل (MSF)، والتقطير متعدد التأثير (MED)، وضغط البخار (VC)، والتجميد. ومن أمثلة تقنيات تحلية المياه أحادية الطور: التناضح العكسي (RO)، والتحليل الكهربائي (ED)، وإزالة الأيونات بالسعة (CDI)، والتقطير الغشائي (MD). وتُعد تقنيات التناضح العكسي، والوميض متعدد المراحل، والتقطير متعدد التأثير، والتحليل الكهربائي، والتقنيات الهجينة تقنيات تحلية مجدية تجاريًا وشائعة الاستخدام، بنسبة 63%، و23%، و8%، و3%، و3% على التوالي (E. Ahmadi، 2020، صفحة 4).

ذلك مقتضيات القانون رقم 99.12 بمثابة الميثاق الوطني للبيئة والتنمية المستدامة، الذي يمنع أي شخص من الإضرار بالبيئة أو المساس بعناصرها بمقتضى المادة الرابعة منه والتي تنص على: "يجب على كل شخص ذاتي أو اعتباري، عام أو خاص الامتناع عن إلحاق الضرر بالبيئة".

وهذا ولتقنية التحلية أضرارا بيئية، كتلوث الهواء بفعل انبعاثات الأكاسيد والآثار الضارة على الحياة البحرية، الناتج عن التخلص من نفايات المحاليل شديدة نسبة الملوحة، وبقايا مواد المعالجة الكيمائية، وتسرب المحاليل الملحية، لكون تلك النفايات تشكل ضررا مهددا للحياة البحرية والنظام البيئي البحري في حالة التخلص أو تسرب هذه النفايات والمحاليل إلى مياه البحر من محطات التحلية الموجودة بالقرب من الشواطئ، هذا ويسبب التخلص من الأملاح ومواد والمحاليل الملحية من محطات التحلية بطريقة عشوائية أضرارا وخيمة، أضف إلى ذلك خطر تسربها إلى أعماق الأرض وتلويث المياه الجوفية، وانبعاث الغازات الدفينة من جراء تشغيل محطات التحلية (الصحراوي، 2018-2019، صفحة 214).

ثانيا: الاستهلاك الطاقي

لا تزال تقنيات تحلية المياه تستهلك كمية كبيرة من الطاقة إما عن طريق الاستهلاك المباشر للوقود الأحفوري أو الكهرباء وبشكل عام قد يعتمد استهلاك الطاقة واختيار تقنية تحلية المياه على العديد من المعايير؛ حيث تتطلب طرق التحلية الحرارية حوالي 40 إلى 80 كيلواط ساعة/م^3 من الطاقة الكهربائية المكافئة للتدفئة. وفي الوقت نفسه، تستهلك من 2.5 إلى 5 كيلواط ساعة/م^3 من الكهرباء لمعداتها المساعدة. يبلغ متوسط استهلاك الطاقة لأكثر طرق تحلية المياه التجارية بالتناضح العكسي حوالي 100 تيراواط ساعة في السنة (B.Anand، 2021، صفحة 1).

ومن ثَمّ، وتجنّبًا للاعتماد الكلي على الطاقة الأحفورية، تُعدّ الطاقة المتجددة مصدرًا مستدامًا وبديلًا لتوفير الطاقة الحرارية والكهربائية اللازمة لوحدات التحلية. وتُعدّ هذه المصادر الأنسب للمناطق الجافة التي تعتمد على التحلية لتأمين المياه العذبة. ومن بين هذه المصادر، تبرز الطاقة الشمسية كمورد وفير ومجاني يمكن استغلاله لإنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية، بما يتيح تحقيق إمداد مستمر بالمياه العذبة من وحدات التحلية، خصوصًا عند دعمها بأنظمة تخزين الطاقة المختلفة. وتُظهر تقنيات الطاقة الشمسية الحرارية المركزة (CST) قدرة عالية على توليد الطاقة المطلوبة لعمليات التحلية (B.Anand، 2021، صفحة 2).

ثالثا: التأثير الاقتصادي

تستهلك عملية تحلية المياه، بصرف النظر عن التقنية المعتمدة، كمياتٍ كبيرة من الطاقة، مما يجعلها مرتفعة التكلفة. وحتى مع اعتماد أحدث التقنيات، تُمثّل تكاليف الطاقة ما بين الثلث ونصف التكلفة الإجمالية لإنتاج المياه العذبة عبر التحلية. ويؤدي هذا العبء الطاقي الكبير، إلى جانب تقلب أسعار مصادر الطاقة، إلى ارتفاع التكلفة النهائية للمتر المكعب من المياه المحلّاة (Pappas، 2011، صفحة 86).

ورغم الفوائد الكبيرة لتحلية المياه، إلا أن هذا القطاع يواجه انتقادات عالمية تتعلق بالآثار البيئية وتكاليف الاستثمار والتشغيل المرتفعة نتيجة الاستهلاك الكبير للطاقة. وعليه، تبقى المياه المحلاة خيارًا مكلفًا للري مقارنة بالمصادر التقليدية، باستثناء استخدامه في محاصيل عالية القيمة معدة للتصدير. وتعد محطة شتوكة آيت باها مثالا عمليا على ذلك، إذ توفر مياه الري لـ15,000 هكتار، يستفيد منها نحو 1,500 مزارع لإنتاج محاصيل مبكرة مثل الطماطم والتوت المخصصة للأسواق الأوروبية (تقرير المعهد المغربي لتحليل السياسات، يناير 2025، صفحة 28).

كما تعدّ التحسينات في تكنولوجيا الأغشية وتطوير أنظمة استعادة الطاقة من العوامل الأساسية التي ساهمت في خفض تكاليف إنتاج المياه بواسطة تقنية التناضح العكسي بشكل ملحوظ. وقد تناولت دراسات متعددة هذا التأثير وفقًا لسعة المحطة. ففي محطات التحلية ذات القدرة الإنتاجية التي تتراوح بين 100,000 و320,000 متر مكعب يوميًا، تتراوح تكلفة إنتاج المياه بين 0.45 و0.66 دولار أمريكي للمتر المكعب. أما في المحطات المتوسطة التي تتراوح طاقتها بين 15,000 و60,000 متر مكعب يوميًا، فتبلغ التكلفة ما بين 0.48 و1.62 دولار أمريكي للمتر المكعب. في حين تتراوح التكلفة بين 0.70 و1.72 دولار أمريكي للمتر المكعب في المحطات الصغيرة التي تتراوح قدرتها الإنتاجية بين 1,000 و48,000 متر مكعب يوميا.

الشيء الذي يفسر تنافس الدول الرائدة في تحلية المياه في بناء أكبر المحطات، مما يطلق عليه ظاهرة العملاقية حيث توجد أكبر المحطات من حيث السعة والإنتاجية في كل من المملكة العربية السعودية والإمارات العربية المتحدة (El Hassane EL MAHDAD, 2024, p. 75).

الفقرة الثانية: مستقبل تحلية مياه البحر على ضوء الرؤية الاستراتيجية

سنحاول في هذه الفقرة التعرض لكل من المرتكزات الاستراتيجية والتقاطع مع التحولات الطاقية وكذا العدالة المجالمائية:

أولا: المرتكزات الاستراتيجية

تعد سنة 2022 منعطفًا حاسمًا في مسار تحلية المياه بالمغرب، إذ دشّن مرحلة جديدة تتجه نحو إنشاء محطات كبرى ذات قدرات إنتاجية عالية. فبينما بلغت محطة أكادير سعة 275 ألف متر مكعب يوميًا مع قابلية التوسّع، يجري التخطيط لبناء محطات متعددة الاستخدامات في شمال البلاد. وفي هذا السياق، أُسند في نوفمبر 2023 عقد إنشاء محطة عملاقة على ساحل الدار البيضاء الكبرى بطاقة تصميمية تفوق 550 ألف متر مكعب يوميًا بحلول 2027، قابلة للرفع إلى أكثر من 800 ألف متر مكعب يوميًا على المدى المتوسط، أي ما يعادل سعة سد كبير يبلغ 300 مليون متر مكعب. كما يشمل البرنامج الوطني إحداث محطة في المنطقة الشرقية بطاقة 350 ألف متر مكعب يوميًا (حوالي 130 مليون متر مكعب سنويًا) وأخرى بطاقة 100 ألف متر مكعب يوميًا مخصصة لتزويد مشروع ميناء الداخلة الأطلسي الكبير، بما يعكس التحول الاستراتيجي نحو تحلية المياه كمصدر رئيسي لتعزيز الأمن المائي الوطني .(El Hassane EL MAHDAD, 2024, p. 76)

ويشغّل المغرب حاليا سبعة عشرة محطة لتحلية المياه، في حين توجد أربع محطات أخرى قيد الإنشاء، ويجري التخطيط لإنجاز تسع محطات إضافية، بهدف بلوغ طاقة إنتاجية إجمالية تقدر بـ1.7 مليار متر مكعب سنويًا بحلول عام 2030 (وزير التجهيز والماء).

كما تمثل محطة تحلية المياه "شتوكة آيت باها"، التي افتتحت في فبراير 2022 بتكلفة استثمارية بلغت 4 مليارات درهم، نموذجًا بارزًا للمشاريع الرائدة في المغرب. ويُنفذ المشروع بتعاون بين المكتب الوطني للكهرباء والماء الصالح للشرب ووزارة الفلاحة، لتغطية احتياجات مياه الشرب لمنطقة أكادير الكبرى وتوفير مياه الري لسهل شتوكة. وتبلغ القدرة الإنتاجية للمرحلة الأولى 275,000 متر مكعب يوميًا، منها 150,000 متر مكعب مخصصة للشرب و125,000 متر مكعب للري (المعهد المغربي لتحليل السياسات، يناير 2025، صفحة 28).

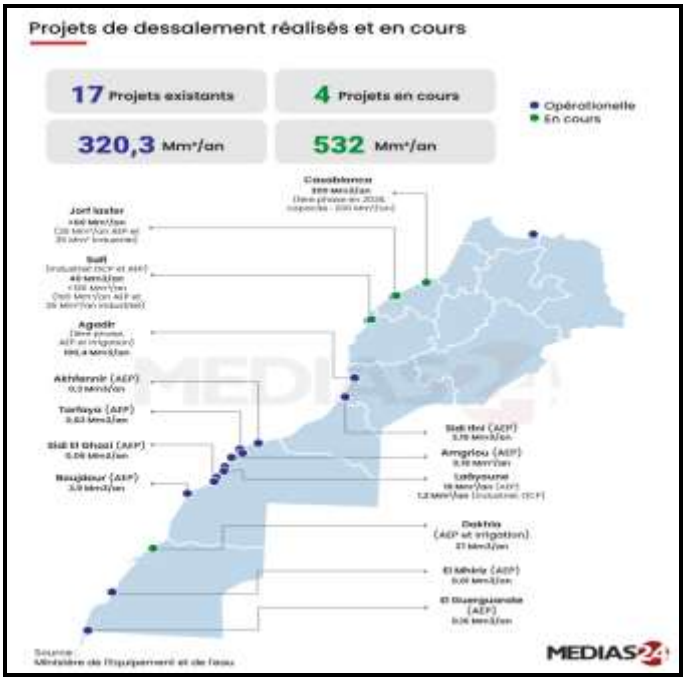
ثانيا: التقاطع مع التحولات الطاقية

تحتاج محطات تحلية مياه البحر إلى استهلاك طاقي كبير، مما يؤثر على المجال الطاقي والمجال البيئي بل المجال الاقتصادي، إلا أن المغرب وبفضل القيادة الرشيدة لصاحب الجلالة اعتمد مجموعة من الاستراتيجيات

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الوطنية للنهوض بمجال الطاقات المتجددة، وقد ورد في رأي المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي لسنة 2014 ضرورة التآزر بين الاستراتيجية الوطنية للماء ونظيرتها المتبعة في مجال الطاقة من خلال تحسين برمجة وملاءمة مشاريع الطاقات المتجددة لتنمية الموارد المائية (رأي المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، 2014، صفحة 8).

وقد ورد في المؤتمر ال 16 للطاقة المنعقد بورزازات أن المملكة المغربية بصدد تجاوز الهدف المحدد في 52 في المائة من الطاقات المتجددة في المزيج الكهربائي بحلول سنة 2026، قبل الموعد المقرر بأربع سنوات (الطاقة، 23 أبريل 2025).



شكل (2)

هذا ويجب القول بأن المغرب يربط بين السياسات الطاقية والمائية، حيث يعتمد المشروع الكبير بمدينة الداخلة بشكل متزايد على الطاقات المتجددة لتقليص الكلفة والانبعاثات (الطاقة، 23 أبريل 2025).

وفي تقريره لسنة 2020 قام بتقديم 3 توصيات كبرى بشأن البيئة، كانت الثالثة منها مرتبطة بوضع سياسة جريئة لتحلية مياه البحر، وذلك من خلال استخدام مصادر الطاقة المتجددة لتشغيل محطات تحلية المياه وتطوير نشاط للبحث والتطوير يهدف إلى بلورة حلول مبتكرة ومستدامة لتحلية المياه، ومعالجة المنتجات الفرعية لتحلية المياه.

وفي إطار التداخل بين هذه القطاعات ورغبة في عدم تحقيق مصلحة إحداها حساب القطاعات الأخرى يعتمد المغرب مقاربة النكسوس (Nexus approach) المتمثلة في ربط القطاعات بعضها ببعض لتحقيق فائدة أكثر دون الإضرار بها، وفي هذا السياق تم بناء محطة الدار البيضاء لتحلية مياه البحر تعمل بالطاقة النظيفة كما أكد ذلك صاحب الجلالة في خطابه السامي بمناسبة عيد العرش المجيد: "وذلك على غرار محطة الدار البيضاء لتحلية الماء، التي ستكون أكبر مشروع من نوعه بإفريقيا، والثانية في العالم التي تعمل 100 في المائة بالطاقة النظيفة".

ثالثا: الانعكاسات الاجتماعية والحد من الهجرة الداخلية بسبب ندرة المياه.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تؤدي هذه المقاربة إلى إعادة صياغة الجغرافيا المائيّة الوطنية، إذ توجّه الاستثمار إلى الشريط الساحلي كثقل مركزي للتنمية العمرانية والاقتصادية، بينما تعمل أيضا على تخفيف الضغط في المناطق الداخلية. غير أنّ هذا التوجّه يحمل في طيّاته تحديات منها إمكان تفجّر الاختلالات المجالية والنزوع إلى تمركز إضافي في الساحل، فضلاً عن كلفة الطاقة وتشغيل محطات التحلية.

الأمر الذي يستوجب تسريع العمل على العدالة المجالمائية[7]؛ فالمغرب وبالرغم من اعتماده على تحلية المياه كخيار استراتيجي لمواجهة الإجهاد إلا أنه لم يتخلّ عن بناء السدود؛ بل مازال يسرع في بنائها بما يحقق هذه العدالة. وعلى غرار ربط الأحواض بطرق السيار المائية، يمكن توجيه المياه المحلاة إلى المناطق الداخلية مع الاستمرار في توسيع المحطات المائية، إن دعت الضرورة التكامل بين المصادر التقليدية والجديدة، إلى جانب باقي الموارد المائية المتاحة، بما شأنه تعزيز العدالة المجالمائية وضمان توزيعا أكثر إنصافا للمياه غير مختلف جهات المملكة

خاتمة:

هكذا؛ نستشف أن تحلية مياه البحر كخيار استراتيجي مهم لمواجهة الإجهاد المائي المتزايد في المغرب، خصوصا في ظل ندرة التساقطات والضغط المتصاعد على الموارد المائية التقليدية. لكن الاعتماد على هذه التقنية لا يعفي من أهمية تطوير السدود وإدارة الموارد الجوفية والسطحية بشكل متوازن، بما يحقق العدالة المجالمائية ويوجه المياه إلى المناطق الأكثر حاجة. كما يبرز الاهتمام بالطاقات المتجددة كعامل حاسم لضمان استدامة عمليات التحلية وتقليل البصمة البيئية.

ومنه يظهر أن تعزيز الأمن المائي يتطلب تكاملاً بين السياسات العمومية والتقنيات الحديثة، مع تحسين إدارة الموارد التقليدية وضرورة الاستمرار في الابتكار والتخطيط المستقبلي لتلبية حاجيات السكان والمساهمة في التنمية الاقتصادية والاجتماعية المستدامة للمملكة.

ولابد في نهاية هذه الورقة البحثية من تقديم مقترحات لتعزيز هذه الاستراتيجية، وهي كالتالي:

- **الحرص على تأهيل وتكوين الموارد البشرية المختصة في تحلية مياه البحر**، بما يُعد استثمارًا مستقبليًا يضمن كفاءة تشغيلية مستدامة؛
- **تشجيع البحث العلمي والابتكار** لتحسين تقنيات التحلية وتقليل آثارها السلبية، بما يجعلها أقل تكلفة وأكثر استدامة وملاءمة للبيئة في المستقبل؛
- **تعديل وتطوير التشريعات المرتبطة بهذا القطاع** لضمان تكامل تشريعي يسهم في تنظيم المشروع بشكل آمن وفعال، ويضمن حماية الموارد المائية والبيئة؛
- **تعزيز التمويل والاستثمار في الطاقة المتجددة** لتشغيل محطات التحلية، بما يقلل الاعتماد على الطاقة الأحفورية ويخفض البصمة الكربونية، مع العمل على التوجه نحو بناء محطة نووية مدنية لما لها من إيجابيات بخصوص الطاقة؛
- **تطوير شبكات توزيع مرنة ومترابطة** تسمح بتوجيه المياه المحلاة إلى المناطق الأكثر حاجة، وربط الأحواض المائية بشكل يحقق العدالة المجالمائية ويعزز الأمن المائي على المستوى الوطني؛

[7] إننا نقصد ب"العدالة المجال-مائية": تنظيم عادل ومنصف لتوزيع الموارد المائية وإدارتها بين مختلف المجالات والمناطق الجغرافية، مع مراعاة الاعتبارات الاجتماعية والبيئية والاقتصادية، بهدف ضمان وصول متساوٍ ومستدام للمياه لجميع المجتمعات والأجيال. وذلك من خلال دمج مصطلحين علميين هما العدالة المائية والعدالة المجالية.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- **تعزيز الشراكات العربية لتطوير هذه التقنيات وتبادل الخبرات.**

لائحة المراجع:

- إمام عبد الفتاح إمام، "مدخل إلى الميتافيزيقا"، الطبعة الأولى 2005، مطبعة نهضة مصر.
- تقرير المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي تحت عنوان "الحق في الماء والامن المائي مهددان بسبب الاستغلال المفرط للموارد المائية"، متوفر على الرابط https://2u.pw/bw2JVi
- تقرير المجلس الأعلى للحسابات لسنة 2024، الجريدة الرسمية عدد 7360 مكرر، الصادرة بتاريخ 11 جمادى الآخرة 1446 (13 ديسمبر 2024).
- رأي المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي بخصوص "مشروع القانون رقم 81.12 المتعلق بالساحل"، إحالة رقم 2014/13.
- حليمة الغوفيري: "تحلية مياه البحر كآلية للحد من ندرة المياه بالمغرب"، مقال منشور بمجلة القانون والأعمال الدولية، الإصدار 47، شتنبر 2023.
- عبد الحميد الصحراوي، "إشكالية المياه العابرة للحدود في القانون والواقع الدوليين"، أطروحة لنيل الدكتوراه في القانون العام، جامعة محمد الخامس، كلية العلوم القانونية والاقتصادية والاجتماعية، الرباط-أكدال، السنة الجامعية 2018-2019.
- تقرير المعهد المغربي لتحليل السياسات، "الانتقال المائي العادل"، يناير 2025.
- رأي المجلس الاقتصادي والاجتماعي والبيئي، "الحكامة عن طريق التدبير المندمج للموارد المائية في المغرب: رافعة أساسية للتنمية المستدامة"، 2014.
- من فعاليات الدورة السادسة عشرة لمؤتمر الطاقة تحت شعار "الطاقات.. ركيزة استراتيجية للأمن المائي والتنمية المستدامة"، المنعقد بورزازات بتاريخ 23 أبريل 2025.
- O. BOUCIF, « EXPERIENCE AND PROSPECTS OF DESALINATION IN MOROCCO », *Proceedings of two Advisory Group meetings held in Rabat, Morocco, 23-27 October 1995 and Tunis, Tunisia, 3-6 September 1996, « Introduction of small and medium reactors in developing countries », IAEA-TECDOC-999, Printed by the IAEA in Austria February 1998.*
- Direction Générale de la Météorologie, Ministère de l'Équipement et de l'Eau, Rapport sur l'état du climat au Maroc en 2024, Rabat, 2025.
- World Resources Institute. (August 26, 2015). « Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040 ». https://www.wri.org/insights/ranking-worlds-most-water-stressed-countries-2040
- Direction Générale de la Météorologie.
- El Hassane EL MAHDAD, and others, « Morocco in the era of desalination: Towards a major change in water policy ».
- E. Ahmadi, B. McLellan, B. Mohammadi-Ivatloo, T. Tezuka, «The role of renewable energy resources in sustainability of water desalination as a potential fresh-water source», an updated review, Sustainability, 12 (2020), 5233, doi: 10.3390/su12135233, Sustainability | An Open Access Journal from MDPI .
- Michael Pappas, « Unnatural Resource Law: Situating Desalination in Coastal Resource and Water Law Doctrines », Published by the University of Colorado in 2011. Available at: https://scholar.law.colorado.edu/faculty-articles .

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- B. Anand ; and others, « A review on solar photovoltaic thermal integrated desalination technologies », Renewable and Sustainable Energy Reviews 141 (2021) 110787, Available at: https://http//www.elsevier.com/locate/rser .

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

أثر التغيرات المناخية على العمارة الطينية في مديريات سيئون بمحافظة حضرموت – الجمهورية اليمنية

د. نبيلة عبد العزيز خليل القادري
أستاذ الجغرافيا المناخية مساعد
كلية التربية – جامعة عدن

أ. مشارك.د فواز عبدالله باحميش
أستاذ الجيومورفولوجيا التطبيقية ونظم المعلومات الجغرافية المشارك
كلية التربية – جامعة عدن

Abstract:

Climate Changes have Affected the Ecosystems of the Earth's Surface, and this has been Reflected in Human Life and Stability. The Temperature Element has Risen Worldwide and Exceeded the Natural Limit, in Addition to Unusual Weather Conditions, Hurricanes, and Floods. Periods of Drought have also Increased, and Ecosystems and Resources have been Affected Water, and the World is Trying, through Conferences and Protocols, to Seek to Limit the Increase in Temperature Rise below the level it has Currently Reached and to Search for Ways to Adapt to the Repercussions of Climate Change. The Cultural Stock of Peoples is an Important Source for Research on ways to Adapt to the Rise in Temperature and Reducing its Effects to Ensure the Sustainability of natural resources and human stability. Urbanization and the style of Architecture are an Important Part of the Reasons for Stability and Benefiting from Natural Resources in any Field. Mud Architecture is Considered one of the most Important Features of Architectural Construction Prevailing in the Desert Environment and Hot and Dry Climates.

The Districts of Sayun, which are Characterized by Harsh Climatic Conditions, are Extremely Sensitive due to their Location Near the Southern Rub' al-Khali Desert, where they are Susceptible to Deterioration as a Result of Natural and Human Factors. Climate Changes have Exacerbated the Deterioration of the Environmental Situation in it, and Humans have Adapted to Face these Climatic Conditions In the Districts of Sayun, he Worked to Adopt the Mud Urban Style in Building his Houses, which made its Architecture Occupy the Forefront Globally as a Cultural Heritage that must be Preserved and Ensured its Sustainability.

The Research Concluded that Mud Architecture and its Selected Ancient Sites Played a Successful Role in Facing the Challenges of Climate Change in Terms of High Temperatures and Floods in the most Important Historical Cities, such as the Historic City of Shibam.

Keywords: Climate Change, Mud Architecture, Adaptation of Urban Style.

الملخص:

ثرت التغيرات المناخية على النظم البيئية لسطح الأرض وانعكس ذلك على حياه الانسان واستقراره فعنصر الحرارة ارتفع على مستوى العالم وتجاوز الحد الطبيعي أضافة إلى حالات الطقس الغير معهوده والأعاصير والفيضانات كما تواترت فترات الجفاف وتأثرت النظم الأيكولوجية وموارد المياه، ويحاول العالم عبر المؤتمرات والبروتوكولات السعي للحد من زياده ارتفاع درجه الحرارة دون المستوى الذي وصلت آلية حاليا والبحث عن سبل التكيف مع تداعيات التغيرات المناخية، ويعد المخزون الثقافي لدي الشعوب مصدر مهم للبحث حول سبل التكيف مع ارتفاع درجه الحرارة والحد من آثارها لضمان استدامة الموارد الطبيعية واستقرار الإنسان ويأتي العمران ونمط البنيان جزء مهم من أسباب الاستقرار والاستفادة من الموارد الطبيعية لاي مجال، وتعتبر العمارة الطينية من اهم مميزات البناء المعماري السائد في البيئة الصحراوية والمناخات الحارة والجافة .

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تعد مديريات سيئون والتي تتميز بظروف مناخية قاسية شديد الحساسية نظرا لموقعها القريب من جنوب صحراء الربع الخالي حيث تكون قابلة للتدهور نتيجة عوامل طبيعية وبشرية، وفاقمت التغيرات المناخية من تدهور الوضع البيئي فيه، ولتأقلم الأنسان في مواجهة هذه الظروف المناخية القاسية في مديريات سيئون عمل على أتخاد النمط العمراني الطيني في بناء منازله الأمر الذي جعل عمارتها تحتل الصدارة عالميا كموروث ثقافي يجب الحفاظ علية وضمان استدامته.

وقد توصل البحث إلى أن العمارة الطينية ومواقعها القديمة المختارة لعبت دور ناجحاً في مواجه تحديات التغيرات المناخية من حيث ارتفاع درجة الحرارة والسيول على أهم المدن التاريخية كمدينة شبام التاريخية .

الكلمات المفتاحية: التغيرات المناخية، العمارة الطينية، تكيف النمط العمراني.

مقدمة:

تتدخل العوامل الطبيعية في اليمن بنمط العمران وتفاصيله، واهم هذه العوامل المناخ والتضاريس، فقد فرض هذان العاملان منذ القدم تبني مساكن تتأقلم مع الظروف الطبيعية ساهمت في استقرار الانسان وعززت قدرته على التكيف في مجاله والاستفادة من موارده الطبيعية .

تُعَدُّ العمارة الطينية في وادي حضرموت أحد أبرز السمات المعمارية التي تعكس تاريخ المنطقة وحضارتها العريقة، حيث تمثل هذه العمارة جزءًا حيويًا من الهوية الحضرمية تاريخياً (https://www.nabdalarab.com، 2025م)، فرضت العمارة الحضرمية حضوراً متميزاً بشكل خاص نابعاً عن توظيف مواد البناء المحلية واستخدامها بشكل ينسجم وبيئة الأنسان وحاجته ومتطلباته. ففي عام 1982م أدرجت منظمة التربية والقافة والعلوم (اليونسكو) مدينة شبام حضرموت في قائمة التراث الإنساني الدولي، وفي عام 2007م حصلت شبام على جائزة الأغا خان الدولية للعمارة في مدينة كوالالمبور الماليزية، وهكذا باتت واحدة من المدن الحضارية العالمية، ما جعلها بؤرة جذب سياحي وقبلة للباحثين والزوار. وقد استطاع البناءين والحرفيين أن يتفننوا في تشكيل مادة الطين حيث طوعوها وفق ظروفهم البيئية لتبقى ولتقاوم ظروف الزمن وتقلباته مع مرور الأيام والسنين (أنور أحمد باعيسى، 2020، ص53).

وساهمت العمارة الطينية بمديريات وادي وصحراء حضرموت في تكيف السكان مع البيئات الحارة حيث استفادوا من المساحة وموارد المياه في الزراعة وإقامة مدن تاريخية كانت مهمه لطرق التجارة القديمة وتحولت بعض المديريات الى مجال حضري تستقطب السكان من المديريات المجاورة وتستقطب رؤوس الأموال نتيجة تعدد الخدمات وتنوعها.

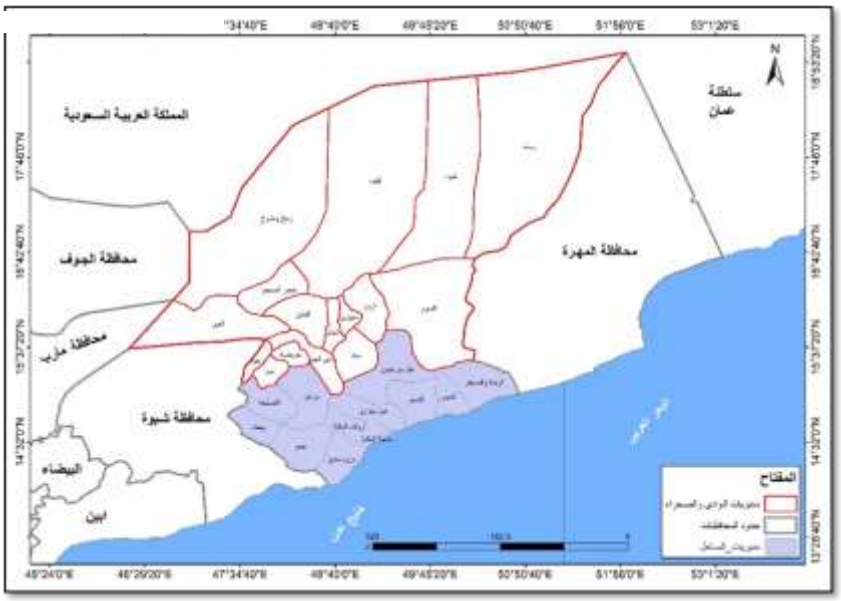
وقد شكلت التغيرات المناخية في الفترات الأخيرة تهديدا لهذا النمط من العمران كالأمطار الاستثنائية والفيضانات الفجائية فمدينة شبام التاريخية والمدرجة على قائمة التراث العالمي لليونسكو تعرضت لانهيار أجزاء من مبانيها وتشقق جدرانها مع ضعف قدرات المجتمع والمؤسسات في اصلاح وترميم المباني المعرضة للانهيار، وفي عام 2008تعرضت مدينة تريم لفيضانات عنيفة بسبب هطول الامطار ليومين متتاليين تسبب ذلك في خسائر مادية وتدمير في البنى التحتية للمدينة وسقوط مباني طينية وتدهور أراضي زراعية، علما أن مدينة تريم تحظى باهتمام عالمي فقد أدرجت هذا العام 2025م ضمن القائمة التمهيدية للتراث العالمي هي و قصر سيئون (https://whc.unesco.org. /en/tentativelists ، 2025م) لذا وجب الحفاظ عليهما كتراث عالمي مهم.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

ووفق الخسائر والكوارث على مستوى العالم والناتجة عن التغيرات المناخية أصبح العمل الناخي من اهداف التنمية المستدامة (خالد السيد حسن، 2021م، ص30). والذي يقتضي الحد من الانبعاثات الكربونية والحد من ارتفاع درجة الحرارة العالمية عما وصلت الية.

موقع منطقة الدراسة:

تقع مديريات سيئون بمحافظة حضرموت بين خطي عرض 15.30°و19.1°شمال خط الاستواء وخطي طول 52.00°و46.18°تحدها صحراء الربع الخالي من الجهة الشمالية هذا الموقع يكسبها مناخا شديد الجفاف، وبسبب خصائص الموقع المذكورة اصبحت مديريات سيئون شديدة الحرارة حيث تصل درجة الحرارة 43° 8خلال الأشهر الحارة، وتتكون مديريات سيئون من 15مديرية تابعة لمحافظة حضرموت تسمى (مديريات الوادي والصحراء)، أنظر الشكل رقم (1) يبين موقع مديريات سيئون بمحافظة حضرموت وحدودها الجغرافية.



الشكل رقم (1) يبين موقع مديريات سيئون.

المصدر: من إعداد الباحثين بالاعتماد على ArcMap10.8

مشكلة البحث:

تتميز مديريات سيئون بمحافظة حضرموت بنمط عمراني مشيد من الطين استمر لمئات السنين محافظا على متانته واستمراريته الا أن التغيرات المناخية التي يشهدها العالم أثرت على هذا النمط العمراني في المديريات وتسبب في تدهوره خلال السنوات الأخيرة بسبب غزارة الامطار الفجائية والفيضانات الغير معهودة وارتفاع درجة الحرارة، لذا مشكلة الدراسة تتمحور في التساؤلات الآتية:

1- ما هو أثر التغيرات المناخية على العمارة الطينية بمديريات سيئون بمحافظة حضرموت–الجمهورية اليمنية؟
2- كيف تساهم العمارة الطينية في الحد من أثر ارتفاع درجة الحرارة والتقليل من استخدام الطاقة؟

الهدف من البحث:

يعرف الجميع أهمية المباني الطينية كطابع يميز وادي حضرموت عن غيره من عدة جهات فريدة ومميزة، حيث يعتبر البناء بالطين أكثر اقتصادية، وصديق للبيئة، ولا توجد له أثار سلبية على عكس الخرسانة، كما تعتبر العمارة الطينية من

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

التراث الحضرمي المبدع والثمين، ولذلك ضرورة ماسة لدراسة طبيعة هذه المباني وأساليب إنشائها ومدى التأثير الزمني عليها بشكل يضمن استمرارها وتميزها ومواكبتها لتطورات العصر(مشعل احمد شيبان، 2022، ص56)، يهدف البحث الى:

1- ابراز أهمية العمارة الطينية في الحد من أثر التغيرات المناخية وخاصة ارتفاع درجة الحرارة.

2- تحديد تأثير التغيرات المناخية على العمارة الطينية في مديريات سيئون بمحافظة حضرموت.

3- تشخيص العوامل البشرية المتسببة في تفاقم تأثير التغيرات المناخية على العمارة الطينية بمديريات سيئون بمحافظة حضرموت.

أهمية البحث:

ترجع اهمية البحث حول تبني حلول تضمن استدامة العمارة الطينية في المجال الصحراوي والحد من أثر التغيرات المناخية على استدامة المباني الطينية.

منهجية البحث:

اعتمد البحث على المنهج التاريخي والمنهج الوصفي التحليلي لوصف المعالم التاريخية والظاهرات وتفسير المعلومات التي تم جمعها من الدراسات السابقة بالإضافة إلى دراسة التراث المعماري والمتمثل في المعمار الطيني وتحليل البيانات المناخية المتحصل عليها من مطار سيئون الدولي.

دراسات سابقة:

1) بحث مشعل احمد شيبان وآخرون، (2022م، ص55-ص68)، بعنوان "مقارنة انشائية لأنظمة البناء بالطين في وادي حضرموت"، مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية والتطبيقية، المجلد 26، العدد1.

هدف البحث إلى مقارنة إنشائية للتغيرات الحاصلة في طريقة البناء بالطين في وادي حضرموت خلال فترة تجاوزت مائة عام، وإلى دراسة التغيرات الإنشائية للبناء الطيني ومواكبتها لحياة المستخدمين ودراسة التغيرات في معامل الأمان لها، توصل البحث إلى أن كبر مساحات الغرف وإلغاء الأعمدة الداخلية في التصاميم المعمارية الحديثة للمباني الطينية يؤدي إلى زيادة الإجهادات على جدران المباني الطينية وانخفاض عامل الأمان فيها إلى قيم متدنية، وهذا يعني أن مادة الطين أصبحت عليها اجهادات كبيرة مما يسبب ظاهرة سرعة ظهور التشققات وحصول انهيار في المباني الطينية الحديثة، ولهذا ننصح بوضع كود محلي للبناء بمادة الطين والتبن.

2) بحث مشعل احمد شيبان ومحمد عبدالله السقاف، (2019م، ص73-ص86)، بعنوان "العمارة الطينية في وادي حضرموت وملائمتها للبيئة"، مجلة جامعة حضرموت للعلوم الطبيعية والتطبيقية، المجلد 16، العدد1.

هدف البحث إلى التأكيد أن المباني الطينية ملاءمة مادة الطين للبناء الذي فضلة الأجداد منذ القدم حيث تختلف الخصائص الفيزوحرارية لمادة الطين عن سواها من المواد الطبيعية الأخرى والتي توفر العزل الحراري المناسب لحياه السكان وراحتهم داخل مساكنهم، توصل البحث إلى تناغم واضح بين البيئة المكانية المتمثلة في البيئة الطبيعية بمختلف أنواعها وعمارة المباني الطينية في وادي حضرموت.

3) بحث أسامة طلعت عبدالنعيم (2011م، ص281-ص313)، بعنوان "العمارة الطينية في وادي حضرموت مزارات قرية شعب نبي الله هود عليه السلام نموذجاً"، مجلة كلية الآداب - جامعة عدن، العدد8.

هدف البحث إلى إلقاء الضوء على العمارة الطينية في وادي حضرموت من خلال دراسة نموذج منها وهو مبنى قبر نبي الله هود عليه السلام وبعض المباني المجاورة له والتي ترتبط بزيارة الناس للقبر والقرية، وذلك للتعريف بعمارتها وتفاصيل بنائها وتوثيقها، وتوصل البحث إلى تميز الفن المعماري في وادي حضرموت بهوية وشخصية خاصة، وأن العمارة الطينية التي حافظ عليها أبناء حضرموت منذ القدم من أهم مميزات مدن وقرى الوادي حيث تتميز بجمالها وملاءمتها لمناخ الوادي الحار.

4) بحث ولاء ضياء نصيف (2025م، ص652-ص668)، بعنوان "أثر المناخ في المباني التاريخية"، المؤتمر العلمي السادس الموسوم تاريخ العلوم عند العرب للمدة من 3-2024/12/4.

هدف البحث فهم تأثير العوامل المناخية على الأبنية التاريخية والأثرية، وتوصل البحث إلى أن العوامل المناخية تأثيرات كبيره على الهياكل المادية للتراث العمراني بل تتحول الى كوارث طبيعية مدمره حال تداخلها مع البيئات العمرانية المختلفة وكذلك اثارها المعنوية الكبيرة بالأخص الأبنية ذات القيمة التراثية وان اغلب الدول معرضة بشده للأخطار المترتبة للمناخ ويزداد حجمها وشدتها بسبب هشاشه المجتمعات في ظل ضعف القدرة ومحدودية مواردها المطلوبة لمواجهه هذه الاخطار بالإضافة الى غياب الوعي بأهمية هذه المباني وقيمتها التراثية ليس فقط على المستوى المحلي والاقليمي بل على المستوى الدولي والعالمي ايضا.

5) بحث أم الخير المقدم وعبدالله خي (2021م، ص144-ص162)، بعنوان "البناء والعمارة الطينية في واحات توات "دراسة في الدلالات الثقافية والأبعاد التاريخية والمعالم"، مجلة المعارف للبحوث والدراسات التاريخية، المجلد7، العدد3.

هدف البحث إلى الحفاظ على التراث المبني من الطين في إقليم توات والذي يعاني الكثير من الإهمال والتهميش، وتوصل البحث إلى السعي للمحافظة عن هذا الموروث من خلال البحث فيه وإحيائه واستغلاله للرجوع إلى النمط المعماري التقليدي الأصيل وعصرنته في المناطق الصحراوية واستغلاله في الجانب السياحي والتنمية الاقتصادية.

6) بحث (Sondos Omar, Giulia Annalinda, 2025, pp1-23)، بعنوان "التحليل المورفولوجي للعمارة المبنية من الطوب اللبن في الإسكان السوري وصياغته المستقبلية: حالة دراسة ريف دمشق"، مجلة المباني (Buildings)، المجلد15، العدد 3974.

هدف البحث إلى تسليط الضوء على السمات المورفولوجية للعمارة المبنية من الطوب اللبن في سورية، وذلك من خلال المنهج الوصفي التحليلي، توصل البحث إلى اظهار إيجابيات وسلبيات عمارة الطوب اللبن وتحديد عناصرها المورفولوجية وتقديم أفكار تصميم مستدام تعتمد على تقنيات البناء التقليدي، مع اظهار المبادئ التوجيهية لتطوير مساكن مستقبلية مستدامة ذات توجهات تراثية وحديثة.

7) بحث (Mazen Ebrahim, elt, 2023, pp 514-529)، بعنوان "العلاقة بين إطار إدارة مخاطر المشروع والتنمية المستدامة للعمارة الطينية في اليمن"، المجلة الدولية لإدارة الأعمال والتكنولوجيا (International Journal of Business and Technology Management)، المجلد 5، العدد1.

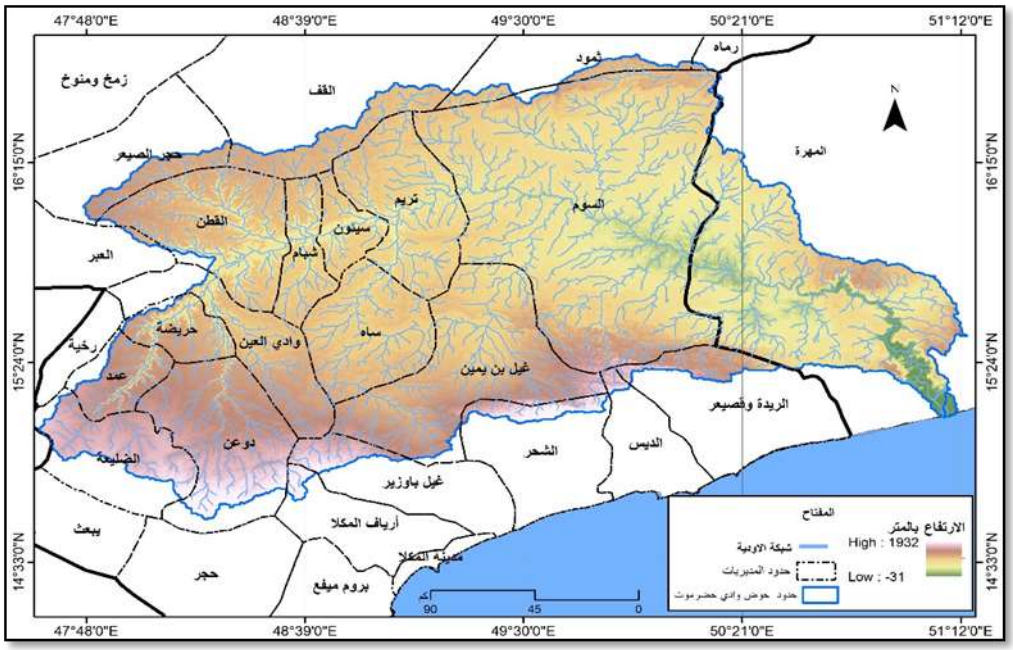
هدف البحث وهو معرفة ما إذا كان إطار إدارة مخاطر المشروع يؤثر على التنمية المستدامة للمباني المعمارية الطينية في اليمن، توصل البحث إلى أن العلاقة بين إطار إدارة مخاطر المشاريع والتنمية المستدامة علاقة إيجابية وهامة في مستوى 0.05، إضافة إلى تقديم معلومات قيمة حول كيفية دمج إطار إدارة مخاطر المشروع لتحقيق التنمية المستدامة.

عرض النتائج ومناقشته:

اولا: تحديد الخصائص الطبيعية لمديريات سيئون والتي تجعلها مجال هش قابل للتدهور في ضل التغيرات المناخية.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

لموقعها على وادي حضرموت وقربها من صحراء الربع الخالي أصبحت بعيدة عن المسطحات المائية لذلك فأنه تتعرض لموجات الغبار والكتل الهوائية الجافة، كما تنشط حركة الرياح في فصل الشتاء مما يزيد من عملية النحت والإرساب



الريحي، والذي يؤثر على أعالي العمارة الطينية ويسبب تقشر الطبقات الخارجية لأسطح وجدران المباني. نجد ارتفاع المديريات يكون متفاوت فنلاحظ أن مديرية تريم وسيئون تكون أقل ارتفاعاً عن بقية المديريات بل تقع في قعر الوادي مقارنة بمديرية شبام والتي تكون مرتفعة وهذا يظهر لنا الاختلاف في تأثر المديرات بأضرار السيول بالنسبة للعمارة الطينية ومدى مقاومتها للأمطار التي قد تستمر لساعات طويلة أنظر الشكل رقم (2) نموذج الارتفاعات وشبكة الأودية في مديريات سيئون.

الشكل رقم (2) يبين نموذج الارتفاعات الرقمية وشبكة الأودية لمديريات سيئون.

المصدر: من إعداد الباحثين بالاعتماد على ArcMap10.8

راعا الانسان القديم مجاري السيول عند بناء المدن لذي ضلت المدن التاريخية والأماكن الاثرية في منا عن الكوارث الناتجة عن السيول واحتفظت ببناها الطيني لسنين طويلة فموقع مدينة سيئون القديم بني في منطقة تسمي السحيل وهي مرتفعة عن مجرى الوادي ويقع فيها قصر سيئون الذي يعد اكبر قصر في العالم مبنيا من الطين هذا الارتفاع يضمن حماية القصر من السيول الجارفة بينما التوسع الحضري الذي تم في المدينة لم يراعي مجاري السيول وحدث التوسع بشكل طولي وعلى جنبات الوادي مما يعرضها لكوارث السيول في حالة امطار استثنائية او تجمع المياه من الروافد التي تغذي الوادي .كذلك الامر في مدينة تريم الذي تأثرت بفيضانات عام2008م والتي أحدثت أضرار في المباني الخاصة عددها6013 مسكن في كل من حضرموت والمهرة كان لحضرموت اعلى نسبة من الاضرار بلغ 94%وهو النصيب الأكبر بينما 14%من نصيب المهرة وتنوعت الاضرار في المباني الخاصة بين ضرر كلي الى جزئي وبسيط .بحسب الجدول رقم (1) عدد المباني المتضررة في كلا المحافظتين ويظهر عدد المباني المتضررة جزئيا 2922 مبنى بمعنى احتياجها للترميم.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

جدول رقم (1) حجم الأضرار في المباني الخاصة في محافظتي حضرموت والمهرة جراء فيضانات 2008م

نوع الضرر	عدد المباني
ضرر كلي	1478
ضرر جزئي	2922
ضرر بسيط	449
مساكن ضعيفة البناء (مبنية من سعف النخيل والطين)	1164
الاجمالي	6013

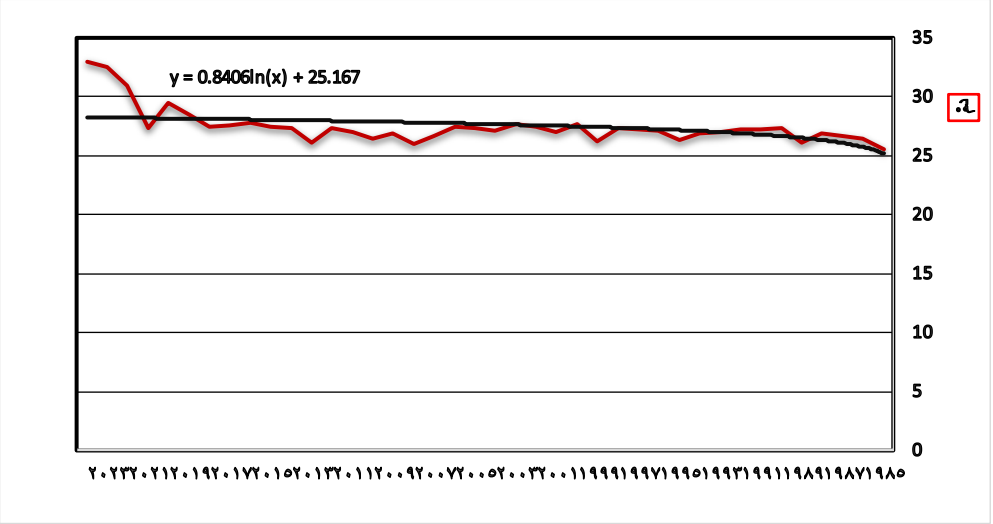
المصدر:www.al-thawra.net(Issue,No.16093)yemen

لا تختلف الظروف المناخية في مديريات سيئون كثيراً عن الظروف السائدة في شبه جزيرة العرب والتي تقع بشكل عام في إطار المناخ الصحراوي الجاف قليل المطر على حسب تصنيف العالم كوبن (فواز عبدالله باحميش، 2018م، ص121)، وتتميز مديريات سيئون بارتفاع درجات الحرارة ويتضح ذلك من (الجول رقم 2) و(الشكل رقم 1) يبين متوسط درجة الحرارة للفترة 1985-2024م.

الجدول رقم (2) المتوسط السنوي لدرجة الحرارة للفترة 1985-2024م.

العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط
1985	25.6	1993	27	2001	27	2009	26.9	2017	27.6
1986	26.5	1994	26.9	2002	27.5	2010	26.4	2018	27.5
1987	26.7	1995	263	2003	27.7	2011	27	2019	28.5
1988	26.9	1996	27.1	2004	27.1	2012	27.4	2020	29.5
1989	26.1	1997	27.2	2005	27.3	2013	26.1	2021	27.3
1990	27.3	1998	27.4	2006	27.5	2014	27.3	2022	31
1991	27.2	1999	26.2	2007	26.7	2015	27.5	2023	32.5
1992	27.2	2000	27.7	2008	26	2016	27.8	2024	33
المعدل السنوي	27.5								

المصدر: موقع (NOAA) http://www.climatologylab.org/terraclimate.html، 2025/10/14م



شكل رقم (1) متوسط درجة الحرارة السنوي في مديريات سيئون خلال الفترة(1985-2024م).

المصدر: بالاعتماد على جدول رقم (2).

يتضح من جدول رقم (2) والشكل رقم (1) أن عنصر الحرارة ارتفاع بمقدار 8.4دمْ خلال الفترة من 1985الى 2024م، وتؤكد معادلة خط الاتجاه الموضحة في شكل رقم (1) هذا الارتفاع في درجة الحرارة.

تعد مديريات سيئون كغيرها من المديريات المناخ والتي يسود فيها المناخ الصحراوي الجاف قليل المطر، فهي تستلم كميات قوية وقصيرة من المطر مصحوبة بعواصف رعدية كل عدة سنوات وخاصة في المدة الانتقالية بين الصيف والشتاء مديريات سيئون ويبين (الجدول رقم 3) و(الشكل رقم 2) المتوسط السنوي للأمطار للفترة من 1985-2024م.

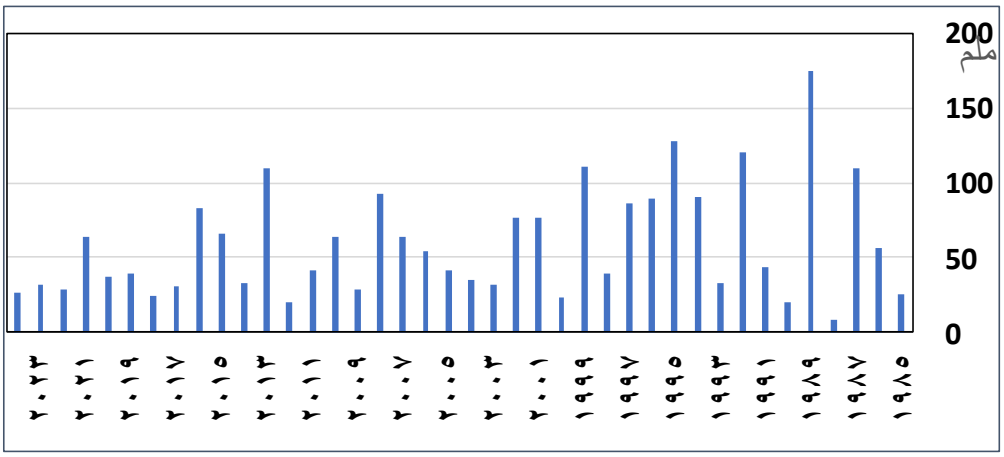
الجدول رقم (3) يبين المتوسط السنوي للإمطار في مديريات سيئون 1985-2024م.

العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط
1985	25.1	1993	33.2	2001	76.4	2009	28.8	2017	30.8
1986	56.4	1994	90.4	2002	76.6	2010	64	2018	24.1
1987	110.3	1995	127.7	2003	32.3	2011	41.3	2019	28.5
1988	8.4	1996	89.4	2004	34.8	2012	19.8	2020	39.4
1989	175.6	1997	86.2	2005	41.9	2013	110	2021	64.1
1990	19.6	1998	39.6	2006	53.8	2014	32.5	2022	28.1
1991	44	1999	111.5	2007	64.3	2015	65.9	2023	26.9
1992	120.9	2000	22.7	2008	92.4	2016	83.6	2024	59
المعدل السنوي		59							

المصدر: موقع (NOAA) http://www.climatologylab.org/terraclimate.html، 2025/10/14م

- موقع (NASA) https://power.larc.nasa.gov، 2025/10/14م.
- الهيئة العامة للطيران المدني والارصاد الجوي مطار سيئون الدولي، بيانات غير منشورة 2000-2020م

شكل رقم (2) المتوسط السنوي للأمطار في مديريات سيئون 1985-2024م.



المصدر: بالاعتماد على الجدول رقم (3).

ويتضح من الجدول (3) والشكل رقم (2) تذبذب الامطار وخروجها عن المتوسط السنوي البالغ 49ملم فبعض السنوات تجاوزت المعدل بفارق كبير كما تعد سنة 2008 حالة استثنائية لسقوط الامطار ليومين متتاليين وبمعدل 81ملم في شهر أكتوبر.

بينما بلغ متوسط الاشعاع الشمسي لنفس الفترة 246.4 وات/م2، وهذا الرقم يدل عن حدوث تبخر أكبر بكثير مما تتلقاه المديريات من أمطار طيلة العام، ويبين (الجدول رقم 4) و(الشكل رقم 3) المتوسط السنوي للرطوبة للفترة من 1985-2024م.

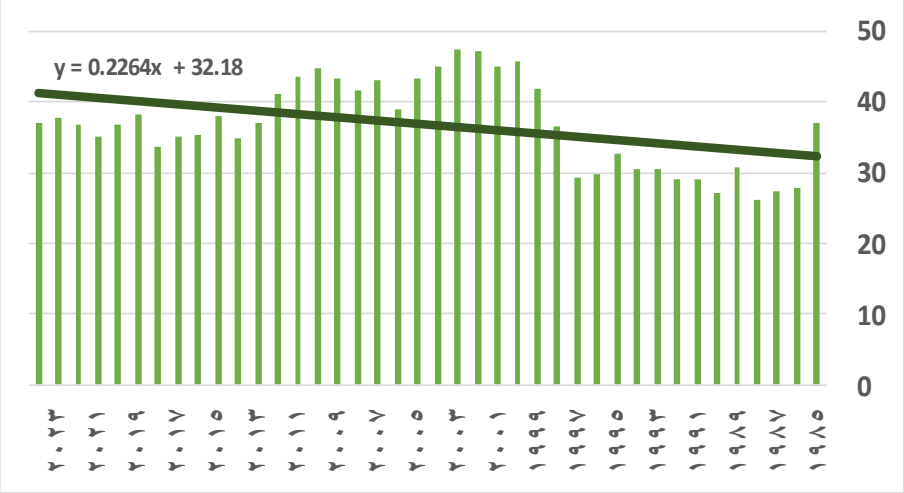
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الجدول رقم (4) يبين المتوسط السنوي للرطوبة في مديريات سيئون 1985-2024م.

العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط
1985	37.2	1993	30.2	2001	45.1	2009	38.2	2017	35.1
1986	27.9	1994	30.5	2002	47.3	2010	44.8	2018	33.8
1987	27.4	1995	32.7	2003	47.4	2011	43.5	2019	38.2
1988	26.1	1996	29.83	2004	45	2012	41.3	2020	36.9
1989	30.8	1997	29.3	2005	43.4	2013	36.10	2021	35.1
1990	27.2	1998	36.5	2006	38.9	2014	34.9	2022	36.9
1991	29	1999	41.9	2007	43	2015	38.1	2023	37.8
1992	29.2	2000	45.8	2008	41.8	2016	35.1	2024	37.1

المصدر: موقع (NOAA) http://www.climatologylab.org/terraclimate.html، 2025/10/14م

- موقع (NASA) https://power.larc.nasa.gov، 2025/10/14م.
- الهيئة العامة للطيران المدني والارصاد الجوي مطار سيئون الدولي، بيانات غير منشورة 2000-2020م



شكل رقم (4) المتوسط السنوي لسرعة الرياح في مديريات سيئون 1985-2024م.

المصدر: بالاعتماد على الجدول رقم (4).

وبالنسبة للرياح بلغ متوسط سرعه الرياح 2متر/ثانية واتجاهها العام شمالية الي شمالية شرقية وشرقية بمعنى أن نشاط حركة الرياح قادم من المناطق الصحراوية المحاذية للمديريات وهذا يسبب قوة حركة التعرية الريحية والتصحر وتفتت لأسطح الأبنية الطينية المرتفعة والطولية مثل شبام والهجرين، ويبين (الجدول رقم 5) و(الشكل رقم 4) المتوسط السنوي لسرعة الرياح للفترة من 1985-2024م.

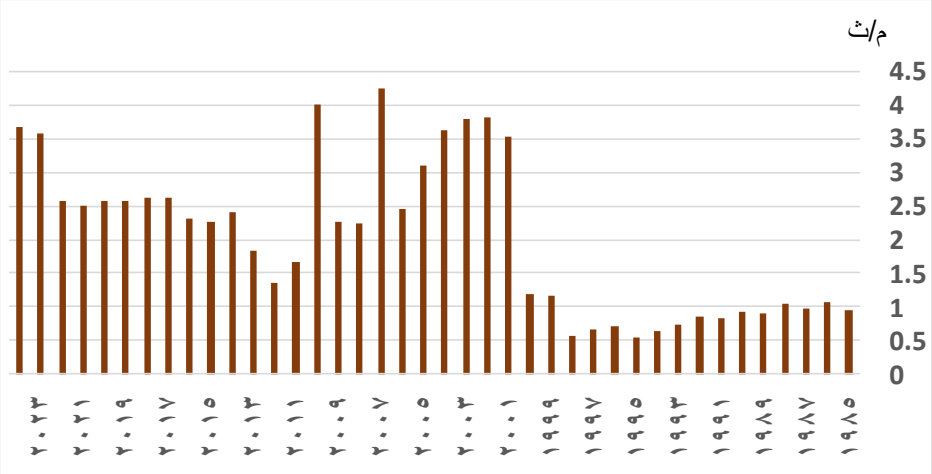
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الجدول رقم (5) يبين المتوسط السنوي لسرعة الرياح خلال الفترة (1985-2024) بالمتر/ثانية.

العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط	العام	المتوسط
1985	0.95	1993	0.74	2001	3.53	2009	2.25	2017	2.61
1986	1.07	1994	0.64	2002	3.81	2010	4.01	2018	2.62
1987	0.96	1995	0.53	2003	3.80	2011	1.66	2019	2.57
1988	1.04	1996	0.70	2004	3.63	2012	1.34	2020	2.58
1989	0.90	1997	0.65	2005	3.10	2013	1.83	2021	2.49
1990	0.93	1998	0.57	2006	2.44	2014	2.40	2022	2.57
1991	0.83	1999	1.15	2007	4.24	2015	2.25	2023	3.56
1992	0.85	2000	1.18	2008	2.23	2016	2.30	2024	3.66

المصدر: موقع (NOAA) http://www.climatologylab.org/terraclimate.html، 2025/10/14م

- موقع (NASA) https://power.larc.nasa.gov، 2025/10/14م.
- الهيئة العامة للطيران المدني والارصاد الجوي مطار سيئون الدولي، بيانات غير منشورة2000-2020م.



شكل رقم (4) المتوسط السنوي لسرعة الرياح في مديريات سيئون 1985-2024م.

المصدر: بالاعتماد على الجدول رقم (5).

ثانيا: <u>تحليل مكونات البناء الطيني والتي تجعله أكثر ملائمة لأثر التغيرات المناخية.</u>

2-1: مكونات البناء الطيني: يتكون البناء الطيني من مواد بسيطة وهو الطين الناعم والقش الخشن وهو المستخدم في صنع المدر(9) التي يبنى فيها البيت الطيني، إضافة الى الطين والقش الناعم(10)التي يتم فيه المحض وتغطية وتلبيس الجدران، إضافة الى التلبيس بالنورة السائلة، هذه الطبقات تضمن بقاء البيت لفترة طويلة دون تصدع وتجرى في الغالب الصيانة في حالة أي تصدع او شقوق وتعتمد الصيانة على القدرات المادية للسكان، هذه المكونات التي تؤخذ من البيئة المحلية وتصنع يدويا تحفظ برودة غرف المنزل وتمنع دخول الحرارة العالية الى داخل الغرف.

9 المدر: مادة البناء المصنوعة من الطين والقش الخشن ويستخدم في بناء طوابق المنزل الطيني

10 يستخدم الطين الناعم مع القش الناعم في تلبيس جدران المنزل الطيني من الداخل والخارج لسد أي شقوق طفيفة تظهر بين المدر

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الصورة رقم (1) تبين مكونات الطين والقش المستخدم في بناء المنازل بمديريات سيئون.

المصدر: نزول ميداني 2025/9/19

2-2 النوافذ العليا ودورها في تبريد المنزل: تصنع نوافذ عليا اعلى النوافذ الأساسية وتتسم بصغرها وكون الهواء يكون أسرع في المنافذ الصغيرة فلذا تكون التهوية جيدة وتعدد هذه النوافذ يجعل من تيارات الهواء تتوغل داخل المنزل من عدة منافذ.

2-3 المشربيات والنوافذ الخشبية: تصنع النوافذ من الخشب نظرا لخفته وحتى لا يشكل ضغطا على الأساس وجدران المنزل المصنوع من المدر وايضا يعد الخشب عازل للحرارة كون المنطقة حارة فلا يناسبها النوافذ الحديدية او المصنوعة من المعادن. كون المعادن تكتسب الحرارة بسهولة وتفقدها بسهولة لذا لا تعد مناسبة.

2-4 سقف المنزل: يستخدم الخشب كمادة أساسية في إنشاء الاسقف ومن أشهر الأشجار المستخدمة في وادي حضرموت شجرة العلب (النبق)فيستخدم جذعها في صنع العوارض التي تلحم أطراف السقوف المسطحة والاعمدة التي تدعمها أما فروعها فتستخدم لتغطية عوارض السقف (مشعل أحمد شيبان ومحمد عبدالله السقاف، 2019، ص79).

ثالثا: والعوامل البشرية المساهمة في سرعه تدهور البناء الطيني في مديريات سيئون:

3-1 ضعف الاتصال بالمجال الطبيعي: يتمثل ضعف الاتصال بالمجال الطبيعي بتحول مراكز المديريات نحو الخدمات مثل الفنادق والمطاعم والمستشفيات والمرافق الحكومية، والتي غيرت مجال الريف الى حضر مثل مدينة سيئون والقطن وتريم، وزيادة الخدمات وتوسعها تسبب في تبني عمارة مكونة من الطوب عوضا عن البناء الطيني الذي خصص للسكن وبيوت الغلال وأماكن للحيوانات.

3-2 الهجرة: تسببت الهجرة بنوعيها الدائمة والمؤقتة في تدهور البيوت الطينية وقلة صيانتها، واستخدمت المساحة للبيوت الطينية القديمة المهجورة الى مشاريع خدمية او احواش لصيانة وتصليح السيارات، او هناجر لحفظ البضائع وتشيد من الطوب أنظر الصورة رقم (3) تبين المباني المشيدة من الطوب.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

صورة رقم (2) تبين مباني شبام التاريخية وتظهر فيه النو افذ والمشربيات والفتحات الصغيرة لأجل تهوية غرف المنزل

المصدر: نزول ميداني 2025/9/25

الصورة رقم (3) تبين المباني المشيدة من الطوب في سيئون.

المصدر: نزول ميداني 2025/9/19

3-3 عمال الرصف وتعبيد الطرق: يجري تعبيد ورصف الطرق بين البيوت الطينية القديمة من اجل سهولة التنقل بوسائل النقل الحديثة ويتم في المناطق المرتفعة عن مجري السيل وبما يسمى السحيل وهذا بدورة يؤدي الى جريان سطحي قوي يؤثر في البيوت الطينية ويتسبب في تدمير اساسها كون الطرق الترابية تمتص جزء كبير من مياه السيول وتحد من سرعه الجريان السطحي.

وتتم اعمال الرصف بطريقة لا تسمح بمسافات بين الأحجار كأعمال الرصف القديمة التي ترصف الأحجار وتوضع مسافة بين الأحجار لكي تغذي المياه الجوفية وتسمح بنمو الحشائش الصغيرة.

3-4 الامطار الاستثنائية: تسبب الامطار القوية في تهدم الطبقات العليا للبناء الطيني وتصدعه كون الطبقات العليا تكون المدر اقل في الطبقات العلوية من المدر الموجود في الطبقات السفلى للمنزل وبفعل نشاط الرياح والجفاف وارتفاع درجة الحرارة يحدث تأكل للطبقات العلوية بشكل أكبر مما يساهم في تشققه وانهياره بمجرد سقوط امطار استثنائية فتبدا عملية التصدع من اعلى المبنى أنظر الصورة رقم (4) تبين آثار التشقق في المباني نتيجة الامطار الاستثنائية.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الصورة رقم (4) تبين تهدم وتشقق في المباني الطينية في مدينة سيئون

نتيجة الامطار الاستثنائية.

المصدر: نزول ميداني 2025/9/19

3-5 المهاجرين والنازحين: غالبا ما يشيد المنازل كمحاكاة للبيئة التي يقدم منها المهاجرين والنازحين فتكون مخالفة للبيئة الحقيقية والتي هي الأساس مبنية من الطين فانتشر البناء بالأحجار والطوب خاصة في مدينة سيئون الذي يلاحظ الازدواج والتنوع في البناء ما بين الطين والاحجار والطوب والتي تستقبل كمية من المهاجرين والنازحين والتجار وأصحاب رؤوس الاموال.

النتائج والتوصيات:

النتائج:

1- يعد مجال مديريات سيئون مجال خاص لموقع المديريات في وادي وصحراء حضرموت فهي ذات بمناخ حار وجاف لما يفرضه موقعها من خط العرض وقربها من صحراء الربع الخالي.

2- وجود مديريات سيئون على وادي حضرموت حقق استقرار زراعي وساهمت العمارة الطينية على استقرار الانسان في الوادي والاستفادة من الموارد الطبيعية كالمياه والتربة وتعد العمارة الطينية استثمار للتربة الطينية المنقولة عبر النحت والإرساب المائي للوادي.

3- شيدت مدن وقصور وأماكن اثرية ومنازل من مكونات البيئة المحلية وهي الطين والقش والنورة وبذلك يبذل فيها مجهود يدوي ومهارات راعت في تشييد البناء الطيني خصوصيات المناخ، منها حفظ درجة حرارة المنزل لفصلي الشتاء والصيف واستمر البناء الطيني في المديريات محافظا على استمراره حتى وقتنا الحالي مما قلل استخدام الطاقة في تبريد المنازل والتكييف او التدفئة. وقلل من الكلفة الاقتصادية للبناء.

4- ظهرت حالات متطرفة لعنصر المطر اثرت على العمارة الطينية وتسببت في تدمير المنازل وأثر ارتفاع درجة الحرارة ونشاط حركة الرياح في تشقق المباني الطولية والتأثير العلوي على الاسطح والجدران.

5-تاثرت العمارة الطينية بنوع النشاط الاقتصادي لسكان المديريات فكانت الزراعة هي النشاط الأول ثم الهجرات الى دول الجوار ومنها دول الخليج ثم العودة والاستثمار برؤوس الاموال وأخيرا التحول نحو النفط وهذا جعل البيوت الطينية في المدن كمدينة سيئون وتريم والقطن تتحول الى بيوت مشيدة من الطوب والاسمنت لتفي بالخدمات الجديدة للمديريات التي تحولت الى مجال حضري.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

6- وجود مهاجرين ونازحين غير من نمط العمارة الطينية الى أنماط جديدة تشابه نمط البنيان في بيئتهم التي قدموا منها.

7- ساهمت التغيرات المناخية في تدهور العمارة الطينية في السنوات الأخيرة مديريات سيئون إضافة الى عوامل بشرية أخلت بالمجال الطبيعي وقللت من تواصل الانسان بالمجال.

8- أهتم العالم بالعمارة الطينية في مديريات سيئون وقصورها وتراثها العمراني وادرجتها اليونسكو ضمن التراث العالمي لضمان استدامتها.

التوصيات:

1- دراسة متكاملة للعوامل البشرية المساهمة في تدهور البناء الطيني في مديريات سيئون.

2- إنشاء محطات رصد مناخية في المناطق الزراعية لقياس مستوى الرطوبة ومعدل التبخر النتح كون البيانات المأخوذة من مطار سيئون لا تعطي قيمة الرطوبة الحقيقية كون المطار لا يحاط بغطاء نباتي وتساهم الرطوبة المرتفعة في تدهور البناء الطيني.

3- نشر الوعي بأهمية العمارة الطينية واهميتها في مواجهة التغيرات المناخية وخفض الانبعاثات الكربونية في المجال الصحراوي.

4- أعطا الأولوية في الصيانة والحماية للمناطق الاثرية والقصور والمزارات والمساجد وادخالها ضمن الخطط التنموية للمجال.

5- وضع خطط واستراتيجيات للتوسع الحضري في المديريات التي مازالت تحافظ على اصالة العمارة الطينية بنسبة كبيرة.

6- الترشيد بأهمية الصيانة المستمرة لأسطح المباني الطينية كون تدهور يتم عبر عناصر المناخ المختلفة ولا يقتصر على الفيضانات فقط.

المراجع:

1. أسامة طلعت عبدالنعيم (2011م)، بعنوان "العمارة الطينية في وادي حضرموت مزارات قرية شعب نبي الله هود عليه السلام نموذجاً"، مجلة كلية الآداب - جامعة عدن، العدد8، ص281.
2. أنور احمد باعيسى(2020م)، فن العمارة في حضرموت، مجلة حضرموت الثقافية، دار حضرموت للدراسات التاريخية والتوثيق والنشر، مجلة فصلية – السنة الخامسة العدد 18، ص53.
3. أم الخير المقدم وعبدالله خي (2021م)، بعنوان "البناء والعمارة الطينية في واحات توات "دراسة في الدلالات الثقافية والأبعاد التاريخية والمعالم"، مجلة المعارف للبحوث والدراسات التاريخية، المجلد7، العدد3، ص144.
4. الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد الجوي (مطار سيئون الدولي) بيانات غير منشورة 2000-2020م.
5. خالد السيد حسن (2021م)، التغيرات المناخية والاهداف العالمية للتنمية المستدامة، ط1، مكتبة جزيرة الورد.
6. فواز عبدالله احمد باحميش (2018م)، تغير الغطاء الأرضي لشبه جزيرة عدن باستخدام تقنية الاستشعار عن بعُد ونظم المعلومات الجغرافية، رسالة دكتوراة غير منشورة، كلية الآداب - جامعة عين شمس، القاهرة، ص121.
7. مشعل أحمد شيبان ومحمد عبدالله السقاف (2019م)، العمارة الطينية في وادي حضرموت ومدى ملاءمتها للبيئة، مجلة جامعة حضرموت للعلوم الطبيعية والتطبيقية، المجلد 16، العدد1، ص79.
8. مشعل احمد شيبان وآخرون(2022م)، مقارنة انشائية لأنظمة البناء بالطين في وادي حضرموت، مجلة جامعة عدن للعلوم الطبيعية والتطبيقية، المجلد 26، العدد 1، ص55.
9. ولاء ضياء نصيف (2025م)، بعنوان "أثر المناخ في المباني التاريخية"، المؤتمر العلمي السادس الموسوم تاريخ العلوم عند العرب للمدة من 3-2024/12/4، ص652.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

10. Sondos Omar Hmeedy and Giulia Annalinda Neglia (2025), Morphological Analysis of Mud–Brick Architecture in Syrian Housing and Its Future Formulation: A Case Study of Rif Dimashq, Buildings 2025, 15, 3974, p1.
11. Mazen Ebrahim Sheikh Al-Masawa, elt (2023), The Relationship Between Project Risk Management Framework and Sustainable Development of Mud Architecture Building in Yemen, International Journal of Business and Technology Management | Vol.5, No. 1, p514.
12. tentative lists. /en /whc.unesco.org.// https
13. www.al-thawra.net(issue,no.16093)yemen.
14. https://www.nabdalarab.com .
15. http://www.climatologylab.org/terraclimate.html (NOAA), 14/10/2025.
16.https://power.larc.nasa.gov. (NASA),14/10/2025.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

التغيرات المناخية العالمية وتأثيراتها على المناطق الساحلية في محافظة عدن

إمكانات التكييف وإجراءات التخفيف

معروف إبراهيم عمر عقبه*
استشاري جيولوجي

Abstract:

Statistics indicate that around 1.2 billion people, representing 23% of the world's population, live within 100 kilometers of coastal zones. This proportion is expected to rise to 50% by 2030. Consequently, coastal environments and floodplain areas are among the most vulnerable to the impacts of global climate change, which are most evident in sea-level rise and the occurrence of sudden floods. These phenomena increase risks to the natural, economic, and social conditions of coastal communities.

Climate change and environmental degradation pose a direct threat to the achievements of human development worldwide. Without effective control over negative practices in land use and natural resource management, populations in developing countries will be disproportionately exposed to climate-related disasters such as floods, sea-water intrusion, and water pollution.

In Aden Governorate, these impacts have become increasingly evident in recent years due to urban encroachments and violations of official city planning. Areas such as Al-Buraiqa and Ras Imran have witnessed sea-water intrusion into residential complexes built within the coastal buffer zone (300 meters from the highest tide). Moreover, the Al-Hiswa area in Al-Buraiqa District experienced catastrophic flooding when torrents swept through the main valley, causing human casualties and extensive damage to housing constructed along the floodplain.

This situation underscores the urgent need for early preventive measures aimed at protecting natural coastal zones and flood pathways. It also calls for the adoption of land-use policies aligned with the characteristics of the terrain, capable of absorbing the anticipated impacts of climate change. Strengthening adaptation capacities and implementing mitigation measures are essential to safeguard sustainable development and protect vulnerable coastal communities in Aden and beyond.

Keywords :Climate Change ،Coastal Areas (Aden) ،Adaptation Potentials،Mitigation Measures

الملخص:

تشير الإحصاءات إلى أن نحو 1.2 مليار نسمة، أي ما يعادل 23% من سكان العالم، يعيشون ضمن نطاق لا يتجاوز مائة كيلومتر من السواحل. ومن المتوقع أن ترتفع هذه النسبة لتصل إلى50% بحلول عام 2030، وبذلك تصبح البيئات الساحلية ومجاري السيول من أكثر المناطق عرضة لتأثيرات التغيرات المناخية العالمية، التي تتجلى أبرز مظاهرها في ارتفاع مستوى سطح البحر وازدياد احتمالات السيول المفاجئة، مما يضاعف المخاطر على الأوضاع الطبيعية والمعيشية والاقتصادية والاجتماعية للسكان.

إن التغير المناخي والتدهور البيئي يشكلان تهديدًا مباشرًا للمكاسب المحققة في مجال التنمية البشرية عالميًا. وإذا لم تتم السيطرة على الممارسات السلبية في استخدام الأراضي والموارد الطبيعية، فإن سكان الدول النامية سيكونون الأكثر عرضة لتداعيات الكوارث المناخية مثل الفيضانات، طغيان مياه البحر، وتلوث الموارد المائية.

* رئيس الجمعية الجيولوجية / عدن.

وفي محافظة عدن، تجلت هذه التأثيرات بشكل واضح خلال السنوات الأخيرة نتيجة التعديات العمرانية وتجاوز المخططات الرسمية للمدينة. فقد شهدت مناطق مثل البريقة ورأس عمران طغيان مياه البحر على المجمعات السكنية المقامة داخل الحرم الساحلي (ضمن مسافة 300 متر من أعلى مد)، كما تعرضت منطقة الحسوة/مديرية البريقة لكارثة السيول التي اجتاحت مجرى الوادي الكبير، متسببة في خسائر بشرية ومادية جسيمة، بما في ذلك تدمير عدد من المساكن المشيدة في مجرى الوادي.

هذا الواقع يفرض ضرورة تبني إجراءات وقائية مبكرة لحماية المناطق الساحلية الطبيعية ومجاري الأودية، مع وضع تدابير تخطيطية متوافقة مع طبيعة الأراضي وخصائصها، بحيث تستوعب التأثيرات المتوقعة للتغيرات المناخية وتحد من تداعياتها المتعددة. إن تعزيز إمكانات التكييف وتطبيق إجراءات التخفيف يعدان السبيل الأمثل لضمان استدامة التنمية وحماية المجتمعات الساحلية في عدن وغيرها من المناطق المهددة.

الكلمات المفتاحية: التغير المناخي، المناطق الساحلية (عدن)، إمكانات التكييف، إجراءات التخفيف.

مقدمة:

من المعلوم أن سكان العالم يتركز تواجدهم في جوار المناطق الساحلية، كونها تمثل مدن الموانئ وتوفر الخدمات وسبل العيش المناسبة. يشكل ذلك النمط من التوزيع السكاني ضغوطا محلية متزايدة تأثر على الأنظمة البيئية الطبيعية (Ecosystem) إضافة إلى ما تتعرض له من تأثيرات أخرى أبرزها ظاهرة التغيرات المناخية العالمية (Global Climate Change).

تشير الإحصاءات أن حوالي 1.2 بليون نسمة، ما يمثل 23 % من إجمالي سكان العالم، يعيشون في حيز المائة كيلومتر ضمن نطاق المنطقة الساحلية؛ حيث من المقدر أن تبلغ تلك النسبة 50 % من إجمالي السكان في عام 2030؛ (Adger et al 2005) 1. بذلك تكون البيئة الطبيعة في المناطق الساحلية والمجتمعات المستقرة فيها هي الأكثر عرضة للتأثر بظاهرة التغيرات المناخية العالمية، التي تدل العديد من الشواهد على تعاظمها؛ تتمثل أبرز تأثيراتها في ارتفاع منسوب مياه البحار والمحيطات؛ مما يرفع من احتمالات المخاطر على مجمل الوضعية الطبيعية والمعيشية (الاقتصادية والاجتماعية) لتلك المناطق والساكنين فيها؛ (Bijlsma et al, 1996) [11].

يشير تقرير التنمية البشرية والذي يحمل عنوان " الاستدامة والإنصاف: مستقبل أفضل للجميع". الصادر عن البرنامج الإنمائي للأمم المتحدة للعام (UNDP - 2011) [12] إن تغير المناخ والتدهور البيئي يهددان المكاسب التي تحققت على صعيد التنمية البشرية في العالم. ويتبين في نفس الوقت من انه إذا لم تتم السيطرة على التدهور البيئي الناتج عن الممارسات السلبية في استخدام الأراضي والموارد الطبيعية، سيكون سكان الدول النامية الأكثر عرضة للسقوط كضحايا نتيجة للكوارث الناجمة عن التغيرات المناخية كالفيضانات، تلوث المياه، طغيان مياه البحار وغيرها من التداعيات.

ويتمثل تعاظم تأثيراتها بسبب التدهور البيئي بشكل يؤدي إلى تراجع نتائج جهود التنمية السابقة بل سيتجاوز ذلك إلى الإضرار بمقدراتها من الموارد الطبيعية المتاحة والتي تعتبر أحد الأصول الأساسية للتنمية.

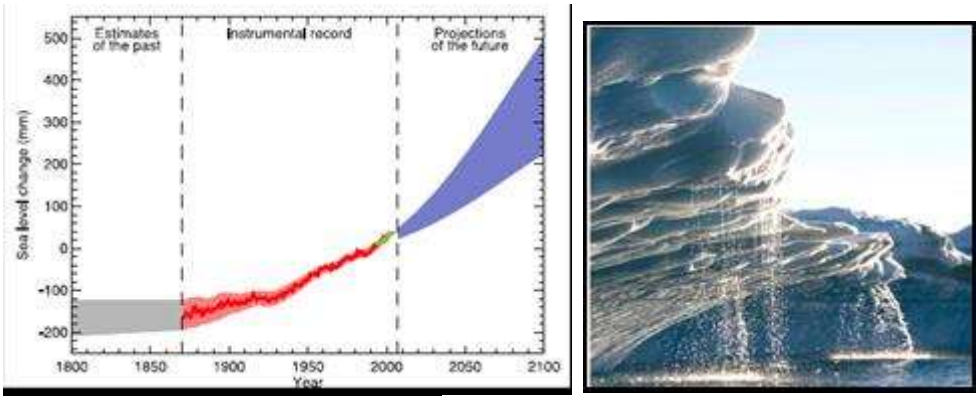
(11) Coastal Zone Team, Mohammed M. Abubakr & others (Dec. 2010)
(12) مجلة العربي: (يناير 2012) الإنسان والبيئة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

شواهد الظاهرة وأحداثها:

توقعت بعض الهيئات الدولية الباحثة في مجال التغيرات المناخية أن يرتفع منسوب مياه البحار والمحيطات بين (18- 59) سم بحلول عام (2100) مقارنة بمستويات العام (1990). ويرتبط الحد الأقصى للارتفاع باستمرار اعتمادنا على الوقود الأحفوري ((Fossil Fuel) ونواتج عوادمه.

يشكل هاجس الغرق (طغيان مياه البحر) أحد افزع الكوابيس التي تؤرق علماء البيئة الذين أصبحوا يدركون تماما إن ظاهرة الاحترار الكوني (Global Warming) سيؤدي بالضرورة إلى ارتفاع منسوب المياه في البحار والمحيطات على نحو يهدد الأراضي المنخفضة في سائر إنحاء العالم شكل (1). تتمثل تلك الظاهرة من خلال دفء المحيطات وتتمدد مياهها؛ إضافة إلى ما يصاحب ذلك من تأثيرات ناشئة عن ارتفاع درجة الحرارة مما سيؤدي إلى ذوبان الصفيحة الجليدية التي تغطي شبة جزيرة جرينلاند (Greenland) والقارة القطبية الجنوبية (Antarctica) شكل (2).



شكل (2): التغييرات المتوقعة في مستوى سطح البحار

(After Bindoff, et al, 2007) [1]

تتمثل آلية التأثير للتغييرات المناخية في أن الاحترار الكوني ربما يسرع أيضا في تحرك جليد الأنهار الجليدية (Glaciers) نحو المحيط من خلال جعل المياه الذائبة للجانب السفلي للتيارات الثلجية أكثر انزلاقا؛ مما قد يزيد من احتمالات انهيار الصفيحة الجليدية الغربية في القارة القطبية الجنوبية وبذلك سيبلغ ارتفاع مستوى سطح البحار والمحيطات في أرجاء الكره الأرضية (5.03)3 متر في المتوسط، وهو أعلى بكثير من التقديرات الحالية!

1: Coastal Zone Team, Mohammed M. Abu-Bakr & others (Dec. 2010).

2: العربي (يناير 2012) الإنسان والبيئة.

3: العربي (يناير2011) الإنسان والبيئة.

مكنت الدراسات والأبحاث السابقة من تكوين إجماع عام من قبل المحافل العلمية الدولية المختلفة، من خلال الاستدلال بالشواهد المتعددة للحوادث المعاشة والمرصودة منذ حوالي (35) عاما والتي تعزى في معظمها إلى ظاهرة التغيرات المناخية ; (Emanuel 2005; Webster et al. 2005) (1) (Bengtsson et al. 2006)

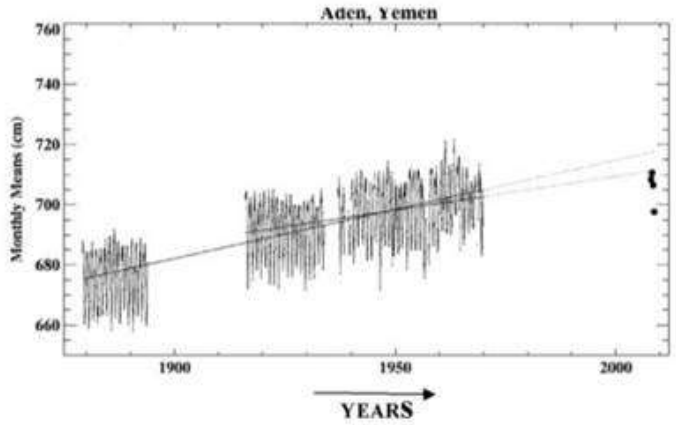
وتشير بعض تقديرات دراسة النمذجة النظرية (Theoretical Model Studies) 1إلى انه مقابل أي ارتفاع بمقدار درجة مئوية واحدة في الحرارة السطحية للبحار(sea surface temperature) في الدائرة المدارية Tropical Zone سيقابلها ارتفاع بمقدار (3 - 5) % في سرعة الرياح Worth ;Woodworth and Blackman 2004 ;IPCC 2007)4 et al. 2006)؛ مما سيؤدي إلى زيادة احتمالات نشوء عواصف وأعاصير مدارية اشد تصاحبها رياح عاصفة ونسبة أعلى من الهطل المطري. ومع ذلك فان العلماء في دراساتهم الجديدة يشيرون إلى أن المتوسط النظري لا يأخذ في الحسبان قوى رئيسية عدة، مثل الجاذبية، التغير في دوران الأرض، الزلازل الكبرى (زلازل أخدود جاوه –

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

اندونيسيا:2004؛ زلزال تشيلي: 2009؛ زلزال فوكوتشيما – اليابان 2010) وكذلك ارتدادات الأرض التي ترتكز عليها الآن الأنهار الجليدية العملاقة. شكل (3 – أ، ب) .

شكل (3 – أ) : أضرار كارثة التسونامي – زلزال خليج سومطره (اندونيسيا) ديسمبر 2004

شكل (3 - ب) : أضرار كارثة التسونامي – زلزال فوكوتشيما (اليابان) مارس 2010



شكل (4): مخطط بياني يبين التفاوت السنوي (المتزايد) في مستوى المد حول شواطئ عدن
[1] Source: Woodworth et. al, (2009)

الترتيب	البلد	المدينة
1	الفلبين	مانيلا
2	مصر	الإسكندرية
3	نيجيريا	لاجوس
4	ليبريا	منروفيا
5	باكستان	كراتشي
6	اليمن	عدن
7	اندونيسيا	جاكرتا
8	بنجلاديش	خولنا
9	الهند	كالكوتا
10	تايلاند	بانكوك

جدول (1): يبين ترتيب المدن المهددة بتأثيرات التغيرات المناخية العالمية

الدول الأكثر تضررا:

تتزايد لائحة البلدان التي يواجه سكانها التأثيرات المباشرة لارتفاع مستوى سطح البحر مع تواصل تغير المناخ في القرن الحادي والعشرين؛ حيث يزداد تكرارا حدوث العواصف بحسب الدراسة

4: Susmita Dasgupta et al. 2009. Climate Change and the Future Impacts.

الصادرة مؤخرا عن مركز التنمية العالمية (Centre for Global Development)3. أشارت نتائج تلك الدراسة أن التأثيرات السلبية ستشمل عدد من المناطق والمدن التي تقع اغلبها في البلدان النامية جدول رقم (1)؛ واظهرت تباينا حادا في توزيع عبء زيادة الأعاصير التي ستؤدي إلى المزيد من الفيضانات المدمرة في المناطق الساحلية وغرق الأراضي المنخفضة المجاورة لها. سيتفاقم تأثير تلك الظواهر إذا ما اقترنت برياح قوية وموجات ساحلية عاتية. من المثير للانتباه أن مدينة عدن احتلت المركز السادس ضمن لائحة المدن المهددة من تداعيات التغيرات المناخية!!

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

أسس التقييم للأضرار المتوقعة:

اعتمد التقرير3 في تقديراته على ثلاثة عوامل رئيسية: احتمال ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد؛ زيادة بنسبة 10 % في شدة العواصف (الكبرى) في دورتها المحتسبة مرة كل (100) عام وتوقعات الأمم المتحدة لارتفاع عدد السكان في القرن الحادي والعشرين.

كشفت نتائج الدراسة أن التأثيرات السلبية ستكون أكثر تركيزا في بعض المناطق والبلدان والمدن التي تقع اغلبها في البلدان النامية. وأظهرت تباينا حادا في توزيع عبء أثار زيادة الأعاصير، ارتفاع مستوى البحار والمحيطات من ناحية عدد المدن الساحلية؛ وكذلك إجمالي عدد السكان المهددين، نسبة الناتج المحلي الإجمالي للمجتمعات في المناطق الساحلية.

وضعية محافظة عدن: الخصائص الطبيعية :

تمتاز شواطئ محافظة عدن كونها عبارة عن سهول رملية عريضة ومنخفضة تكونت بفعل عوامل التعرية البحرية، عبر أزمان جيولوجية، عدا بعض المناطق التي تحاذي التكوينات الصخرية المتمثلة بالمراكز البركانية لسلسة براكين غرب عدن؛ التي تمتد من عدن حتى المدخل الجنوبي للبحر الأحمر عند باب المندب وتشمل (بركان جزيرة ميون/ بريم، جبل خرز، أم بركة، رأس عمران عدن الصغرى، عدن). تتخلل هذه المراكز البركانية قطاعات واسعة شبة منبسطة من الشواطئ الحصوية الضيقة والجروف الراسية والامتدادات الصخرية (الرؤوس) الممتدة / المتدرجة إلى البحر. تنتشر السبخات والكثبان الرملية في مواقع متعددة ضمن المناطق الساحلية حيث تتداخل مع مسطحات المناطق الرطبة التي تشكل بيئات خاصة وموائل طبيعية للكائنات البحرية، الطيور والنباتات، إضافة إلى كونها تستوعب المسطحات المائية لإنتاج الملح (البحري)، التي تنتشر في عدة مواقع ضمن ذلك النطاق.

وبما أن الوضعية الطبوغرافية لقطاع واسع من المنطقة الساحلية، وما تكتنفه من أراضي منخفضة تتخللها الأراضي الرطبة، تتخذ وضعاً شبة مستوياً ذات انحدار طفيف يتراوح انحداره ما بين (1000:1إلى 500:1) 5 مثلما هو الحال في ساحل أبين والمنطقة المحيطة بخور بئر أحمد؛ فإن ذلك يشكل وضعية حرجة في حالة حدوث اضطراب في حالة البحر مما قد يؤدي إلى حدوث طغيان لمياه البحر على الشريط الساحلي والمنطقة المجاورة.

شكل (7): يبين النطاقات (الساحلية) المهددة بالغمر في محافظة عدن[1]

شكل (6): ظاهرة ارتفاع المد أثناء موسم الرياح الخليج الأسلمي / عدن (يناير 2010)

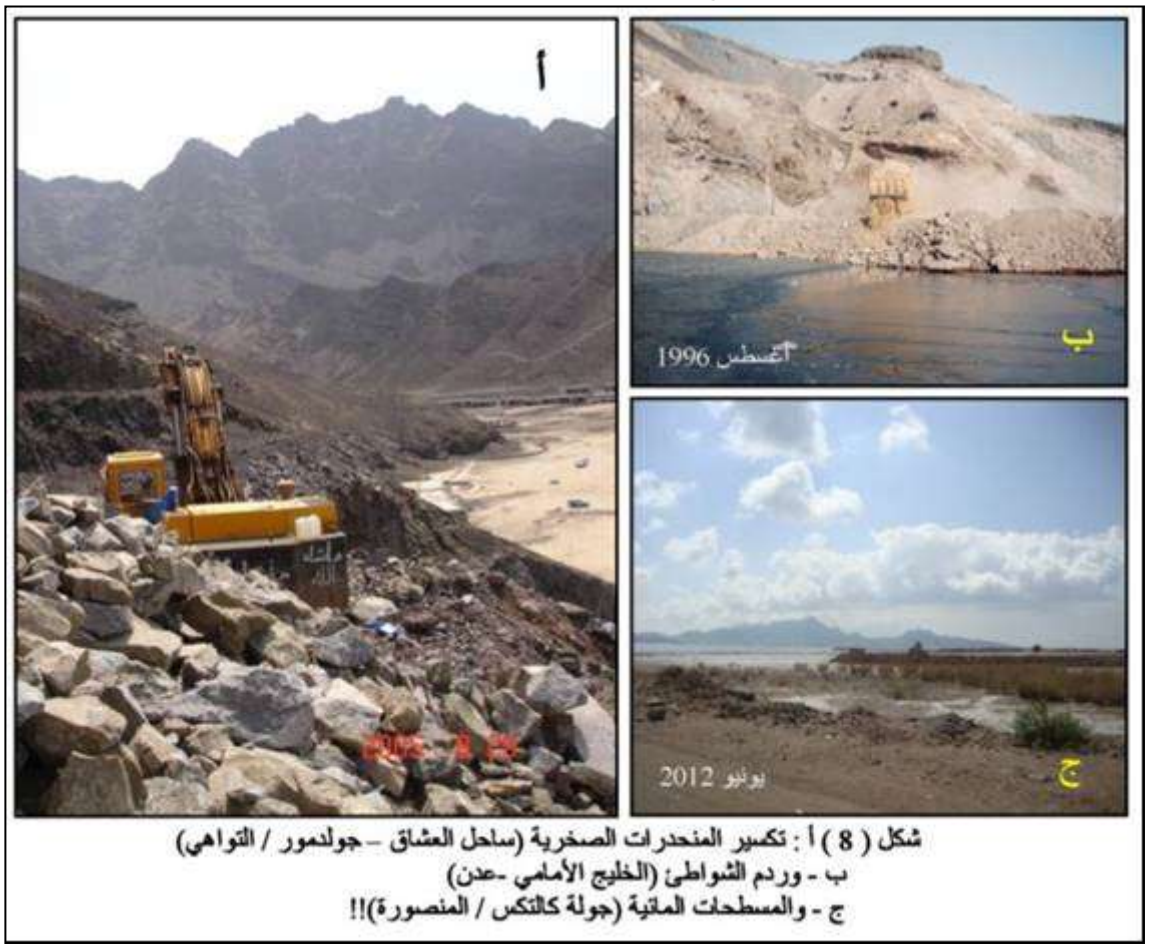
3: نفس المرجع - مجلة العربي: (يناير 2011) الإنسان والبيئة.

تصوير الباحث (2005): قياسات أثناء المشاركة في إعداد المخطط التوجيهي العام (Aden Master Plan 2005-2025) .

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الممارسات السلبية:

وخلال العقد الأخير برز بوضوح الاختلال في المعايير التخطيطية والذي تجاوز كافة المحاذير الجيو- بيئية المتعلقة باستخدام الأراضي. تمثلت تلك الممارسات في تكسير المنحدرات الجبلية التي تشكل مصدات طبيعة للرياح، ردم الشواطئ وتكسير الرؤوس الصخرية التي تشكل كواسر أمواج طبيعية؛ والبناء في مجاري السيول وتضييق عدوات الأودية الطبيعية شكل (8 : أ، ب، ج).



شكل (8) أ : تكسير المنحدرات الصخرية (ساحل العشاق – جولدمور / التواهي)
ب - وردم الشواطئ (الخليج الأمامي -عدن)
ج - والمسطحات المائية (جولة كالتكس / المنصورة)!!

تصوير الباحث: اثناء المسوحات الميدانية (خلال الفترات 1996 - 2005 – 2012).

ومن البديهي أن كل تلك الممارسات تتعارض مع القوانين واللوائح (النافذة محليا) والتي تضع تراتبيه عالية لاعتبارات حماية البيئة (والبيئة الساحلية بشكل خاص) والموارد الطبيعية في سلم أولوياتها. ونتج عن تجاوزها تدهور ملحوظ في الوضعية البيئية في العديد من القطاعات الحرجة في محافظة عدن.

التأثيرات المتوقعة في محافظة عدن:

يجمع الخبراء والدارسون بشكل عام على ضرورة اتخاذ الإجراءات الوقائية المبكرة الهادفة إلى حماية المناطق الساحلية الطبيعية والشروع في وضع التدابير المناسبة المتوافقة مع استخدامات الأراضي بحسب طبيعتها وخصائصها والمستوعبة للتأثيرات المتوقعة لظاهرة التغييرات المناخية وما يترتب عليها من احتمالات طغيان مياه البحر وتداخلها مع مصادر المياه الجوفية، وكذلك تعاظم ظاهرة نحر الشواطئ. ويستلزم ذلك وضع خطط للطوارئ لحماية السكان من خلال اعتماد وسائل الإنذار المبكر ورفع جاهزية الإجلاء والإيواء للتخفيف من تلك التداعيات المتوقعة.

الفيضانات Increasing Flood Frequency Probability :

شهدت محافظة عدن دورات مناخية استثنائية (بعضها إقليمية وأخرى عالمية) خلال العقود الأربعة الأخيرة، نتج عنها هطل أمطار غزيرة أدت إلى فيضانات عاتية (Flash Floods) وطغيان مياه البحر (Inundation)

في عدد من الشواطئ، منها ساحل أبين / خور مكسر(1971) ساحل جولدمور(2004، 2010) جدول رقم (2) ؛ كان أكبرها ما حدث أثناء الدورة المطيرة الاستثنائية خلال الفترة من (6- 8) فبراير 1993، حيث هطل ما يمثل أكثر من عشرة أضعاف المنسوب السنوي (<500 مم) في ثلاث ليال فقط!! مما تسبب في حدوث أضرار بشرية ومادية كبيرة؛ حيث دهمت السيول مدينة عدن وأغرقت معظم أحيائها السكنية، وكذلك غمرت المياه مطار عدن الدولي في خور مكسر.

جدول (2): أبرز الدورات المناخية الاستثنائية (الكارثية) التي تأثرت بها مناطق مختلفة في محافظة عدن [6]

الظاهرة	الحدث	التاريخ	المو اقع الأشد تضررا
إعصار مداري	ريـــاح شـــديدة + أمطار غزيرة	1971	نتيجة لمرور اعصار من شرق أفريقيا: - قطاع واسع من ساحل أبين (تأثير مباشر على طريق الساحل المحاذي للمباني في الواجهة البحرية) في مدينة خور مكسر. - فيضان مجاري السيول في مدينة عدن
عواصف ممطرة	أمطار غزيرة	يونيو1982	- فيضان الوادي الصغير أدى إلى غمر مطار عدن الدولي بالمياه. - فيضـان الـوادي الكبير (في الحسـوه) وتـدمير وجـرف الجسـر الأرضـي " الخرساني " المؤدي إلى مدينة الشعب .
إعصار مداري	رياح شديدة + أمطار غزيرة	فبراير1993	- غرق احياء في مدينة عدن - فيضان الوادي الصغير مما أدى إلى غمر مطار عدن الدولي بالمياه وأجزاء من مملاح خور مكسر. - فيضان الوادي الكبير (في الحسوه) .
موجات مد بحري	طغيان مياه البحر	ديسمبر2004	نتيجة لحدوث زلازل سومطرة (اندونيسيا): وصول نفايات كيميائية حملتها موجات المد البحري إلى شواطئ جولدمور وما جاورها .
إعصار جونو	موجات مد	يونيو2006	الإعصار القادم من شرق عمان: ارتفاع أمواج المد بشكل ملحوظ في الشواطئ المفتوحة.
عاصفة مدارية مد بحري	أمطار غزيرة طغيان مياه البحر	فبراير 2010 أغسطس2010	طغيان البحر في المناطق الجنوبية الغربية من شبة جزيرة عدن (شواطئ جولدمور – خليج الفتح وغيره)
عواصف ممطرة	أمطار غزيرة	سبتمبر2025	فيضان مدمر عبر الوادي الكبير (في الحسوه)، توسع السهل الفيضي للوادي. تدمير والاضرار الواسع للمباني والمنشأت التي أقيمت في مجرى الوادي منذ عقدين من الزمن جرف الطريق وشق خور الى البحر !.

إعداد الباحث (من الدراسات واوراق العمل السابقة)

كارثة السيول في منطقة الحسوة (محافظة عدن):

بالرغم من التحذيرات المسبقة والمتكررة، بعدم التعدي على مجاري السيول في الوادي الكبير وغيرها من الاودية في مدينة عدن، الا ان عمليات البناء والبسط العشوائي والمرخص استمرت حتى وقعت الكارثة،

في أغسطس 2025، شهدت منطقة الحسوة ومدينة إنماء في عدن سيولًا غير مسبوقة منذ عقود، حيث تدفقت المياه من مناطق الصبيحة مرورًا بإنماء وصولًا إلى الحسوة، مما أدى إلى قطع الطريق الرابط بين إنماء والدرة . السيول حاصرت المنطقة من جميع الجهات، ودخلت إلى المنازل، وأجبرت أكثر من 90% من السكان على النزوح إلى مناطق أكثر أمانًا.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

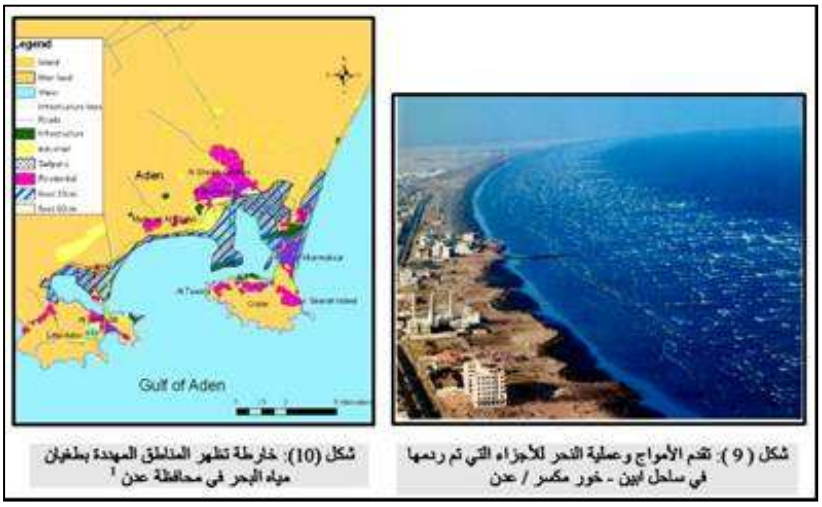
من أبرز أسباب هذه الكارثة:

- البناء العشوائي في مجاري السيول، مما أدى إلى انسداد المسارات الطبيعية للمياه.
- عودة المياه إلى مجرى وادي الحسيني، الذي لم يشهد فيضانات بهذا الحجم منذ عام 1982.
- غياب البنية التحتية المناسبة لمواجهة الأمطار الغزيرة والسيول المتدفقة.

وصلت السيول إلى شاطئ الحسوة، وأعاقت حركة المرور، وتسببت في حوادث أثناء محاولات الإنقاذ.

احتمالات طغيان مياه البحر Inundation

كما ورد في جدول رقم (2) الذي شمل توثيق للدورات المناخية الاستثنائية (الإقليمية والعالمية) التي شهدتها وتأثرت بها العديد من المناطق الساحلية في محافظة عدن، تظهر العواصف المطرية المارة في سواحل محافظة عدن كأبرز تلك الظواهر تأثيرا. وتشير التقديرات إلى أن تلك العواصف يمكن أن تؤدي إلى ارتفاع في منسوب مياه البحر مابين (4.24 -4.50) متر1 مما يعني غمر معظم الشريط الساحلي لمحافظة عدن والذي سيشمل مناطق خور مكسر، المنصورة، المعلى، البريقة، الشواطئ ما بين رأس عمران وفقم.



شكل (10): خارطة تظهر المناطق المهددة بطغيان مياه البحر في محافظة عدن [1]

شكل (9): تقدم الأمواج وعملية النحر للأجزاء التي تم ردمها في ساحل ابين - خور مكسر / عدن

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

مهددات التعرية للشواطئ Erosion

من المقدر أن يتراجع خط الشاطئ وفقا لقاعدة Brunn 1 نتيجة لارتفاع منسوب مياه البحر (Sea Level Rise) مما سيؤدي إلى فقدان قطاع بطول (23) كم من الشواطئ الرملية في عديد من قطاعات شواطئ خور مكسر، جولد مور، وفقم، وما يترتب على ذلك من خسائر للساكنين، المرتادين والسائحين؛ انظر جدول رقم (3) .

جدول رقم (3): المقدار المتوقع لارتفاع منسوب مياه البحر في الشريط الساحلي لعدن

القطاع / مقدار الارتفاع في منسوب مياه البحـر	الشريط الساحلي الشرقي خورمكسر – العلم	الشريط الساحلي الغربي خليج فقم
	مقدار التراجع في خط الساحل بالأمتار	
الأدنى :0.33	23	18
الأعلى :0.60	41	33

تقارير ودراسات الهيئة العامة لحماية البيئة للفترة (2005- 2010).

رصد حالات :

في السنوات الأخيرة شهدت المناطق الساحلية في الحسوة، البريقة، ورأس عمران بمحافظة عدن ارتفاعًا مفاجئًا في منسوب مياه البحر، مما أدى إلى اقتراب الأمواج من المنازل والأسواق وغمر بعض الطرق الرملية، وسط مخاوف كبيرة من تأثيرات بيئية وسكنية محتملة.

تفاصيل الأحداث الأخيرة :

- رأس عمران: المياه اجتاحت السوق المحلي لأول مرة منذ عقود، وغمرت أجزاء من الطريق الرملي، المعروف بـ"الردمية"، وهو الطريق الذي يربط ما بين احياء المنطقة؛ ما تسبب في صعوبة التنقل وتهديد مباشر للمساكن القريبة.
- ساحل الحسوة: ارتفعت المياه حتى وصلت إلى قرب الخط العام الرابط بين مدينة الشعب وجولة كالتكس، وهو طريق رئيسي. واقتربت الأمواج من حدود المحمية الطبيعية، مما أثار مخاوف من انقطاع المواصلات إذا تكرر الطغيان.
- البريقة: لم تُسجل أضرار كبيرة حتى الآن، لكن الأهالي أبدوا قلقًا من امتداد الظاهرة إلى الأحياء السكنية، خاصة مع غياب بنية تحتية وقائية كالحواجز البحرية.

المهددات والمخاطر (المباشرة):

- تهديد المنشآت السكنية :اقتراب المياه من المنازل والمساجد في رأس عمران.
- تأثير بيئي :خطر على المحمية الطبيعية في الحسوة مهددة بتغيرات في النظام البيئي.
- البنية التحتية :غمر الطرق الرملية يهدد حركة النقل ويعزل بعض المناطق.
- خطر على السكان :اقتراب المياه من الأسواق والمنازل يرفع احتمالية الأضرار المادية والنزوح المؤقت.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

المخاوف المستقبلية	التأثير المباشر	الحدث الأبرز	المنطقة
تضرر المحمية الطبيعية	تهديد النظام البيئي	ارتفاع المياه قرب المحمية	الحسوة
احتمال وصول المياه للأحياء السكنية	لا أضرار كبيرة حتى الآن	ارتفاع محدود	البريقة
تهديد مباشر للمساكن والبنية التحتية	صعوبة التنقل واقتراب المياه من المنازل	وصول المياه للسوق وغمر الطريق	رأس عمران

خلاصة :

تشير تكرار تلك الاحداث واخر المستجدات بان الوضع في المناطق الساحلية في محافظة عدن، خصوصًا في رأس عمران والحسوة، بتدهور واضح في الوضع البيئي؛ مما ينذر بخطر متزايد إذا لم يتم التدخل السريع. الظاهرة غير مسبوقة بهذا الحجم منذ عقود، والتي تعتبر مؤشرًا واضح على تغيرات مناخية أوسع تستوجب الدراسة العاجلة للتخفيف من مخاطر تداعياتها وتأثيرها.

تداخلات مياه البحر Seawater intrusion:

تشكل المياه الجوفية المصادر الرئيسية لتموين محافظة عدن بالمياه. تتواجد تلك المصادر في أحواض دلتا تبن / محافظة لحج ودلتا بنا / محافظة أبين في حين يقع حقل بئر احمد في إطار محافظة عدن. تتفاوت ظاهرة الهبوط السنوي في منسوب المياه الجوفية في تلك الحقول الذي يتراوح ما بين (0 -2.0) متر / سنويا (GAWSP-II 7 STAGE, 2001). كما هو مبين في الجدول أدناه.

جدول (4): يبين مقدار الهبوط السنوي لمصادر المياه المتعددة التي تمون محافظة عدن[7]

حقل أبار	مقدار الهبوط السنوي (بالأمتار)	منسوب المياه بالأمتار (SWL)
بير ناصر / لحج	**1.5**	55-65
بير احمد / عدن	**1.0**	40-50
تبن / لحج	**2.0**	60-70
الروه / أبين	**0.0**	12-22

لا يقتصر تأثير ارتفاع منسوب مياه البحر على الظواهر السطحية المتمثلة بعملية النحر (Erosion) أو طغيانها على الموارد السطحية على اليابسة فقط بل يتعداها إلى احتمال تدخلها مع منسوب المياه الجوفية. وبموجب قانون علاقة التداخل مابين مياه البحر وأحواض المياه العذبة في اليابسة المعروفة (Ghijben- Interface Principle Herzberg)؛ يتبين (من خلال الحسابات) انه في حالة ارتفاع منسوب مياه البحر بمقدار (1) متر فان علاقة التداخل ستمكن مياه البحر من الطغيان على المياه العذبة في تلك الأحواض بمقدار (40) متر، مما سيشكل تهديد حقيقي لمصادر المياه الجوفية لمحافظة عدن.

ومن المواقع الأكثر احتملا بالتأثر حقول المياه في منطقة بئر احمد.

7 : تقارير الهيئة العامة للموارد المائية / عدن, (Haidera . 2007)

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

التأثيرات البيئية Ecological Impacts

أدت التعديات المستمرة على الأراضي الرطبة في محافظة عدن إلى محاصرتها، تحديد مساحاتها ومؤخرا تقلصت مساحاتها نتيجة للتوسع في بناء الطرقات (في منطقة مملاح عدن) وردم أجزاء منها في المنطقة الحرة قطاع "L" المحاذي لجولة كالتكس / المنصورة. وبالرغم من أنها محميات بيئية معلنة (تشمل المملاح وبحيرات الطيور وغيرها من المسطحات المائية) وفقا للمعاهدات الدولية منذ أكثر من عشرة أعوام وبموجب قرار مجلس الوزراء رقم (304) لعام (2006). إلا أنها لا زالت تتعرض لضغوط نتيجة لممارسات سوء استخدامات الأراضي من قبل المنطقة الحرة (عدن) ووزارة الأشغال العامة والطرقات؛ مما سيؤدي إلى تغيير طبيعتها وتقليل فرصتها للإبقاء على البيئة الحيوية للكائنات الساحلية التي تؤمها والتسبب في عدم قدرتها للتكييف مع التغييرات المناخية العالمية.

إجراءات التكييف والتخفيف: Adaptation strategy

تتطلب إجراءات التخفيف من تأثيرات التغييرات المناخية على المناطق الساحلية في محافظة عدن تطبيق استراتيجية متكاملة تشمل تفعيل التشريعات البيئية والقوانين والوثائق المتعلقة باستخدامات الأراضي وفقا لخصائصها بموجب المخططات الهيكلية المعتمدة لعدن الكبرى

(Aden Master Plan 2005 – 2025).

تشهد الوضعية الراهنة تدهورا ملحوظا في الوضعية البيئة للمناطق الساحلية نتيجة للتجاوزات الصارخة لاستخدامات الأراضي (المتمثلة في ردم المسطحات المائية، تجرف الشواطئ الرملية وتصريف المخلفات وإقامة المنشئات خلافا للمخططات المعتمدة رسميا للمناطق الساحلية مما يشكل تهديدا حقيقيا لتلك النشاطات وبقية المناطق المجاورة حسبما ورد في الدراسات المحلية والدولية.

ويظهر الواقع أن تأثيرات الممارسات السلبية بالاستمرار في نهج التجاوزات الصارخة لاستخدامات الأراضي في المناطق الساحلية لن يقتصر على في رفع نسبة المخاطر كمهددات قد تتسبب بأضرار متعددة للمنطقة الساحلية وما يجاورها بل سيتجاوزها إلى زيادة تكليف المعالجات المطلوبة لتداركها وتطبيق الإجراءات الاحترازية للتخفيف من التداعيات الكارثية المترتبة عليها. ولتدارك الأمور ينبغي اعتماد تنفيذ الإجراءات التالية:

1) **الحرم الطبيعي**: يتوجب أن يتوفر حرم (خالي من العوائق والمنشئات) بمقدار (300-500) متر من أعلى مد؛ حاليا ينص قانون البناء (رقم 19 لعام 2002) على أن خط البناء في المناطق الساحلية يجب أن يبقي حرم بمسافة (300) متر من أعلى مد!!

2) **منشئات الحماية**: تتطلب إقامة حواجز (إنشائية) تعمل كمصدات تخدم أغراض حماية المناطق الساحلية من تقدم الأمواج العاتية في حالة فيضان مياه البحر.

3) **تموين الشواطئ بكميات من الرمال** لتعويض ما تم تعريته أو تجريفه لإعراض حماية خط الساحل.

4) **إعادة النظر في التخطيط العمراني** بناء على استخدامات الأراضي في المناطق الساحلية (وفقا للمخطط التوجيهي العام لعدن الكبرى (Aden Master Plan 2025 -2005) حيث يتوجب الإبقاء عليها كمتنفسات، حدائق ومواقف مفتوحة لا تشمل أي منشئات أو عوائق.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

قائمة المراجع:

المراجع باللغة العربية:

- باوزير، جمال محمد وآخرون. 2001. الدراسة الأولية للوضع الراهن للمنطقة الساحلية بمحافظة عدن. الهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن.
- عقبه، معروف إبراهيم. 2005. الموروث الطبيعي والتاريخي للأراضي الرطبة في عدن. ورشة عمل حول الأراضي الرطبة في محافظة عدن. الهيئة العامة لحماية البيئة /عدن.
- عقبه، معروف إبراهيم واخرون. 2006 . دراسة مسحية وتقييم الأثر البيئي لمنطقة " **رباك** " الحسوة.
- الخضر، احمد الشربيني.. يناير 2010 "الإسكندرية: ثاني أكبر المدن في العالم تهدد بالغرق" الإنسان والبيئة، مجلة العربي. العدد: 214، ص: 154-159.
- الخضر، احمد الشربيني. يناير 2012." **تغير المناخ يهدد النمو الاقتصادي في البلدان الأفقر** " الإنسان والبيئة، مجلة العربي. العدد: 638، ص :166- 170.
- عقبه، معروف إبراهيم واخرون 2019 . صور ومشاهدات حصرية لنتائج **اعمال الابادة التامة** لتجمع أشجار نخيل الدوم " دوش الطاري " في الحسوة .

المراجع باللغة الانجليزية:

- Golder Associates Inc, 1998: Aden Free Zone Development Projects: Final Environmental Assessment Report.
- Dasgupta, Susmita & others. Sept. 2009. Climate Change and the Future Impacts of Storm-Surge Disasters in Developing Countries. Centre for Global Development.
- Coastal Zone Team. Abu-Bakr, Mohammed M & others. Oct. 2010. Coastal Zone Vulnerability and Adaptation Assessment, Aden Governorate, Republic of Yemen.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

دراسة ميدانية لتقييم ومعرفة الأسباب خلف مشكلة خدمات مياه الشرب في محافظة حضرموت ووضع الحلول

د. جمال أبوبكر عوض عبّاد

استاد مشارك – كلية العلوم البيئية والاحياء البحرية – جامعة حضرموت – الجمهورية اليمنية – محافظة حضرموت – المكلا

الملخص:

استند هذا البحث الى دراسة ميدانية من خلال جمع وحصر البيانات والمعلومات عن وضع مياه الشرب بشكل عام في المحافظة حضرموت من عام 2006 م حتى عام 2017م حيث تم تحليل تلك البيانات المتوفرة من مؤسسة المياه والصرف الصحي في المحافظة وما تعانيه من نقص حاد في امداد مياه الشرب الى منازل المواطنين، استند بحثنا لمعرفة الأسباب والصعوبات والمعوقات التي تواجه مؤسسة المياه والصرف الصحي بالمحافظة ووضع الحلول العلمية ومن بين هذه الأسباب ضعف الأداء المؤسسي، القيود المالية للمؤسسة، الاستنزاف الجائر لمياه الشرب، الحفر العشوائي للآبار من قبل المواطنين قرب المواقع لمصادر مياه الشرب، انقطاع التيار الكهربائي الشبه تام او المتكرر لعدة ساعات، التوسع العمراني، الهجرة من الريف الى المدن لعدم توفر فرص العمل وأيضا هناك تأثيرات مناخية منها الجفاف وقلة تساقط الامطار وأخرى بشرية وصناعية كما ان الزيادة الفعلية لعدد السكان في عاصمة المحافظة المكلا خلال العقدين الاخيرة وما تعكسه هذه الزيادة من تأثيرات سلبية على عملية امداد وتوصيل شبكة مياه الشرب الى المنازل بشكل عام والتزايد المطرد على طلب المياه، وان هذه الأسباب جميعها تم معالجتها بطريق علمية ومنهجية ووضح الحلول المناسبة لها من خلال هذه الدراسة الميدانية.

الكلمات المفتاحية: معدل النمو السكاني، التوسع العمراني، الجفاف، قلة التساقط، تأثيرات مناخية، قيود مالية.

Abstract

This study is based on a field investigation involving the collection and compilation of data and information on the overall drinking water situation in Hadhramout Governorate from 2006 to 2017. The available data obtained from the Water and Sanitation Corporation in the governorate were analyzed to assess the severe shortage in the supply of drinking water to households. The research aimed to identify the causes, challenges, and constraints facing the Water and Sanitation Corporation and to propose scientifically grounded solutions. Among the key factors identified are weak institutional performance, financial constraints, excessive extraction of drinking water, unregulated drilling of wells by residents near drinking water sources, prolonged or recurrent power outages, urban expansion, and rural-to-urban migration due to limited employment opportunities. The study also highlights climatic impacts—including drought and low rainfall—as well as anthropogenic and industrial influences. Furthermore, the substantial population increase in the governorate's capital, Mukalla, over the past two decades has exerted additional pressure on the drinking water supply network and contributed to the rising demand for water. All of these factors were systematically analyzed, and appropriate solutions were proposed based on the findings of this field study.

Keywords: Population growth rate, urban expansion, drought, low rainfall, climatic impacts, financial constraints.

المقدمة:

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تعد شحة الموارد المائية إحدى أهم المشكلات التي تواجه البشرية مع مطلع القرن الحالي، وتشير كثير من الدلائل إلى تفاقم هذه المشكلة مع ازدياد الطلب على المياه رغم قلة الموارد المائية المتاحة بسبب عوامل طبيعية وجغرافية، وعوامل أخرى بشرية وصناعية، كما ان ظاهرة الجفاف وقلة الأمطار، والازدياد السكاني، والتزايد المطرد على طلب المياه، وتدهور نوعية المياه وزيادة ملوحتها بفعل دخول مياه البحر أو مياه الأحواض المالحة القريبة، إلا أن تذبذب معدلا سقوط الأمطار يحد من الاستفادة من هذا المصدر؛ كما تؤدي الطبيعة القاحلة للمنطقة إلى فقدان كميات كبيرة من مياه الأمطار القليلة بفعل التبخر. ولذلك فإن مشكلة المياه ناتجة عن سوء الإدارة وسوء الاستخدام، وليس فقط بسبب الندرة، فضلاً عن أن الموارد المائية المتاحة غير مستثمرة. ولقد أكد أحد التقارير الصادرة عن البنك الدولي على أن ندرة المياه تمثل عائقا أساسيا أمام التنمية الزراعية والغذائية، وزاد من حدة المشكلة تصاعد الطلب على المياه، وضعف كفاءة استخدامها، والاستخفاف بأهميتها؛ مما أدى إلى زيادة العجز المائي.

أن العالم اليوم يشهد ازمة مياه على نطاق واسع وهذا ما تؤكده التقارير والدراسات التي تصدرها المنظمة الدولية المعنية وكذلك المؤتمرات العالمية التي تناقش فيها قضية شحة مياه الشرب، هي التي جعلتنا ان نفكر بجدية في عمل دراسة ميدانية لتقييم ومعرفة الأسباب التي تقف خلف هذه المشكلة في محافظة حضرموت. كما ان الزيادة في معدل نمو السكان في المحافظة وبالإضافة الى التوسع العمراني الذي تشهده محافظة حضرموت، بشكل عام سوف يكون لها أثر عميق في النقص الحاد في مياه الشرب وبشكل خاص في عاصمة المحافظة ومدنها الكبيرة المنظورة في الدراسة من عدة جوانب. كما ان هناك تقلص ملحوظ في عملية التوسعة وحفر ابار جديدة تدخل للخدمة لتغطية العجز في مياه الشرب ويعود لعدة أسباب من أهمها العجز المالي وسوى التخطيط وقلة الكوادر المتخصصة في هذا المجال كما تشير بعض الدراسات السابقة ان هناك فعلا ازمة مياه تشهدها المحافظة بشكل خاص الجنوب بشكل خاص على وجه الخصوص بحكم موقعها الجغرافي وطبيعتها الصحراوية الجافة ومن خلال دراستنا لهذا الحالة وجدنا أن هناك فعلا تأثير واضح و كبير لهذه الأسباب حيث أن هناك علاقة ارتباط بين الأسباب التي تم ذكرها ونقص مياه الشرب من حيث التأثير الواضح والملموس على حياة السكان في منطقة الدراسة محافظة حضرموت و من خلال ذلك الترابط تم تحديد الحلول والمقترحات العلمية اللازمة للحد من تلك المشكلة التي تعد ناقوس خطر على المحافظة في الوقت الراهن وتحديدا لعاصمة المحافظة مدينة المكلا و هي مجرد إنذار مبكر لدق ناقوس الخطر لكثير من مدن و قرى المحافظة والجنوب و التي بدورها قد تؤدي الى تفاقم مشاكل اكثر خطرا على المجتمع الحضرمي والجنوبي وان اي نضوب او نقص حاد لمياه الشرب التي تعد من أهم الموارد الطبيعية والضرورية لاستمرار الحياة بشكل عام، كما ان الجفاف له اثأر سلبية على المخزون المائي للمياه الجوفية وتعود أسبابها الى التغيرات المناخية بشكل عام. وبحسب تقييم مشترك للوكالة الدولية للأمم المتحدة أن الفترة بين 2014 م و2023 م ستكون الأكثر جفاف ودفئاً خلال 150عاماً، كما أن بلدان المنطقة العربية أكثر عرضة للخطر ولا سيما خطر الجفاف والتصحر فالمنطقة العربية تعاني بشكل عام من نقصان في مياه الشرب وتأثير ظاهرة الجفاف ستكون للأسف اشد كما هو متوقع بحلول عام 2100 م وتصبح بلدان الخليج غير صالحة للعيش بحلول عام 2100 م وفقاً لدراسة أجرتها مجلة Nature المعنية بالتغيرات المناخية على الرغم من إن أكثر تنبؤاتها كارثية [14, 15].

تعد قضية شحة مياه الشرب في الجمهورية اليمنية بشكل عام إحدى القضايا الرئيسية المهمة وتحديداً التغير الحاصل في معدل منسوب المياه العذبة ومدى تأثيرها على الحياة العامة من عدة جوانب ولذلك حظيت باهتمام

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

واسع من مختلف المنظمات الدولية المعنية مما زاد تلك المنظمات قلقاً بالغ الأهمية في اواخر التسعينيات من القرن الماضي كما تعتمد الجمهورية اليمنية على المياه السطحية و الجوفية الضحلة في رواسب الوديان حيث ان الجمهورية تحصل على نصف كمية الامطار الي تسقط على شبه الجزيرة العربية سنويا و يعزى ذلك لعوامل مناخية تؤثر مباشرة على مواسم الإمطار في الجمهورية ولهذا الغرض جاء بحثنا هذا لما له من أهمية قصوى في واقع الحياة من حيث التأثير على العديد من القطاعات ذات العلاقة لما لها من أثر عميق على الحياة بشكل عام [1،4،11،12].

هدف الدراسة:

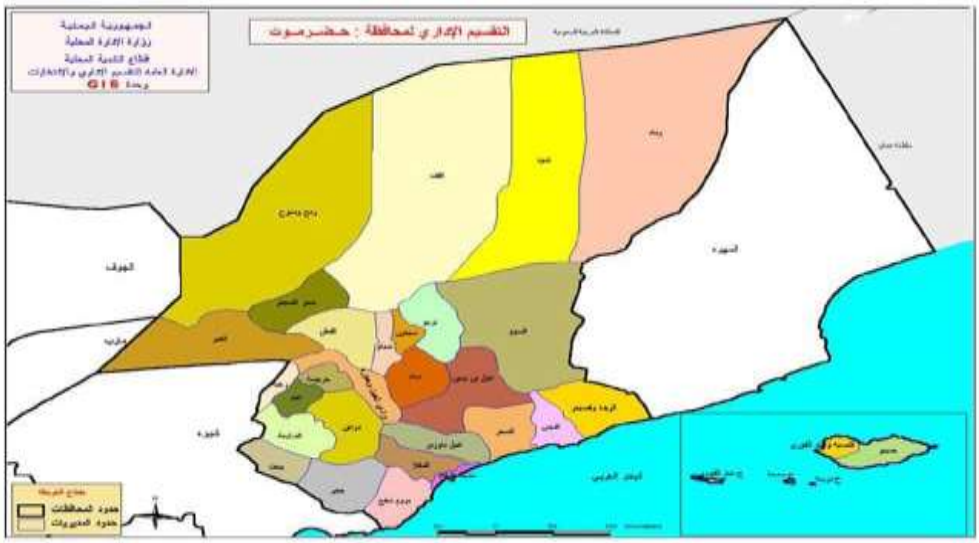
تقييم الوضع المائي في محافظة حضرموت من خلال جمع مجموعة من البيانات والمعلومات.

تهدف الدراسة الى معرفة الوضع المائي والاسباب التي تقف خلف مشكلة العجز في امداد خدمات مياه الشرب في محافظة حضرموت.

معرفة وفهم الظروف الحالية للازمة والاحتياجات المطلوبة، ووضع أفضل الحلول العلمية للمشكلة السائدة وتحسين امداد مياه الشرب في محافظة حضرموت.

منطقة الدراسة:

ان عدد سكان محافظة حضرموت يقارب اثنين مليون وفق احصائيات عام 2014 م كما تمتاز المحافظة بتباعد مديرياتها بحكم مساحتها الشاسعة وأيضا من أكبر محافظات الجنوب وتقع محافظة حضرموت بين خطي طول 45 الى 56 شرقي جرينتش وما بين خطي عرض 13 الى 19 شمال خط الاستواء.



صورة رقم (1) يبين توزيع مديريات محافظة حضرموت [4]

مشكلة الدراسة:

لقد لوحظ خلال الفترة الماضية وبشكل واضح ان هناك مشكلة في امداد شبكة مياه الشرب الى المنازل ونقص حاد لمياه الشرب في محافظة حضرموت، كما ان المشكلة باتت تقلق المواطن الحضرمي في السنوات الأخيرة وتجلب العديد من المشاكل في محافظة حضرموت.

منهجية البحث دراسة تحليلية:

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

استند البحث الى منهجية التحليل الاحصائي الوصفي للبيانات المتحصل عليها من مؤسسة المياه والصرف الصحي في محافظة حضرموت، كما إن الشواهد الملحوظة للنقص الحاد في مياه الشرب للسنوات الأخيرة من بداية القرن الحادي والعشرين بشكل عام مرتبطة بعدة أسباب والتي فعلا لها تأثير واضح وملموس على حياة السكان في منطقة الدراسة التي استخدامنا فيها الطريقة الإحصائية التحليلية من خلال العلاقتين التاليتين [1,2].

$$\overline{x_j} = \frac{\sum_{i=1}^{n_i} x_i}{n_j} \rightarrow (1)$$

حيث ان: - المتوسط الشهري - $\overline{x_j}$، - المتوسط اليومي - x_i، - عدد أيام الشهر - n_j

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} x_i}{n_m} \rightarrow (2)$$

حيث ان: - المتوسط السنوي - x_m، المتوسط الشهري - x_i، عدد الشهور خلال السنه - n_m

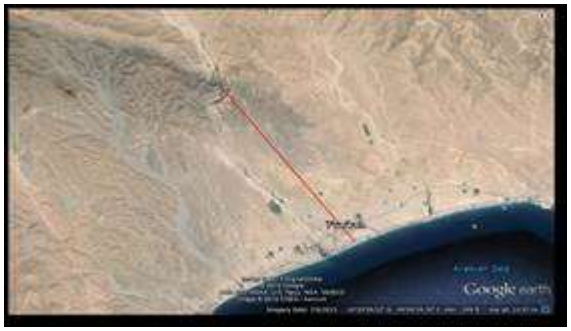
الوضع المائي في محافظة حضرموت:

مع ارتفاع معدلات الخطورة للمياه العذبة في محافظة حضرموت وبسبب ارتفاع معدل استخراج المياه العذبة مع ضعف التغذية الجوفية لها، حيث برزت بعض ملامح الخطورة في بعض مناطق حضرموت وتم تحديد المعالجات الملائمة لها من خلال مبادئ الإدارة المتكاملة للموارد المائية. وان حضرموت من المناطق الأكثر كثافة سكانية كما توجد هناك العديد من النشاطات السكانية خاصة في الجانب الاستثماري والإنشائي. فمن خلال تلك النشاطات يتطلب العديد من مشاريع البنى التحتية ومنها المياه والصرف الصحي وغير ذلك من المشاريع الحيوية. ان ارتفاع معدلات الخطورة للمياه العذبة بساحل حضرموت بسبب ارتفاع معدل استخراج المياه العذبة مع ضعف التغذية الجوفية لها، يعتبر ساحل حضرموت من المناطق الأكثر كثافة سكانية بمحافظة حضرموت، كما توجد هناك العديد من النشاطات السكانية خاصة في الجانب الاستثماري والإنشائي. فمن خلال تلك النشاطات يتطلب العديد من مشاريع البنى التحتية ومنها المياه والصرف الصحي. نركز هنا على بعض المناطق الهامة في ساحل حضرموت والتي تتميز بوفرة مائية عذبة كمنطقة غيل باوزير والخربة بالقرب من مدينة المكلا من الناحية الغربية وما جاورهما من مناطق يعتمد عليها السكان في زراعة أراضيهم وكذلك في عملية الإمداد للشرب وللاستخدامات المنزلية كما ان الزيادة الكبيرة في عدد السكان وانتقال العديد من الأسر من القرى إلى المناطق الحضرية وكذلك التوسع في النشاط الزراعي والاستثماري وهذا بدوره شكل نقص في امداد مياه الشرب وزيادة

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الاستهلاك الحضري وللتغلب على المشكلة استدعى الامر الى حفر العديد من الآبار، وكون المنطقة ساحلية جعلها عرضة لتداخل مياه البحر على المياه العذبة بسبب السحب الكبير على المياه العذبة وهذا أدى بدوره إلى جفاف الكثير من ينابيع العيون المائية في العديد من مناطق ساحل حضرموت وكمثال للحصر الحومه بغيل باوزير وكذلك بعض العيون في منطقة الخربة بسبب عدم التوازن ما بين العرض والطلب على مياه الشرب. ومن خلال هذه القراءة سنبين بعض النقاط الهامة التي أدت إلى تدهور الوضع المائي بساحل حضرموت وهي على النحو التالي:-

1- الاستنزاف الجائر وغير المدروس على المياه العذبة في المناطق الساحلية وذلك بحفر العديد من الآبار بطريقة غير قانونية.
2- انقطاع التيار الكهربائي بشكل شبه تام او متكرر
3- تداخل مياه البحر على المياه العذبة وهذا قد يساهم على وجود مخاطر بيئية على الخزانات المائية ومن خلال الصور أدناه تبين لنا على مدى قرب منطقتي الدراسة (غيل باوزير- الخربة) من الخط الساحلي مما يجعلها عرضة لتداخل مياه البحر مع خزانات المياه العذبة [1،10].



صورة رقم (2) يبين المسافة ما بين الحومه وساحل البحر 13,76 كيلومتر [5]

صورة رقم (3) يبين المسافة ما بين منطقة الخربة وساحل البحر 9,70 كيلومتر [5].

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

صورة رقم (4) للحومه بغيل باوزير تظهر بشكل واضح انخفاض منسوب المياه [5].

الآثار المترتبة على ندرة المياه:

كشفت الدراسات التي أعدها مكتب الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية بالتعاون مع البنك الدولي، ان ارتفاع عدد السكان في العالم بشكل عام، والاعتماد على المياه بشكل أساسي؛ أن تتضاعف عدد الدول التي تعاني نقص المياه العذبة ليصل إلى 48 دولة في عام 2025م، مقابل 31 دولة حاليا. كذلك تشير إحصائيات الامم المتحدة إلى أن أربعة من كل عشرة أفراد في العالم يعيشون الآن في مناطق شحيحة المياه. وتتوقع الاحصائيات أنه بحلول عام 2025م سوف يعيش ثلثا سكان العالم (حوالي 5.5 مليار إنسان) في أقطار تواجه نقصا خطيرا في المياه.

ان ندره المياه أو سوء استخدامها تشكل عاملا حاسما في مشكلة الانتشار الواسع للأراضي الجافة، أو تعرية التربة فوق كوكب الأرض، وبالتالي حدوث ظاهرة التصحر.

تؤثر ندرة المياه على التنمية الشاملة، والعمران، والتوسع في الرقعة الزراعية، والمشروعات التنموية العملاقة. ومن هنا، تتشكل ملامح معادلة صعبة جديدة تفرض نفسها، فإذا كانت كمية المياه ثابتة، فإن الاحتياجات للمياه تتزايد ويزداد الخلل ليثير المخاوف.

ترتبط بمشكلة ندرة المياه، قضية أخرى هي قضية الأمن الغذائي، والذي يعد من القضايا الهامة في كافة دول العالم النامي بشكل خاص. وتحظى قضية الأمن الغذائي باهتمام كبير من الحكومات والمنظمات الدولية.

الجهود المبذولة للحد من المشكلة:

لقد أصبحت الأرض اليوم غير الأرض التي عاش عليها أجدادنا وآباؤنا بالأمس، ومع ذلك، لا يتحرك أحد فالجميع مشغولون بأنفسهم ومصالحهم، حتى وإن كان ما يفعلونه سوف ينعكس عليهم في صورة أخطار جمة تهدد حياتهم. لقد أدرك الإنسان حديثا خطورة تدخله، وسلم بأهمية اتخاذ خطوات عملية للحد من هذا التدخل في إفساد البيئة بشكل عام. وقد تمثل ذلك فيما يلي:

ضرورة أن تتخذ الدولة الخطوات اللازمة لتقليل من المشكلة وزيادة عدد ابار المياه العذبة والتفاوض على إبرام اتفاقية لعدد من المشاريع بهذا الخصوص.

إشراف الدولة المباشر لوضع الحلول والمعالجات العاجلة لمشكلة المياه في المحافظة ومعرفة الأسباب التي تسبب نقص مياه الشرب.

مواجهة كافة التحديات والمعوقات التي تقف عائق امام المؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي والعمل على تدليلها [13, 10].

مشكلة المياه في حضرموت (منطقة ثلة):

تواجه محافظة حضرموت مشكلة مائية تنبع من محدودية الموارد الطبيعية للمياه واللجوء إلى استنزاف الخزانات الجوفية الأمر الذي أدى إلى مشكلة هبوط الضغوط المائية واحتمالية تداخل مياه البحر ونقصان المياه العذبة بهذه الخزانات .أشارت خارطة التعبير الهيدرولوجي عن وجود تباين في مواصفات وتوزيع ثلاثة انواع من المكامن الجوفية متوافقة مع طبيعة الصخور المنتشرة في منطقة الدراسة ودرجة نفاذيتها. اجريت التحاليل المختبرية الفيزيائية و الكيميائية لمصادر المياه المتوفرة في حقول (ثلة) في الفترة من (2001/11/17-2002/3/27م)، والتي تزود مدينة المكلا عاصمة المحافظة بمياه الشرب. حيث اسفر التحليل المختبري وجود زيادة كبيرة في تراكيز معظم العناصر الفيزيائية و الكيميائية عن المعايير المسموح بها من قبل منظمة الصحة العالمية (WHO) والمواصفات اليمنية لمياه الشرب، وذلك بارتفاع تراكيز الملوحة، و القاعدية والعسرة والكبريتات والمنغنيز والفلور في هذه المياه . تم تحديد مناطق واعدة لتطبيق مفهوم حصاد مياه الامطار عن طريق التفسير البصري لمرئية فضائية ملتقطة عام 2001 من خلال التحليل الجيومورفولوجي لعناصر سطح الأرض وذلك لمعالجة مشكلة الزيادة المفرطة في تراكيز بعض العناصر وتحسين نوعية المياه الجوفية لاستخدامها كقاعدة معلومات تبنى عليها القرارات المستقبلية. تم دراسة الامكانات التنموية للأحواض المائية و تحديد انسب المواقع لحقن الخزانات الجوفية أعلاه بمياه السيول الخاطفة، كوسيلة للتخفيف من تدهور واستنزاف المياه الجوفية في مواقع حقول المياه الجوفية الحالية [1,13].

التحديات والصعوبات:

انقطاع التيار الكهربائي الشبه تام او المتكرر مع انخفاض في إنتاجية مياه الشرب من المصدر.

الصعوبة في جمع البيانات والمعلومات من مصدرها والتستر عليها من مرافق المياه والصرف الصحي التابعة لتلك المؤسسات.

التغلب على مشكلة الربط العشوائي من خطوط الشبكة وأيضا الحفر الجائر للآبار العشوائية وغياب الدور الأمني والرقابي للدولة.

جفاف مياه الابار السطحية ونضوب العيون المغذية لتلك الابار بسبب الجفاف الذي تشهده منطقة الدراسة.

نقص في تحديث أنظمة المعلومات والبرمجيات والمعدات وغيرها مما سبب قصور في أداء سير العمل بالمؤسسات في تلك المناطق.

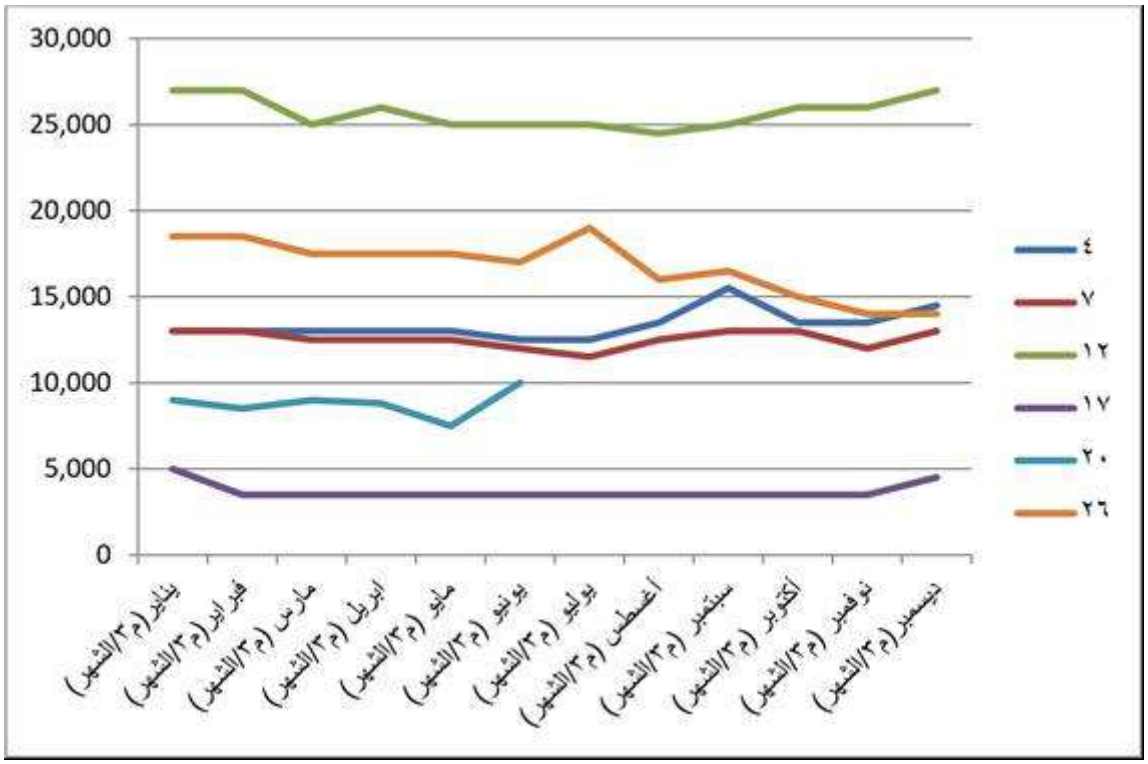
شحة في الكادر المؤهل والمتخصص مما أدى الى تدهور في أداء العمل المؤسسي وتقديم الخدمات.

قيود مالية يتبعها عجز في دفع الرواتب وقيمة الوقود ومواد التشغيل والصيانة مع عدم قدرة او رفض المشتركين دفع رسوم الخدمات، أدى الى تدهور مرافق المياه والصرف الصحي في المحافظات التي تطرقت لها الدراسة [12].

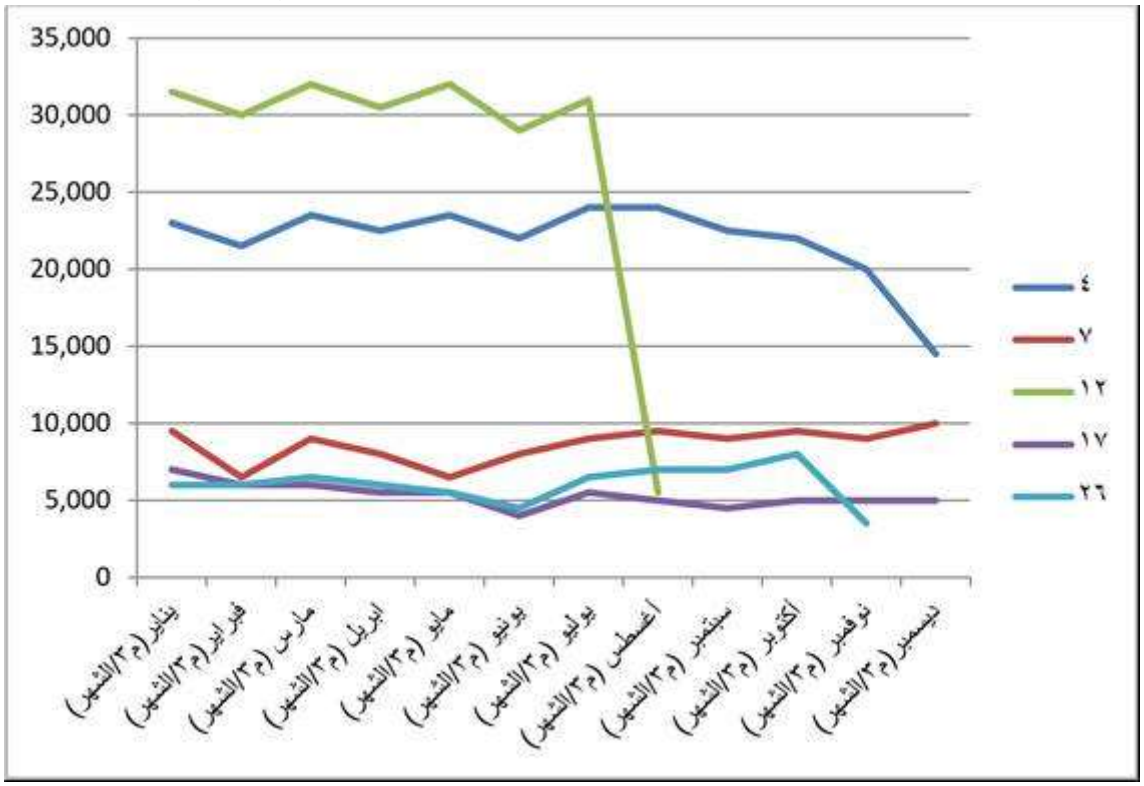
جدول رقم (2) يوضح عمق الابار في ثلة الشرقية

رقم البئر	2	1	14	14	11	41	45
عمق البئر	24 متر	21 متر	11 متر	24 متر	41 متر	01 متر	01 متر

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



شكل(2) يوضح المتوسطات الشهرية لمياه الابار المنتجة خلال العام 2991م

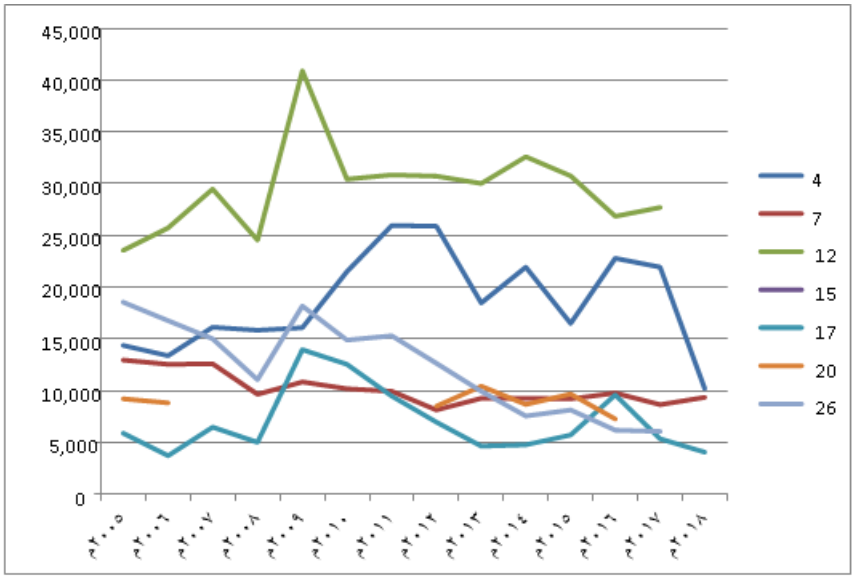


شكل (3) يوضح المتوسطات الشهرية لمياه الابار المنتجة خلال العام 2019م

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

جدول (3) يوضح المتوسط السنوي لكمية المياه المنتجة

45	41	11	14	14	1	2	المتوسط السنوي لكل بار بالمتر المكعب
18,542	9,208	5,875	14,600	23,542	12,958	14,375	4114م
16,750	8,800	3,708	-	25,708	12,542	13,375	4115م
15,000	-	6,458	-	29,458	12,583	16,125	4111م
11,042	-	5,008	-	24,542	9,625	15,833	4110م
18,167	-	13,958	-	40,867	10,833	16,083	4111م
14,875	-	12,542	-	30,417	10,167	21,500	4111م
15,292	-	9,458	-	30,833	9,917	25,958	4111م
12,636	8,500	6,958	-	30,708	8,125	25,875	4114م
9,917	10,417	4,625	-	30,000	9,250	18,458	4111م
7,542	8,667	4,750	-	32,583	9,250	21,917	4112م
8,125	9,667	5,708	-	30,727	9,208	16,500	4114م
6,167	7,250	9,583	-	26818.18	9,750	22,792	4115م
6,045	-	5,333	-	27,688	8,625	21,917	4111م
-	-	4057.5	-	-	9,333	10,208	4110م



شكل(4) يوضح المتوسط السنوي لكل بار بالمتر المكعب

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

التوصيات:

1. بناء السدود لتغذية المياه الجوفية وزيادة المخزون المائي في محافظة حضرموت بالقرب من مصبات السيول.
2. بناء حواجز مائية في الوديان لحجز مياه الامطار لتغذية الابار من المياه المحجوزة.
3. انشاء مسارات صناعية تصب مياه السيول مباشرة في خزانات مائية.
4. تنفيذ طرق مائية ويتم بجوارها عمل مجرى مائي بحيث يتم صب مياه السيول في تلك الاماكن وبالتالي يتم تفادي اثار السيول السلبية.
5. حفر ابار حديدة لتغطية احتياجات المواطنين من المياه وتفادي النقص الحاد للمياه لدى المؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي في حضرموت.
6. نشر ثقافة الوعي المجتمعي في عملية ترشيد استهلاك المياه في المنازل واستغلال مياه الامطار.

النتائج:

1. ترشيد واستخدام طرق حديثة للري في حضرموت والامداد الفوري والعاجل ببيانات محطات المراقبة والرصد وبشكل مستمر قبل الازمات والكوارث.
2. التأكيد على الالتزام بنظام تراخيص حفر الابار وتراخيص مزاولة مهنة حفر الابار بالنسبة لجميع المشاريع التي تنفذها / تمولها الجهات الحكومية والاعتبارية وبالتنسيق مع الهيئة العامة للمياه والصرف الصحي بالمحافظة بشأن استخراج تلك التراخيص في وقت مبكر من الدراسات وقبل التعاقدات التنفيذية حفاضا على المخزون المائي وتجنبا للإخفاقات الفنية المتكررة في مثل تلك المشاريع .
3. ادخال نظام استخدام الطاقة الشمسية في فترة انقطاع التيار الكهربائي المتكرر لتعويض النقص او العجز للمياه في الشبكة.
4. إضافة موارد مائية جديدة من خلال زيادة في حفر عدد من الابار لسد حاجة النقص او عن طريق او انشاء محطات تحلية مياه البحر.
5. تأهيل وتدريب كادر اداري متخصص وتحديث أنظمة المعلومات والبرمجيات بالهيئة العامة للمياه والصرف الصحي بجميع فروعها بالمحافظة.
6. إعداد خطة لتحسين امداد مياه الشرب الى منازل المواطنين وإزالة كل أنواع الربط الغير قانوني للمياه من الشبكة المؤسسة العامة للمياه والصرف الصحي بالمحافظة.

المراجع:

1) إعداد بن شهاب، عمر محمد (تقرير الإدارة المتكاملة للموارد المائية بساحل حضرموت)
2)- محمد، اماني موسى، (2007)، التحليل الاحصائي للبيانات، معهد الدراسات والبحوث الاحصائية، القاهرة.
3) سليمان، مصطفى محمود (2009)، مصادر المياه والحلول المستقبلية لحل مشكلة ندرة المياه، دار الكتاب الحديث، القاهرة.
4) م . باحكيم، عبدالكريم سعيد، مدير عام الهيئة العامة للموارد المائية فرع حضرموت، الإدارة المائية ومنظومة الاندار المبكر من مخاطر مياه الامطار والسيول، حوض وادي حضرموت وروافده (الاودية الفرعية) فبراير 2018م.
5) بن شهاب عمر محمد زين، تقرير المتخصص في الإدارة المتكاملة للموارد المائية بساحل حضرموت.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

6) سليمان، مصطفى محمود (2009)، قصة المياه والبيئة الصحراوية، دار الكتاب الحديث، القاهرة.

7) فنقاما، إسماعيل محمد(2015)، المناخ والظواهر الطبيعية، دار جامعة السودان للنشر والطباعة والتوزيع، السودان، الطبعة الأولى.

8) A. McMichael. "Global Climate Change and Health: An Old Story Writ Larg e". World Health Organization. Geneva.

9) https://www.ipcc.ch.2014

10) https://www.ipcc.ch.2018

11) https://www.osti.gov

12) https://www.un-ilibrary.org

13) http://zeraate-alyemen.7olm.org/t2- topic

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

إدارة المياه الجوفية العابرة للحدود كآلية لتحقيق الأمن المائي المستدام:

دراسة حالة حوض الصّحراء الشّمالي الغربي المشترك بين الجزائر، تونس وليبيا

الدّكتورة حلوي خيرة
أستاذ محاضر أ، كلية الحقوق والعلوم السّياسية
جامعة سعيدة – د. مولاي الطّاهر - الجزائر

Abstract:

Achieving sustainable water security is a central issue addressed by the 2030 Agenda for Sustainable Development, given its close association with food, health, and environmental security. The issue of water scarcity in the Maghreb region has been exacerbated by climate change, resulting in an increased reliance on non-traditional water sources, such as seawater desalination and groundwater exploitation. The present study aims to address the importance of trilateral cooperation between Algeria, Tunisia, and Libya in the field of transboundary groundwater management as a strategic option for promoting regional integration and governance of this precious resource. This is achieved through a comprehensive analysis of the "Consultation Mechanism on Shared Water in the Northern Sahara," which was formally initiated on April 24, 2024, and the identification of the primary technical, administrative, legal, and ecological challenges impeding this process. The study concludes by highlighting the most important strategies for achieving water sustainability to ensure the long-term needs of future generations in the region.

Key words:

Transboundary groundwater; Sustainable water security; Regional cooperation for water resource management; Consultation mechanism, The Northern Western Sahara Aquifer System (NWSAS) .

الملخص:

تندرج إشكالية تحقيق الأمن المائي المستدام في صدارة القضايا المركزية التي ركّزت عليها خطة التّنمية المستدامة 2030، وذلك بالنّظر لارتباطها الوثيق بالأمن الغذائي، الصّحي والبيئي. وقد أدّت التّغيرات المناخية إلى تفاقم معضلة الفقر المائي على المستوى المغاربي، ومن ثمّة زيادة الاعتماد على منسوب المياه الجوفية بشكل مفرط، وهو ما يستدعي بناء خطط استراتيجية شاملة تتوخّى تحقيق التّوازن بين الاستغلال العقلاني لها من جهة والتّوجه نحو تفعيل المصادر غير التّقليدية للمياه على غرار تحلية مياه البحر وإعادة تدوير المياه المستعملة من جهة أخرى. وبناءً عليه، تستهدف هذه الدّراسة التّطرق إلى أهمية التّعاون الثّلاثي المشترك بين الجزائر، تونس وليبيا في مجال إدارة المياه الجوفية العابرة للحدود باعتبارها خيارًا استراتيجيًا لتعزيز التّكامل الإقليمي وحوكمة هذا المورد الثّمين، وذلك من خلال تحليل أبعاد "آلية التّشاور حول المياه المشتركة بالصّحراء الشّمالية" التّي تمّ اعتمادها في 24 أفريل 2024، مع تشخيص أهمّ التحّديات ذات الطّابع التّقني، البيئي، الإداري، المالي، السّياسي والقانوني التّي تعيق هذه العملية، وتنتهي الدّراسة إلى الإشارة إلى أهمّ استراتيجيات تفعيل الاستدامة المائية لضمان متطلبات الأجيال القادمة في المنطقة على المدى البعيد.

الكلمات المفتاحية:

المياه الجوفية العابرة للحدود، الأمن المائي المستدام، التّعاون الإقليمي لإدارة الموارد المائية، آلية التّشاور، حوض الصّحراء الشّمالي الغربي.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

مقدِّمة:

أكَّد تقرير المياه والتّنمية التّاسع الصّادر عن اللّجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا ESCWA تحت عنوان :"المياه الجوفية في المنطقة العربية" (2022) أنّ الدّول المغاربية تشهد شُحًّا مائيًا غير مسبوق، وهي تُصنَّف من أكثر المناطق تأثراً بانخفاض معدلات الهطول المطري حيث لا يتعدّى إجمالي نصيب الفرد المغاربي من الموارد المائية المتجدِّدة أكثر من 500 متر مكعب للفرد في السّنة، وهو ما أدّى إلى إدراجها ضمن قائمة أكثر الأقاليم التي تعيش ضمن خطّ النّدرة المائية المطلقةabsolute water scarcity ، ودون عتبة الفقر المائي المقدّر ب 1000 متر مكعب للفرد في السّنة، ويُعزى ذلك إلى عدة مسبّبات أهمُّها: التّقلبات الجذرية في الدّورة الهيدرولوجية على النّطاق المحلي والعالمي، التّوسع العمراني غير المخطَّط له مصحوبا باختلالات واضحة في التّوزيع الدّيمغرافي من منطقة لأخرى، زيادة احتياجات القطاعات الصِّناعية، الزِّراعية، الخدماتية وقطاع الطّاقة الكهرومائية للماء باعتباره سلعة اقتصادية هامة. انطلاقاً من هذه المعطيات، باتت الحاجة مُلحةً إلى انتهاج مجموعة من البدائل الاستراتيجية لتحقيق الأمن المائي المغاربي المستدام لا سيما ما يتعلق بتنويع مصادر المياه غير التّقليدية، والاستغلال العقلاني للمصادر التّقليدية وعلى رأسها إدارة المياه الجوفية العابرة للحدود التّي تقع تحت سيادة دولتين أو أكثر، كما أصبح من الضّروري الانتقال من منطق الاستغلال المنفرد لهذا المورد إلى بناء تصور توافقي جديد يستهدف الإدارة التشاركية له من أجل تحقيق الاستدامة وحوكمة المياه الجوفية العابرة للحدود وفق الأطر القانونية الضّابطة والآليات المؤسسية الفعّالة وذلك بالارتكاز على البيانات العلمية الدّقيقة للحدّ من الاستنزاف العشوائي والمفرط لها.

وتأسيساً على ذلك، تتمحور الإشكالية الرّئيسة لهذه الورقة البحثية حول التّساؤل التّالي: إلى أيّ مدى يمكن أن يسهم إنشاء آلية قانونية ومؤسسية مشتركة لإدارة المياه الجوفية العابرة للحدود بين الجزائر، تونس وليبيا في ترشيد استغلال هذا المورد الحيوي وحوكمته بما يضمن الاستدامة والعدالة المائية على المدى البعيد؟

وتندرج ضمنها مجموعة من التّساؤلات الفرعية:

- فيم تتمثل الأهمية الهيدرواستراتيجية لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي المشترك بين الجزائر، تونس وليبيا؟ وما دوره في تحقيق الاستدامة المائية كمطلب استراتيجي؟
- ما هي ميكانيزمات تفعيل آلية التّشاور حول المياه المشتركة بالصّحراء الشّمالية باعتبارها مدخلاً لتعزيز أهم نماذج التّعاون الإقليمي المائي الجماعي في المنطقة المغاربية؟
- ما هي أهمّ التّحديات التّي تواجه تطبيق هذا المشروع؟ وفيم تكمن الاستراتيجيات الأنسب لتوزيع هذا المورد وحوكمته على المدى البعيد؟

وتكمن أهمية الدّراسةفيمايلي:

على المستوى النّظري، تحاول هذه المساهمة الأكاديمية سدّ فجوة بحثية موضوعية في مجال دارسات الهيدربوليتيكس (علم السّياسات المائية) من خلال التّطرق إلى المياه الجوفية المشتركة كمورد حيوي مشترك غالباً ما يتّم إغفاله، حيث ينصّب الاهتمام لدى متخصّصي هذا الحقل البحثي- بالدّرجة الأولى- على دراسة المياه السّطحية العابرة للحدود من خلال تحليل علاقات الصّراع والتّعاون الإقليمي والدّولي حول الأنهار والأحواض المائية المشتركة من زوايا متعدِّدة تركِّز على: الحقوق التّاريخية للأطراف المتنازعة، دورها في تحقيق التّوازنات الجيوسياسية، التّأطير القانوني لهذه الموارد في المواثيق والاتفاقيات الثّنائية والدّولية وتحليل أبعادها السّوسيو-اقتصادية. (الشّافعي: 2021، ص. 11). وعليه، سيتّم التّركيز على إبراز أهمية تحسين طرق استدامة المياه

الجوفية التّي تمثّل نسبة 97٪ من الموارد العذبة السّائلة المتاحة للاستعمال في العالم، وهي تؤمّن 50٪ من مياه الشّرب عالمياً و25٪ من مياه الرّي، كما تمّ إحصاء ما يعادل 426 حوضاً جوفياً عالمياً مشتركاً بين دولتين أو أكثر، حيث تضّم المنطقة العربية وحدها حوالي 43 حوضًا مشتركًا منها ويعتبر نصف هذه الموارد الجوفية غير متجدِّد، ممّا يستدعي إخضاعها لإطار قانوني ملزم وتحفيز الإدارة التّشاركية لها كمدخل لتعزيز الأمن المائي الإقليمي والاستقرار السّياسي في ظل التّغيرات المناخية المتسارعة التي قد تؤدّي إلى إجهادها في المناطق شبه الصّحراوية، وهي التّوصيات التّي تمّ التّأكيد عليها في مؤتمر القمة العالمي بشأن المياه الجوفية في مقر اليونسكو بباريس من 7 إلى 8 ديسمبر 2022. (الإسكوا:2022، ص ص. 13-19).

أمّا على المستوى العملي، فتسعى هذه الورقة إلى تثمين أهمية المقاربة التّكاملية في تحقيق التّعاون والتّنسيق الإقليمي في مجال الاستدامة المائية وتجاوز منطق المقاربات الوطنية الضّيقة والاستغلال العشوائي لهذا المورد الهام الّذي يمكن أن يؤدّي إلى نزاعات صامتة بسبب النّدرة المائية، وهو ما يحيل إلى ضرورة التّركيز على مدى فعالية الآليات القانونية والمؤسسية التّشاركية كمدخل استباقي لتحقيق الاستقرار المائي المغاربي باعتباره دعامةً أساسيةً للاستقرار السِّياسي والاجتماعي وجزءً هاماً من استراتيجيات الأمن الوطني لكلّ دولة في ظلّ التّهديدات الأمنية العالمية الجديدة .كما أنّه، وانطلاقاً من قلّة الدّراسات السّابقة ذات الطّابع التّطبيقي والميداني حول الحوض الجوفي الصّحراوي المشترك بين الجزائر، تونس وليبيا، تحاول هذه المساهمة العلمية أن تكون إضافةً هامةً للموضوع من خلال دراسته كتجربة نموذجية تُضاف إلى عديد التّجارب الدّولية والعربية النّاجحة في انتهاج إدارةٍ تكامليةٍ فعالةٍ لملف المياه الجوفية المشتركة قائمةٍعلى التّعاون الإقليمي، حسن الجوار وتحويل المناطق المائية المشتركة إلى مركز استقطاب تنموي جديد، وهنا نذكر على سبيل المثال لا الحصر: اتفاقيات المياه الجوفية العابرة للحدود الفرنسية السّويسرية لعام 1978 المشتركة (جينوفا)Genova ، الإدارة المشتركة لحوض الدّيسي بين الأردن والمملكة العربية السّعودية، وحوض Guarani Aquiefer بين الأرجنتين، البرازيل، البارغواي والأورغواي.

ولتفصيل الدّراسة أكثر، سيتّم الاعتماد على الخطة المنهجية التّالية :

أولاً- ضبط مفاهيم الدّراسة:

1.1 -مفهوم المياه الجوفية العابرة للحدود

2.1 -مفهوم الأمن المائي المستدام

3.1 -الأسس القانونية الدّولية لإدارة المياه الجوفية المشتركة

ثانياً-الإدارة التّشاركية لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي كمدخل لتعزيز التّعاون المائي الإقليمي

1.2- الأهمية الهيدرو-استراتيجية لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي

2.2 -ميكانيزمات الإدارة التّشاركية للحوض: من التّنسيق التّقني إلى الإدارة المستدامة بواسطة آلية التّشاور الدّائمة

ثالثاً- التّحديات المعيقة للإدارة التّشاركية للحوض الشّمالي الغربي:

1.3- التّحديات التّقنية والبيئية

2.3- التّحديات القانونية والسّياسي

3.3- التّحديات المالية والاجتماعية

أولا- ضبط مفاهيم الدّراسة:

يتضمّن المحور الأول للدّراسة تحديد المفاهيم المفتاحية على النّحو التّالي:

1.1- مفهوم المياه الجوفية العابرة للحدود :

المياه الجوفية هي تلك المياه العذبة بطيئة التّدفق التّي تتكوّن نتيجة تسرب مياه الأمطار في باطن الأرض، وتتجمع في طبقات من الصّخور والرّمال مُشكِّلةً خزّانات متفاوتة العمق للمياه الجوفية، ويتّم استغلالها كأحد المصادر التّقليدية للمياه من خلال حفر الآبار، أو الاعتماد على الأنظمة التّقليدية في استخراجها كنظام "الفقارة" المعروف في المناطق الصّحراوية الجنوبية بالجزائر، وتُستعمل لتلبية الاحتياجات اليومية للسّكان(الشُّرب) وفي تنمية القطاعات الاقتصادية: الزّراعة، الرّي، الصّناعة، التّعدين، الطاقة، توليد الكهرباء، تحفيز قطاع السّياحة، ولها دور هامّ في التّخفيف من آثار الجفاف والحفاظ على توازن النّظم البيئية من آثار الصّدمات المناخية.

وتعرّف المادة 02 من مشروع المواد المتعلقة بقانون طبقات المياه الجوفية العابرة للحدود الصّادر سنة 2008 وفق قرار الجمعية العامة رقم 63-124 المياه الجوفية المشتركة كما يلي:"هي شبكة من طبقات المياه الجوفية التّي تقع أجزاؤها في دول مختلفة، وتكون عبارة عن جزء من خزّان أو نظام آبار متصلة هيدروليكياً"، وفي هذه الحالة، يمكن اعتبارها مياه دولية وفق اتفاقية قانون استخدام المجاري المائية الدّولية في الأغراض غير الملاحية لسنة 1997وينبغي أن تخضع لإدارة تشاركية. (السّيد حسين: 2022، ص.52)

2.1 -مفهوم الأمن المائي المستدام:

تُعرّف منظمة الأغذية والزّراعة التّابعة للأمم المتحدة (الفاو) الأمن المائي المستدام كمايلي: "هو القدرة على الوصول إلى وضعية مستقرة لموارد المياه يمكن من خلالها الاطمئنان إلى استجابة عرض المياه للطّلب عليها، ومن ثمّة القدرة على ضمان تأمين المتطلبات المائية للسّكان لتلبية احتياجاتهم الحيوية اليومية، الاقتصادية والتّنموية بالكمية الكافية والنّوعية عالية الجودة وفي الوقت المناسب بطريقة مستدامة وبما لا يخلّ بتوازن النّظم البيئية المائية من التّدهور". (بن لدرع: 2025، ص.36)

وانطلاقاً من هذا التّعريف الاجرائي الذي يتوافق إلى حدٍّ ما مع مفهوم التّوازن المائي وهو الحالة التي يتعادل فيها حجم الطّلب مع حجم العرض، يمكن تعريف ثلاث حالات أخرى للوضع المائي: أولها، حالة الفجوة المائية التّي تعبّر عن الخلل الموجود بين كمية الاحتياجات التي تمثّل الطّلب، وبين حجم الإمكانات (الموارد) المتاحة فعليا التي تمثّل العرض (سعد: 2015، ص.521)، الحالة الثّانية هي الفائض المائي، حيث يكون فيها حجم الموارد المائية المتاحة أكبر من حجم الاحتياط، أمّا حالة العجز المائي فهي الحالة التّي يكون فيها حجم الموارد المتاحة أقلّ بكثير من حجم الاحتياطات، وهو ما يؤدي إلى أزمة الفقر المائي والنّدرة، وتشير المنظمة العالمية للأرصاد أنّ أكثر من 5 مليار نسمة من سكان العالم سيعانون سنة 2050 من عدم القدرة على الحصول على المياه لمدة شهر واحد على الأقل سنوياً (أبو راوي اشتيوي: 2025،ص.172)

وعلى العموم، يمكن تضمين الماء مجموعة من الأبعاد السّياسية، فهو مورد استراتيجي لتحقيق الأمن الشّامل، أداة ضغط ومساومة في مناطق النّزاعات، وسيلة لتغذية عدم الاستقرار الدّاخلي في الدّول التي تعاني حالة الإجهاد المائي، كما يرتبط بصفة وثيقة بتحقيق الأمن الغذائي والتّصدي للمجاعات وسوء التّغذية والأزمات المناخية. (بو جليدة:2025، ص.38).

3.1 -الأسس القانونية الدّولية لإدارة المياه الجوفية المشتركة:

يُقصد بإدارة المياه الجوفية العابرة للحدود الإجراءات الإدارية المُتخذة للتّسيير والاستغلال اليومي لمجمع مائي جوفي محدّد بما يضمن عدالة حصص الأطراف المتشاركة فيه وتحديد معدلات سحب آمنة، بينما يشير مفهوم حوكمة الموارد المائية الجوفية إلى منظور أوسع، حيث يشمل كلّ ما يتعلق بكفاءة المؤسسات الحكومية وغير الحكومية الفاعلة في سياسات التّسيير طويل المدى للمياه الجوفية من قوانين، لوائح، ترتيبات مؤسسية، أبعاد مالية وإدارية ذات آثار اقتصادية، اجتماعية وتنموية للتّحكم في هذه الموارد وإدارتها على أحسن حال. (الإسكوا: 2022، ص.70)

في القانون الدّولي للمياه، انصبّ تركيز اتفاقية الأمم المتحدة لقانون استخدام المجاري المائية الدّولية المشتركة في الأغراض غير الملاحية لسنة 1997 على المياه السّطحية فقط دون إيلاء الاهتمام بطبقات المياه الجوفية العابرة للحدود، ولسدِّ هذه الفجوة القانونية اعتمدت الجمعية العامة لاحقاً مواد مشروع القرار رقم 124-63 غير الملزِم والمتعلِّق بقانون طبقات المياه الجوفية العابرة للحدود لعام 2008، وحظي بدعم ومساهمة البرنامج الهيدرولوجي الدّولي التّابع لليونسكو لتشجيع الدّول على الإدارة التّشاركية لتسيير طبقات المياه الجوفية. ومن أهمِّ الأسس القانونية التّي ركّز عليها هذا المشروع في مادته السّابعة والثّامنة الدّعوة إلى وضع ترتيبات ثنائية وجماعية إقليمية لإدارة المياه العابرة للحدود، والالتزام بالتّعاون على أساس المساواة في السِّيادة وإنشاء لجان وآليات مشتركة لهذا الغرض بغية الانتفاع المنصف والعادل لها وفق إطار تنظيمي يشمل تبادل المعلومات. وتكمن المبادئ القانونية المنظِّمة لهذا المشروع في مبدأ الانتفاع المنصف والمعقول، مبدأ الالتزام بعدم التّسبب في الضّرر، الالتزام بالتّعاون المتبادل والمنتظم للمعلومات، ضرورة الإخطار والتّشاور والتّفاوض في استخدام المياه العابرة للحدود. (السّيد حسين: 2022، ص. 53).

ثانياً- الإدارة التّشاركية لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي كمدخل لتعزيز التّعاون المائي الإقليمي:

سيتِّم التّطرق في هذا المحور إلى أهمية الحوض الصّحراوي الشّمالي الغربي، مراحل تطور هذا المشروع المشترك ورهانات الانتقال من طابع التّنسيق التّقني إلى اعتماد آلية التّشاور الدّائمة تحت غطاء سياسي يستهدف مستقبلا التّحول إلى آلية تنفيذية فعالة .

1.2 -الأهمية الهيدرو- استراتيجية لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي:

يُمثِّل حوض شمال غرب الصّحراء الكبرى المشترك بين كلٍّ من الجزائر، تونس وليبيا (North-Western Sahara Aquifer System-NWSAS)المعروف بحوض غدامس أحد أهمّ الأحواض المائية ضمن النّظام الجوفي الصّحراوي الكبير، هذا الأخير الّذي يحتوي على أربعة أحواض أخرى تتمثل في: حوض تين سيريرين بشمال شرق النّيجر(Tin Sérririne) ، حوض آير الكريستالي المشترك بين مالي والنّيجر(Air Christalline) ، حوض تودني المشترك بين مالي وموريتانيا (Taoudni Basin) وحوض الرّشيدية بالجنوب الشّرقي للمغرب.

يُعتبر حوض شمال غرب الصّحراء من أكبر خزّانات الموارد المائية الجوفية العابِرة للحدود في شمال أفريقيا، ويمتَّد عبر ثلاثة دول هي الجزائر، ليبيا وتونس على مساحة 1مليون كم^2، وهو نظام مياه جوفية معقَّد متعدِّد الطّبقات يحتوي على احتياطات قارية استثنائية من المياه الجوفية تقدّر بحوالي60.000 مليار متر مكعب، يخضع توزيعها لحدود طبيعية مرتبطة بالمكوّنات الجيولوجية للمنطقة وليس لحدودٍ إدارية سياسية، وهي نتيجة تراكم رسوبي قديم جدّا للمياه الفوسفية قليلة الحركة التّي تشكّلت على مدى مليون سنة خلال العصر الكربوني - البرميcarbonferous- permian period ، تقع 70% منها في الجنوب الشّرقي للجزائر (700.000 كم^2)، 22 % منها في الجنوب الغربي لليبيا (250.000كم^2) و8 % في الجنوب التّونسي (80.000 كم^2)، يتفاوت عمقها من منطقة

لأخرى، وتتسِّم بضعف معدّل تجددِّها بحكم طبيعة التّكوين الجيولوجي، فهي مياه جوفية أحفورية بطيئة التّجدد Fossil ground water (Hafid : 2023, PP.133 - 134)

وعليه، لا يزيد معدّل تجدده السّنوي على أكثر من مليار متر مكعب في السّنة، ويعود ذلك إلى قلة التّغذية الواردة إليه من جبال الأطلس (الجزائر)، جبال دهار (تونس)وجبال نفوسة (ليبيا)، ممّا يعرِّض مخزونه الجوفي لخطر الاستنزاف والنّضوب على المدى المتوسط والبعيد، لا سيما مع تزايد عدد السّكان وارتفاع نسبة التّبخر بسبب ارتفاع درجة الحرارة وزيادة مساحة الأراضي الزّراعية الصّحراوية، ويُتوَقع أنّ ارتفاع معدلات الاستغلال سيترتب عنه سنة 2050 انخفاض في منسوب المياه بمعدل 20 إلى 60 متر مكعب، كما تُثبت إحصائيات مرصد الصّحراء والسّاحل OSS أنّ معدلات السّحب سنة 2003 مثلاً قد بلغت حوالي 9000 نقطة استخراج ممّا يفوق معدّل التّغذية لهذا الحوض، حيث تمّ تسجيل 6500نقطة سحب في الجزائر بنسبة 73%، 1200 نقطة سحب في تونس بنسبة14 % و1100 نقطة سحب في ليبيا بنسبة 13%.مع العلم أنّ معدل الاستغلال السّنوي للحوض يقدّر بنحو 2.5 مليار متر مكعب .(السّيد حسين: 2022، ص. 98)

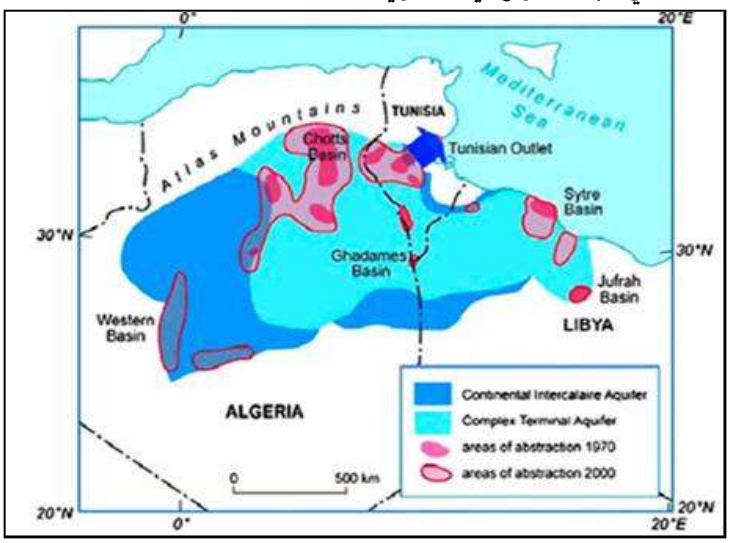
يشمل حوض الصّحراء الشّمالي الغربي المشترك على طبقتين رئيسيتين من المياه الجوفية: المجمع الطّرفي Terminal Complexوهي الطّبقة المعقدة التّي تقع في المستوى العلوي للحوض على عمق متوسط يصل إلى حوالي 200 – 400متر، والطّبقة القارية الدّاخلية البينية Intercalary Continental التّي تقع في المستوى السّفلي العميق للحوض وقد بلغت مستويات الحفر بها إلى عمق 1000-2800 متر (وهوما يوضِّحه الشّكل رقم 01 أدناه).

وتكمن الأهمية الهيدرو- استراتيجية للحوض فيمايلي:

1- يُعتبر المصدر المائي الاستراتيجي الوحيد في منطقةِ الصّحراء الكبرى التّي تقع ضمن أكثر المناطق جفافًا في العالم، حيث تكاد تنعدم الموارد السّطحية والمجاري المائية الدّائمة (مياه الأمطار، الأنهار). وبالتّالي، يمكن اعتبار هذا الاحتياطي الهام بديلاً استراتيجياً هاماً طويل المدى لتعزيز الأمن المائي في المنطقة في ظلّ التّغيرات المناخية المتسارعة، حيث ترتبط به أهمّ الخزّانات الفرعية في البلدان الثّلاث على غرار حوض وادي ميا (الجزائر)، الأحواض الموجودة في شمال غرب ليبيا وجنوب تونس.كما يشكّل أساساً لدعم الاستقرار الزّراعي في واحات بسكرة، ورقلة وتقرت في الجزائر، الجنوب التّونسي والجبل الأخضر في ليبيا.

2-ترتبط هذه الشّبكة الهيدرولوجية بتحقيق المتطلبات الاجتماعية والتّنموية في المنطقة، فهي مصدر لتلبية الاحتياجات المائية اليومية لحوالي 5 ملايين نسمة من السّكان المحليين في الدّول الثّلاث على مساحة 1 مليون كم^2، فضلاً عن دورها في استدامة التّنمية في المناطق الصّحراوية في مختلف القطاعات الطّاقوية والصّناعية، تعزيز الأمن الغذائي واستصلاح الأراضي الفلاحية الصّحراوية، فالعديد من المشاريع الزّراعية الكبرى تعتمد على موارد هذا الحوض مثل القطب الفلاحي وادي سوف في الجزائر الّذي يعتمد على المياه الجوفية في استصلاح الأراضي الزّراعية وريّ المحاصيل ويقوم بتشغيل نسبة 44 %من اليد العاملة بالمنطقة، بالإضافة إلى مشروع النّهر الصّناعي العظيم في ليبيا الّذي تمّ إنشاؤه سنة 1983، وتشكّل المياه الجوفية في ليبيا المورد الأساسي في البلاد، إذ تساهم بنسبة 95 % من إجمالي موارد المياه المتاحة وطنياً (4670 مليون متر مكعب)، يستهلك القطاع الزراعي منها حوالي 83.2 % عام 2020، وتتوزع عبر خمس خزانات جوفية هي: الكفرة والسّرير، المنطقة الجنوبية، الجفارة والحماده الحمراء، الجبل الأخضر وحوض سرت، وتحتّل ليبيا المرتبة السّادسة من بين أكثر الدّول التّي تعاني من الإجهاد المائي على المستوى العالمي، مع توقع حالات الجفاف كلّ 5 سنوات. وتُقدّر الكميات المستغلة من المياه

الجوفية للحوض الصّحراوي الشّمالي بنحو 2.2 مليار متر مكعب، منها 1.33 مليار في الجزائر، 0.55 مليار في تونس و0.90 مليار في ليبيا. (أبو راوي اشتيوي:2025، ص ص.165-167).



الشّكل رقم 01: التّركيبة الهيدرولوجية لطبقات المياه الجوفية لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي

المصدر: (Hafid:2023, p.147)

ثانياً- ميكانيزمات الإدارة التّشاركية للحوض: من التّنسيق التّقني إلى الإدارة المستدامة بواسطة آلية التّشاور الدّائمة

تُعرَّف الميكانيزمات في علم الإدارة بأنّها: "الأدوات والأساليب التّي تُستخدم لتحويل الأهداف والخطط النّظرية إلى نتائج ملموسة على أرض الواقع"، وبناءً عليه، فقد سعت الدّول المغاربية الثّلاث (تونس، الجزائر وليبيا) إلى اعتماد خطّة NWSAS منذ ما يقارب 30 سنة في اجتماع عُقِد في الفترة من 8 إلى 10 سبتمبر 1997 في تونس العاصمة، وبموجبها تمّ اعتماد البرنامج وتحديد أهمّ بنوده والتّأكيد على ضرورة تبادل المعلومات حول استغلال المياه الجوفية المشتركة في المنطقة، ويندرج هذا التّوجه في مجال الهيدروبوليتيكس ضمن نمط السّيطرة المشتركة Shared controlوهو إطار تعاوني يتّم تحت قيادة جماعية تضع في عين الاعتبار وجود مساواة فعلية في السّيادة بين الدّول من أجل استخدامٍ عادلٍ ومنصفٍ مدفوعٍ بواجب التّشارك في استغلال المياه الجوفية العابرة للحدود، على عكس نمط السّيطرة الخلافية التّنافسية Competitive cut threat التّي تتم في إطار تنافسي عنيف بين الأطراف المتنازعة وتهدف إلى تحقيق الهيمنة المائية (حالة النّزاع المائي المصري الإثيوبي).(الشّافعي: 2021، ص. 22). وقد اتّسمت الإدارة التّشاركية الثّلاثية متعدّدة المراحل للمشروع بمايلي:

-غَلَبة طابع التّنسيق التّقني الثّلاثي في المرحلة الأولى من إطلاق المشروع (1997-2002)، حيث تمّ الاعتماد على وضع خطط دون تفعيل استراتيجيات ميدانية واضحة للتّنفيذ، وأُسنِدت مهام إدارته إلى مرصد السّاحل والصّحراء OSS باعتباره الوكالة التّنفيذية للمشروع والتي تتكون من ممثلي البلدان الثلاثة (مقرُّها في تونس)، كما تمّت الاستعانة بفرق عمل فنية في كلّ دولةٍ لجمع البيانات ونقلها إلى مقر المشروع. تركّزت جهود الدّول الأعضاء في هذه المرحلة على "تحسين المعرفة" knowledge improvement بحجم ونوعية إمكاناتها من الموارد المائية الجوفية وتحديد امتداداتها الجيومترية، وذلك من خلال التّأكيد على ضرورة تفعيل عملية الرّصد والتّقييم على المستوى الوطني أولاً، ثمّ الانتقال إلى عملية النّمذجة الرّياضية والتّكميم NWSAS Modeling في إطار مشروع

ثلاثي -تحت إشراف مرصد السّاحل والصّحراء -يستهدف بناء قاعدة معلومات لتوحيد البيانات الهيدرولوجية التي ستشكّل الأساس التّقني المرجعي للتّعاون المتبادل بين الدّول الثّلاث، وقد انتهت هذه المرحلة التّأسيسية بتواصل عملية الرّصد والتّقييم الدّوري في سياق وطني روتيني ركّز على التّحذير من مخاطر السّحب العشوائي للمياه الجوفية العابرة للحدود، دون القدرة على وضع بروتوكول واضح لجمع البيانات الدّقيقة بسبب عدّة صعوبات ذات طابع تقني، مالي وإداري أبرزها غياب الإطار القانوني والمؤسسي الملزِم(MEWINA :2014,pp. 3-4)

-الانتقال إلى إنشاء آلية التّشاور Consultation Mechanism في المرحلة الثّانية من تطور المشروع (2002-2024)، وقد تمّ ذلك بناءً على اتّفاق بين الدّول الأعضاء(الجزائر، تونس وليبيا) في 19-20 ديسمبر 2002 على هامش اجتماع منظمة الأغذية والزّراعة (الفاو) في العاصمة الإيطالية روما، وأصبحت هذه الآلية هيكلاً تنظيمياً شبه مؤسسي دائم بعد مصادقة وزراء الموارد المائية عليه في الدّول الثّلاث في 2006، ثمّ إعادة تسميتها عام 2008 ب"آلية التّشاور الدّائمة" وتحديد هدفها في الإدارة التّشاركية المستدامة للمشروع وفق: عقد اجتماعات دورية لِلّجان المشتركة، توزيع المهام فيما بينها، تقديم تقارير دورية وتبادل المعلومات بشفافية، رصد حالة استخدام الطّبقات الجوفية ومراقبة أعمال الحفر غير القانوني لضمان التّوزيع العادل للمياه الجوفية ومنع استنزافها). MEWINA :2014 , p.13)

اتّسمت هذه الفترة بإنشاء شبكات رصد مشتركة لجرد جميع نقاط المياه الجوفية بالاعتماد على مؤشرات رصد1300 WP – NWSAS monitoring indicators ، واعتماد نماذج المحاكاة للتّنبؤ والتخّطيط المتوقّعة في الفترة من 2000-2050، كما تمكنّت الجزائر في هذه المرحلة من رقمنة استغلال الحوض الجوفي الصّحراوي بالاشتراك مع مرصد الصّحراء والسّاحل للتّجاوب مع مطلب تحيين قاعدة البيانات الموحدة (MEWINA :2014,P.24)، أضف إلى ذلك دور التّحفيز المالي للمشروع من قِبل الشّركاء العلميين الدّوليين على غرار منظمة الأمم المتحدة للتّربية والعلوم والثّقافة (اليونسكو)، المركز العربي لدراسات المناطق القاحلة والأراضي الجافة(ACSAD ، المعهد الفيدرالي الألماني لعلوم الأرض والموارد الطبيعية(BGR ، وشركاء التّعاون بما في ذلك البنك الدّولي، الاتحاد الأوربي، منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة(FAO)، الصّندوق الدوّلي للتّنمية الزّراعية التّابع للأمم المتحدة(IFAD) ، وكالة التّنمية والتعّاون السّويسريةDDC-Suisse، هيئة المساعدات البيئية العالمية وهيئة المساعدات البيئية الفرنسية FGEFبالإضافة إلى هيئة المساعدات الافريقية للمياه(AWF)، تقوم هذه الجهات بتقديم الدّعم المالي لآلية التّشاور الدّائمة من خلال الاشراف على البحوث والدّراسات المشتركة، وضع بروتوكولات تبادل البيانات وتطويرها، العمل على تحديد المناطق المعرضة للخطر وتقديم المقترحات المناسبة لذلك. (السّيد حسين: 2022، ص ص. 98-99).

- إضفاء البعد السّياسي على الإدارة المستدامة للمشروع، وهو ما يتضّح خلال المرحلة الثّالثة في المسار التّطوري له ابتداءً من تاريخ 24 أفريل 2024 حيث تمّ التّوقيع على الاتفاقية الخاصّة بإنشاء آلية التّشاور حول المياه الجوفية المشتركة بين الجزائر، ليبيا وتونس على مستوى الصّحراء الشّمالية في مقرها الدّائم الجديد بالجزائر وفقًا للمرسوم الرّئاسي رقم 24- 379 الصّادر في العدد 80 للجريدة الرّسمية، وهي استجابة لمخرجات القمة الثّلاثية المغاربية التّي جمعت رؤساء الدّول الثّلاث في لقاء قرطاج بتونس بتاريخ 22 أفريل 2024، وقد تمّ التّوقيع على هذه الآلية الجديدة من قِبل وزير الرّي الجزائري طه دربال، وزير الفلاحة والموارد المائية والصّيد البحري التّونسي عبد المنعم بلعاتي ووكيل وزير الموارد المائية اللّيبي محمد فرج قنيدي.

من أهمّ الأبعاد والدّلالات التّي تحملها هذه المبادرة الجديدة:

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- دور الإرادة السّياسية في تكريس خطّة عمل جديدة لاتخاذ القرارات المشتركة وتعميق مبدأ الإدارة التّكاملية للمياه الجوفية العابرة للحدود في الدّول الأعضاء، وهو العامل الّذي يمكنه أن يقدّم دفعا قويا لعملية التّكامل الفوق وطني في هذا القطاع الاستراتيجي المرتبط بتحقيق الأمن القومي مع احترام مبدأ سيادة كلّ دولة على مياهها الجوفية.

-التّوجه نحو إنشاء إطار مؤسسي وقانوني داعم للتّعاون الإقليمي المائي المشترك كإجراء استباقي لمنع تفاقم التّحديات المناخية والبيئية في المناطق الحدودية للدّول الثّلاث، واعتماد هيئة عليا تحت إشراف وزراء الموارد المائية والرّي ممّا يعتبر نقلة نوعية في مجال العمل الإقليمي المشترك .

-التّركيز على دور الإدارة التّشاركية النّاجعة للمياه الحدودية الجوفية في تحقيق متطلبات التّنمية المستدامة والعدالة التّوزيعية للأجيال، ومن ثمَّ الانتقال إلى مرحلة حوكمة هذا المورد الاستراتيجي الثّمين على المدى المتوسط والبعيد من خلال حرص الاتفاقية على التّعمق في رصد وتقييم حجم ونوعية هذه الموارد وتكثيف التّنسيق التّقني والسّياسي والإداري بين الأعضاء .

وعليه، ورغم اعتبار آلية التّشاور الدّائمة إطاراً تنسيقيًا غيرَ ملزم أكثر من كونها جهازاً تنفيذياً حقيقياً، غير أنّه يمكن اعتبار مخرجات هذه المرحلة الأهمَّ في مسار مشروع إدارة المياه الجوفية العابرة للحدود بين الجزائر، تونس وليبيا، وهي بمثابة اعتراف رسمي والتزام سياسي مبدئي بالحاجة إلى تعاون تقني ومعلوماتي معمق لتحقيق الاستدامة المائية في المنطقة في ظلِّ التّحديات المناخية المتفاقمة، على أن يُكلَّل ذلك برهانات مستقبلية ترتكز على تكثيف الجهود للتّحول نحو سرعة التّنفيذ الميداني واستكمال مأسسة هذا المسار وتقنينه وفق ضوابط واتفاقيات قانونية مُلزِمة تعكس مستوى التّنسيق الاقليمي الدّائم وقوة القرار التّشاركي.

ثالثًا- التّحديات المعيقة للإدارة المشتركة لحوض الصّحراء الشّمالي الغربي:

تواجه الإدارة المشتركة للموارد المائية الجوفية العابرة للحدود في المنطقة المغاربية مجموعة من التّحديات والقيود التّي يمكن اختصارها فيمايلي:

1.3 -التّحديات التّقنية والبيئية :

1- ظاهرة الإجهاد المائي الّذي تعاني منه كلّ الدّول المغاربية في العشرين سنة الماضية، وهو ما أدّى إلى ارتفاع وتيرة استنزاف الموارد المائية الجوفية غير المتجدِّدة والاستهلاك المفرط لها Over exploitation بسبب التّغيرات المناخية المتسارعة. فضلاً عن ذلك، فإنّ استخراج المياه بكميّات أسرع من معدّل إعادة التّغذية يؤدي إلى انخفاض منسوبهاOverdraft ، وانهيار الطّبقات الجوفية ممّا يجعلها غير قابلة لإعادة التخزين، ومن أمثلة ذلك اعتماد النّهر الصّناعي في ليبيا على مياه الخزانات الجوفية الخمس، حيث تمّ نقل ثلثي المياه إلى شمال البلاد حيث التّمركز السكاني الأكبر (أبو راوي اشتيوي:2025، ص.168)، واستعماله في ريّ ما يزيد عن 300ألف هكتار من الأراضي الزّراعية وتربية أكثر من 3 ملايين رأس من الماشية (سعد: 2015، ص.521)

2-تراجع نوعية وجودة المياه الجوفية بسبب ملوّثات طبيعية جيولوجية المنشأ تتمثل أساساً في ارتفاع درجة الملوحة العالية لا سيما في بعض المناطق التّونسية القريبة من مدن قابس، توزر وقفصة جنوبًا (Hafid:2023, p138)كما أثبت تحليل المكونات الرئيسية لنظام الخزان الجوفي في ورقلة (الجزائر) المتكوّن من كلوريد الصّوديوم وكلوريد كبريتات الكالسيوم وجود ارتباط قوي بين هذه التّركيبة وذوبان الملح الصّخري، ممّا يدعم فرضية انحلال هذه الترّسبات البخارية في مياه طبقات المياه الجوفية ويؤدّي إلى آثار سلبية على إنتاج المحاصيل , Hafid :2023)

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

(P 145، كما أدّى الإفراط في استخدام المياه الجوفية في ليبيا إلى تسرب مياه البحر لخزاناتها وارتفاع نسبة الملوحة في المدن السّاحلية كطرابلس sea salt intrusion. (أبو راوي اشتيوي: 2025، ص.176).

3-تفاقم مشكلة تلوث المياه الجوفية بسبب الاستخدام الصّناعي للنّفايات الكيميائية السّامة، والاستخدام الزّراعي المفرط للأسمدة والمبيدات التي تحتوي على مركبات الفوسفور والنّيتروجين وتسرب مياه الصّرف الصّحي، كما تنتشر مخاوف من تداعيات استخراج الغاز الصّخري على تسريع استنفاذ احتياطات المياه الجوفية الموجودة في الخزان الجوفي الألبي، بحكم اعتماد عملية الاستخراج على مجموعة من المواد الكيماوية التّي تقوم بعملية تكسير هيدروليكي للطّبقات الجوفية، بالإضافة إلى مشاكل بيئية وتقنية أخرى على غرار مشكل هبوط التّربة land subsidence، وغياب شبكة مراقبة مائية دقيقة.

2.3 -التّحديات السّياسية والقانونية:

1-تضارب السِّياسات الوطنية والتّحفظ على تقديم البيانات الدّقيقة المتعلقة بالمجرى المائي الخاص بكلّ دولة عضو، وهو ما يُعزى عادةً لتفاوت القدرات المؤسساتية لكلّ دولة في إحصاء ورصد المعلومات الخاصة بمواردها المائية بدقّة، بالإضافة إلى أسباب سياسية وأمنية متعلِّقة بحساسية موضوع السِّيادة على الموارد، وهو ما ينعكس بوضوح على ضعف أداء الهيكل التّنظيمي لآلية التّشاور.

2-ضعف التّنسيق الإقليمي البيني، وعدم وجود اتفاقيات إقليمية ودولية قوية وملزمة تنظِّم استخدام المياه الجوفية المشتركة، وهو ما يؤدّي إلى ضعف سياسات الرقابة، ممّا يعيق وضع حدودٍ قانونية صارمة على كميات الضّخ، ويفتح المجال أمام استغلال هذا المورد دون ضوابط واضحة .

3-الخلافات السِّياسية المزمنة بين الدّول المغاربية من شأنها أن تؤدّي إلى نزاعات كامنة تحتاج للتّسوية، على غرار الأحواض الموجودة في المناطق الحدودية الجزائرية المغربية بين مدينتي وجدة ومغنية والتي لا تخضع لأي اتفاقيات قانونية، يتعلق الأمر بالحوض الجوفي في سهل انكاد وجبل الحمراء الذي يستخدم لتأمين مياه الشّرب لسكان المنطقة الحدودية ويقدّر الوارد السّنوي منه 7-9 ملايين متر مكعب، وحوض بني مطهر (43 مليون متر مكعب في السّنة) الذي يعمل على توفير مياه الشّرب لسكان منطقتي جرادة بني مطهر.

4-الأوضاع الأمنية في ليبيا منذ بداية الحرب الأهلية عام 2011 وأثرها على تدمير البنية التّحتية لهذا القطاع الحيوي، فقد خلّفت الهجمات المتكرِّرة على النّهر الصّناعي خروج حوالي 190 بئرا عن الخدمة، وتفاقم أزمة انقطاع المياه في عديد المدن اللّيبية (أبو راوي اشتيوي:2025، ص.175).

3.3 -التّحديات المالية:

1- ضعف تعبئة الموارد المالية اللّازمة لتنفيذ برامج تنمية وإدارة المياه الجوفية الحدودية، مع عدم وجود معلومات دقيقة حول نسبة المساهمة المالية المقدَّمة من قِبل كلّ عضو ودرجة الانتظام في الالتزام بذلك، وقد تمّ تقدير الميزانية المخصّصة للمشروع سنة 2006 بمبلغ 100.000 أورو مع الأخذ بعين الاعتبار الدّعم المالي الّذي تقدّمه الهيئات الاقتصادية والعلمية المانحة لوحدات مرصد الصّحراء والسّاحل(MEWINA :2014, P.23)

2-تفاوت القيمة الاستخراجية للمياه الجوفية من دولة لأخرى وفقاً لمدى عمق هذه الطّبقات وحجم التّكاليف المخصصة لذلك، فتكلفة استخراج المياه الجوفية في تونس مثلاً مرتفعة بحكم العجز الطّاقوي، وهو ما فاقم من الاستغلال العشوائي غير المرخص به قانونا للآبار العشوائية على عمق 10 آلاف متر، وأدّى إلى تسجيل ارتفاع هذه الظّاهرة من 23.061 عام 1983 إلى 86.965 عام 2000 بمعدل 19% سنوياً.

خاتمة :

إنّ تحقيق الأمن المائي المستدام في المنطقة المغاربية كمطلب استراتيجي بعيد المدى لا يتأتّى إلّا بإدارةٍ تشاركيةٍ مستدامةٍ وناجعةٍ وفق ميكانيزمات مدروسة من شأنها تحويل القضية من هاجسٍ أمني ناتجٍ عن التّهديدات المرتبطة بالتّغيرات المناخية إلى عامل تنمية واستقرار سياسي وسوسيو اقتصادي، ومن عامل صراعٍ كامنٍ إلى عامل تعاون وتكامل إقليمي يمكن أن يجعل من مشروع إدارة المياه الجوفية الحدودية بين الجزائر، تونس وليبيا نموذجاً يُحتذى به في منطقة شمال إفريقيا، وذلك من خلال ضرورة الانتقال من مرحلة التّنسيق والتّشاور إلى مرحلة التّسيير الميداني المشترك، ومن ثمّة حتمية الانتقال إلى الطّابع الحوكمي المرتكز على إلزامية التّرتيبات القانونية والمؤسسية القائمة على الثّقة والشّفافية في تبادل المعلومات والبيانات، مدعومةً بالإرادة السّياسية وإشراك كافة الفواعل الحكومية وغير الحكومية في إنجاح العملية، وأبعد من ذلك ينبغي مقاربة الموضوع من زاوية مركبة متعدّدة التّخصصات لا تهمل أيضاً الأبعاد الأخلاقية للموضوع والتّي تعتبر الحفاظ على الماء كمورد استراتيجي ثمين واجباً أخلاقياً ووطنياً ومسؤوليةً جماعيةً مشتركةً، تستهدف على المدى الطّويل ضمان العدالة المائية الجيلية وتحقيق التّنمية الإنسانية المستدامة.

التّوصيات:

-على المستوى القانوني:

- ضرورة الانتقال من الطّابع التّنسيقي والتّشاوري غير الإلزامي إلى إطار قانوني ملزِم من خلال التّصديق الثّلاثي على اتفاقية قانونية تعمل بالتّنسيق مع القوانين والتّشريعات المائية الدّاخلية للدّول الأعضاء، وتنصُّ على تحديد حصص مستدامة للسّحب، فرض نظام التّراخيص، العقوبات والغرامات وضوابط لضخ المياه الجوفية العابرة للحدود.

-على المستوى السّياسي:

-مأسسة الإطار التّنظيمي للمشروع عبر ترتيبات مؤسسية وقانونية لتبادل المعلومات البينية لإنجاح الإدارة التّشاركية العابرة للحدود.

-التّوجه نحو بناء حوكمة مائية إقليمية تتجاوز الإدارة التّشاركية للحوض الصّحراوي الشّمالي إلى شراكة مغاربية أشمل ضمن مقاربة تكاملية تعتمد مبدأ "الماء كعنصر تكامل لا صراع"، من خلال رؤية تنموية مشتركة طويلة المدى، تشمل البحث عن الآليات الفعالة لحلّ النزاعات المزمنة وتبنّي إطار إقليمي شامل للأمن المائي.

-تعزيز دور الدّبلوماسية المائية في التّصدي للتّهديدات المناخية الجديدة في المنطقة على غرار اللجوء البيئي، الجفاف والتّصحر، واعتبارها أداة لتقديم حلول استباقية للصّراعات المرتبطة بندرة الموارد، ولتحقيق التّوازن التّنموي في الأقاليم والمناطق الجهوية.

-على المستوى المالي:

-إنشاء صندوق تمويل مشترك من قِبل الدّول الأعضاء للمشاريع المتعلقة بإدارة الحوض الصّحراوي الشّمالي الغربي، وتشجيع الشّراكة بين القطاع العام والخاص على المستوى الوطني لإدارة المشاريع المائية.

-على المستوى التّكنولوجي:

-دور أنظمة الذّكاء الاصطناعي في اعتماد نظام معلومات جغرافية مشترك (GIS) لرصد وتقييم ومراقبة استغلال المياه الجوفية العابرة للحدود، من خلال استعمال التّقنيات التّكنولوجية عبر الأقمار الصناعية، تطوير نظم

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

الرّصد والاستشعار عن بعد، وتطوير البدائل غير التّقليدية كإعادة تدوير المياه المعالجة، دور الطّاقات المتجددة في تقليل تكلفة مشاريع الضّخ وإنشاء محطات تحلية جديدة.

-دور الذّكاء الاصطناعي في توفير الإمكانات لبناء قاعدة بيانات متكاملة، وإنشاء منصة رقمية مغاربية مشتركة للمياه الجوفية لتسهيل الوصول إلى البيانات الدّقيقة، وتمكين الجهات المسؤولة والباحثين من الاطلاع عليها لتسهيل صنع وتوجيه السّياسات العامة المائية.

-على المستوى العلمي والثّقافي:

-تكثيف البحوث والدّراسات الأكاديمية العابرة للتّخصصات في مجال دراسات الهيدروبوليتيكس كبرنامج بحثي مرتبط بالسّياسات المائية للدّولة، وإنشاء مراكز بحوث ودراسات مائية مغاربية مشتركة.

- إدراج قضايا الاستدامة المائية ضمن المقرَّرات والمناهج الدّراسية، وإشراك المجتمع المدني والفاعلين غير الحكوميين والجامعات ضمن آليات مؤسسية للمراقبة والتّقييم في مقاربة تكاملية تجمع الإرادة السِّياسية بالثّقافة المدنية، وهو ما من شأنه رفع مستوى الوعي البيئي وتحويل سلوك المواطن من سلوك استنزافي للثّروة المائية إلى سلوك اقتصادي واعٍ يقدِّر أهمية الحفاظ على هذا المورد الاستراتيجي الحيوي لاستمرارية الحياة.

قائمة المراجع :

أولاً – باللّغة العربية:

أ-الوثائق القانونية والتّقارير الرّسمية :

1. الجريدة الرّسمية للجمهورية الجزائرية (2024): المرسوم الرّئاسي المتضمن التّصديق على اتفاقية إنشاء آلية التّشاور الدّائمة للمياه الجوفية في حوض الصّحراء الشّمالية، ع.80.
2. الجمعية العامة للأمم المتحدة (2008)، مشروع القرار المتعلق بقانون طبقات المياه الجوفية العابرة للحدود، الدّورة 68.
3. اللّجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا ESCWA (2022): تقرير المياه الجوفية في المنطقة العربية.

ب – الكتب :

4-الشّافعي، بدر حسن (2021): مصر وإثيوبيا وصراع الهيمنة على حوض النّيل: سدّ النهضة نموذجاً، الدّوحة، مركز الجزيرة للدّراسات .

ج-المقالات :

5-أبوراوي اشتيوي، فتيحة منصور (2025): واقع الأمن الغذائي في ليبيا في ظلّ تحديات تحقيق الأمن المائي، مجلة القرطاس، ع.26، المجلد 05.

6-بن لدرع، أ (2025): الأمن المائي في العالم: هاجس متزايد، مجلة الجيش، ع.740.

7-بوجليدة، أ(2025): أزمة المياه: تهديد للأمن الشّامل، مجلة الجيش، ع.740.

8-السّيد حسين، محمّد الحسين (2022): تسوية منازعات المياه الجوفية العابرة للحدود، مجلة الباحث العربي، المجلد .03، ع. 02.

9- سعد، أحمد إبراهيم (2015): تحديات الأمن المائي العربي، مجلة جامعة دمشق، المجلد. 31، ع. 1&2.

ثانياً- باللّغة الأجنبية:

1. Hafid,Feyrouz(2023) : Use of Hydro-chemical Tools to Improve Definitions of the North- Western Sahara Aquifer System, Case of Ouargla Groundwater Journal of Environmental Research, Engineering and Management, Vol. 79, No. 1.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

2. MEWINA (2014) : North Western Sahara Aquifer System (NWSAS) M&Rapid Asssesment report. Monitoring &aluation for Water In North Africa (MEWINA) Project, Water Resources Management Program, CEDARE.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

التقييم الجيومكاني والهيدرولوجي لمخاطر الفيضانات وتأثيرها على الأمن المائي والبيئي في مديرية حصوين (المهرة– اليمن) بعد إعصار تيج: نحو استراتيجيات التكيف المستدام

د. أمين عبدالقادر حسين هشلة
أستاذ الخرائط ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد المشارك
كلية التربية –المكلا – جامعة حضرموت–المكلا– اليمن

الملخص

تتناول هذه الورقة التقييم الجيومكاني والهيدرولوجي لآثار إعصار تيج (أكتوبر 2023) على مديرية حصوين بمحافظة المهرة في اليمن، مع التركيز على تحديات الأمن المائي والبيئي في ظل التغيرات المناخية. باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، والاستشعار عن بعد (RS)، والنمذجة الهيدرولوجية (HEC-1 ونموذج GEV)، كشفت الدراسة عن تغيرات كارثية في استخدامات الأراضي؛ حيث توسع مجرى الوادي بنسبة 234% على حساب 33% من الأراضي الزراعية و11% من التجمعات السكانية. وأظهر التحليل الهيدرولوجي أن أقصى تدفق للسيول (ذروة التصريف) يصل إلى 3061.565 م³/ثانية لفترة تكرار 100 سنة، مما يؤكد الحاجة لمنشآت حماية ذات سعة عالية. كما تم تحديد التهديد المزدوج المتمثل في استنزاف المياه وإعاقة مجاري الأودية الناتج عن الانتشار المتزايد لشجرة السيسبان (*Prosopis juliflora*). وتوصي الدراسة باستراتيجيات متكاملة تشمل الحماية الهيدروليكية الفعالة، والتحول إلى الري الحديث والطاقة البديلة لتعزيز الأمن المائي، وتطبيق إدارة متكاملة للسيسبان تربط بين الحماية البيئية ودعم الأمن الغذائي عبر صناعة الأعلاف المركزة.

الكلمات المفتاحية

التغيرات المناخية؛ إعصار تيج؛ حصوين؛ الأمن المائي؛ نظم المعلومات الجغرافية؛ الاستشعار عن بعد؛ نمذجة هيدرولوجية؛ السيسبان.

Abstract

This Paper adresses the geo-spatial and hydrological assessment of the impacts of Cyclone Tej (October 2023) on Haswayn Directorate in Al-Mahra Governorate, Yemen, focusing on water and environmental security challenges under climate change. Utilizing Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing (RS), and hydrological modeling (HEC-1 and GEV model), the study revealed catastrophic changes in land use; the wadi (valley) course expanded by 234% at the expense of 33% of agricultural land and 11% of settlements. Hydrological analysis showed that the peak flood discharge reaches 3061.565 m³/s for a 100-year return period, underscoring the necessity for high-capacity protection structures.[1] The dual threat of water depletion and wadi obstruction caused by the increased spread of *Prosopis juliflora* was also identified. The study recommends integrated strategies, including effective hydraulic protection, adoption of modern irrigation and alternative energy for water security enhancement, and the application of integrated *Prosopis juliflora* management linking environmental protection with food security support through concentrated fodder production.

Keywords

Climate Change; Cyclone Tej; Haswayn; Water Security; GIS; Remote Sensing; Hydrological Modeling; *Prosopis juliflora.*

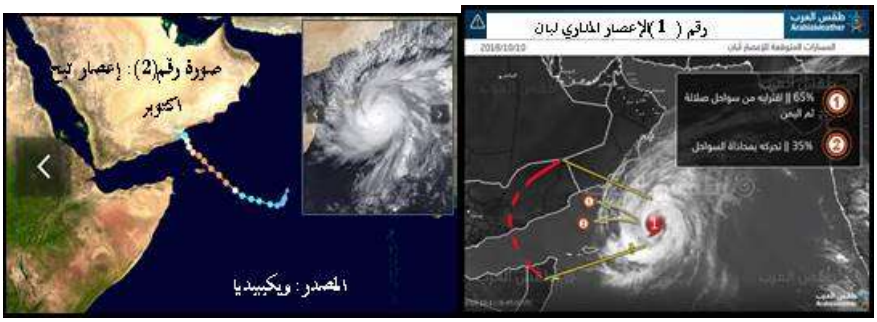
1. المقدمة والإطار النظري

1-1. السياق العالمي والإقليمي للتغيرات المناخية وتأثيرها على البيئات الساحلية الجافة وشبه الجافة

تشهد مناطق جنوب غرب المحيط الهندي وبحر العرب تزايداً ملحوظاً في تواتر وشدة الظواهر الجوية المتطرفة، وخاصة الأعاصير المدارية، وهو ما يربطه العلماء بشكل مباشر بالسيناريوهات المتفاقمة للتغيرات المناخية العالمية.

تُمثل التغيرات المناخية أحد أكبر التحديات المعاصرة التي تهدد الاستقرار البيئي والبشري، ولا سيما في المناطق الساحلية الجافة وشبه الجافة. وقد أكدت التقارير العلمية الدولية على تزايد تواتر وشدة الظواهر الجوية المتطرفة، وفي مقدمتها الأعاصير المدارية والسيول المفاجئة .هذا التفاقم في الظواهر المتطرفة يشكل تهديداً مباشراً للأمن المائي والغذائي، خاصة في الاقتصادات الهشة التي تعتمد على الموارد الطبيعية المحدودة. وتتجلى أهمية الدراسة في فهم العلاقة المعقدة بين الزيادة في المخاطر الهيدرولوجية الناتجة عن التغيرات المناخية وقدرة المجتمعات المحلية على التكيف وتحقيق التنمية المستدامة. (الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، 2025)

تقع محافظة المهرة في أقصى شرق اليمن، وتُعد إحدى أكثر المحافظات تضرراً من هذه الكوارث الطبيعية نظراً لموقعها الجغرافي الذي يطل على بحر العرب والمحيط الهندي، مما يجعلها نقطة ساخنة لمخاطر الكوارث المناخية المتطرفة.



1-2. تزايد مخاطر الأعاصير والسيول في الجمهورية اليمنية ومحافظة المهرة

تنعكس آثار تغير المناخ في اليمن بشكل واضح مع تنامي الظواهر الجوية المتطرفة التي تضرب المحافظات الساحلية. تقع محافظة المهرة في الطرف الشرقي للجمهورية اليمنية، وتمتد على شريط ساحلي بطول 560 كيلومتراً، مما يجعلها ثاني أكبر محافظة يمنية من حيث المساحة (حوالي 67,300 كيلومتر مربع) وأكثرها تعرضاً للظواهر الجوية المتطرفة المرتبطة بتغير المناخ(المركز اليمني للمعلومات،2025)، وقد شهدت محافظة المهرة سلسلة من الأعاصير المدمرة خلال السنوات الأخيرة، بدءاً من "تشابالا" و"ميغ" في عام 2015، مروراً بـ"ساجار" و"مكونو" و"لبان" في عام 2018. وقد وصلت هذه السلسلة إلى ذروتها مؤخراً بإعصار "تيج" الذي ضرب المنطقة أواخر العام الماضي، وتحديداً في 23 أكتوبر 2023، وأحدث أضراراً بالغة في الغيضة وحصوين،(**نركلا ينليه 2021**).

إن الآثار المترتبة على هذه الظواهر تتجاوز الأضرار المادية وفقدان الأرواح إلى تهديد الأمن الغذائي وسبل كسب العيش. يعتمد الاقتصاد المحلي في المهرة بشكل كبير على قطاعات متأثرة مباشرة بالظروف المناخية، مثل الزراعة، وصيد الأسماك، وتربية الماشية والنحل وهي قطاعات تتأثر بشدة بالظروف المناخية المتطرفة. وقد أدت السيول المصاحبة لهذه الأعاصير إلى تضرر كبير في الأراضي الزراعية وسبل العيش، بالإضافة إلى تأثر الثروة الحيوانية والموارد السمكية (الصندوق الاجتماعي للتنمية –المكلا،2024) .

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

خريطة رقم (1): الموقع الجغرافي لمحافظة المهرة

1-3. تحديد مشكلة الدراسة وأهدافها

تكمن مشكلة الدراسة في غياب التقييم الكمي للأثر الناتج عن الظواهر المناخية المتطرفة، وعدم وجود تنبؤ هيدرولوجي موثوق به للمخاطر في المناطق الساحلية اليمنية، خاصة في ظل ندرة محطات الرصد الأرضية. لذلك، تبرز أهمية تطبيق التقنيات الجيومكانية الحديثة، وفي مقدمتها نظم المعلومات الجغرافية (GIS) والاستشعار عن بعد (RS)، كأدوات أساسية وفعالة. تتيح هذه التقنيات إجراء تحليل دقيق للتغير في الغطاء الأرضي واستخداماته (LULC Change Detection) قبل وبعد الكارثة، بالإضافة إلى نمذجة وتقييم مخاطر الفيضانات (Flood Hazard Mapping)، مما يشكل ركيزة أساسية لوضع خطط التنمية المستدامة واستراتيجيات التكيف مع المخاطر الهيدرولوجية المستقبلية.

1-4. الأهداف البحثية

تستهدف هذه الدراسة تحقيق الأهداف البحثية التالية:

1. تحليل التغيرات المكانية والكمية في استخدامات الأراضي بمدينة حصوين قبل وبعد إعصار تيج (2023).
2. التقييم الكمي لذروة التدفقات الهيدرولوجية (Qmax) وحجم السيول للأحواض الرئيسية المؤثرة على مدينة حصوين باستخدام النمذجة الهيدرولوجية المتقدمة (HEC-1).
3. رصد وتوثيق التغيرات المكانية في استخدامات الأراضي (LULC)[13] قبل وبعد إعصار تيج باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS).
4. اقتراح استراتيجيات متكاملة ومستدامة للتكيف مع الفيضانات وحماية البنية التحتية وسبل العيش المحلية.

[13] Land Use and Land Cover

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

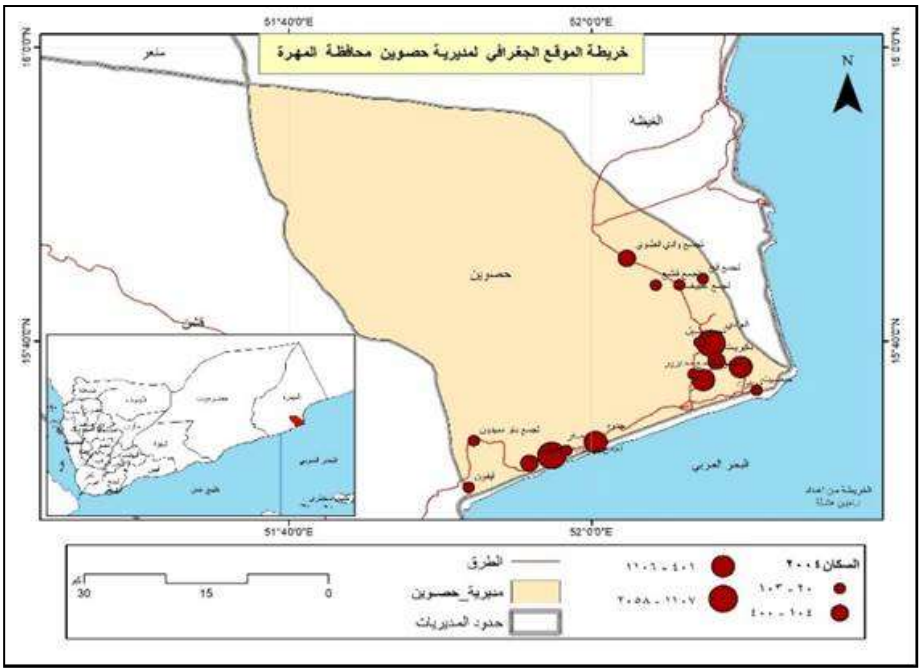
1-5. مساهمة الورقة وأهميتها.

تُبرِزُ هذه الدراسة أهمية منهجيتها في دمج تقنيات التحليل الجيومكاني (نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد) ضمن نمذجة المخاطر الهيدرولوجية، حيث توفّر مخرجاتها بيانات كمية ومكانية عالية الدقة تُعتبر أساسيةً لدعم استراتيجيات التخطيط المتكامل والتنمية المستدامة. كما تتمثل إسهاماتها الرئيسية في ربط مُخرجات النمذجة الهيدروليكية – كمعدلات التصريف الأعلى لسيناريو الفيضان المئوي – بالمتطلبات التصميمية للمنشآت الهندسية الوقائية، مما يُمثّل تحولاً نوعياً من النماذج التخطيطية التقليدية نحو منهجيات هندسية متكيفة مع التغيرات المناخية. ويُعدّ هذا التوجّه ضرورياً لتعزيز مرونة المناطق ذات الحساسية المناخية المرتفعة، كالسواحل اليمنية، في مواجهة التغيرات المناخية.

2. منطقة الدراسة

1-2. الموقع الجغرافي والتغيرات الديموغرافية والهشاشة الاقتصادية كمدخل للتكيف المناخي والتنمية المستدامة في مديرية حصوين

تقع مديرية حصوين في الجزء الجنوبي الشرقي من محافظة المهرة، وتطل على بحر العرب. تتميز المديرية بتضاريس متنوعة تشمل السهل الساحلي الذي يمتد بطول 44 كم، وسهول فيضية تقع على جانبي وادي **قديفوت** ووادي **شيحيت**، بالإضافة إلى المرتفعات الجبلية والهضاب في الأجزاء الشمالية والغربية (المركز اليمني للمعلومات،2025).



خريطة رقم(2):

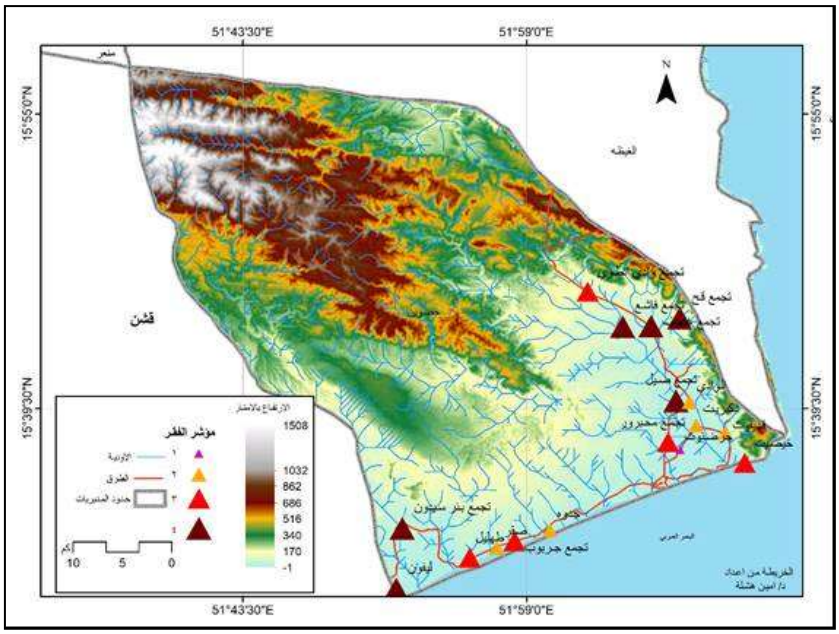
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

على الرغم من أن حصوين تعد ثاني أصغر مديريات المحافظة من حيث المساحة، حيث تبلغ مساحتها حوالي 1843 كم^2 (2.7% من إجمالي مساحة المهرة)، تُظهر البيانات السكانية لمديرية حصوين في محافظة المهرة عام 2004، أن إجمالي عدد السكان بلغ 11,130 نسمة، وهو ما يمثل 12.6% من إجمالي سكان المحافظة.

تتوزع هذه الكثافة السكانية على مركز المدينة، وحي واحد وحارة، بالإضافة إلى 33 قرية تضم 1,399 مسكنًا و2,085 أسرة. يشكل الذكور نسبة 54.3%، بينما تشكل الإناث 45.7% من إجمالي السكان. (امين علي حسن،2019).

يُعد هذا النمط من التوطن السكاني، الذي يتمركز فيه السكان بشكل رئيسي على الشريط الساحلي والسهول الفيضية المحيطة بمصبات الأودية، عاملاً مضاعفاً للمخاطر عند حدوث الكوارث الطبيعية. تبرز خطورة هذه التركيبة الديموغرافية والجغرافية من خلال تحديين رئيسيين:

1. **الضغط المتزايد على الموارد الطبيعية والمائية** :يُظهر التوزيع السكاني المشتت على 33 قرية نمطاً استيطانياً تقليدياً يعتمد بشكل كبير على الموارد المحلية، وخاصة الموارد المائية في المناطق الساحلية والجبلية. يؤدي هذا التوزيع إلى تفاقم التحديات المتعلقة بإدارة الموارد المائية وصيانتها، مما يزيد من مخاطر استنزافها وتلوثها. وتتفاقم هذه المشكلة في ظل تناقص معدلات هطول الأمطار وارتفاع درجات الحرارة نتيجة للتغيرات المناخية.
2. **الهشاشة الاقتصادية–الاجتماعية** :**تكشف** المؤشرات أن 64.7% من التجمعات السكنية تقع ضمن الفئات الأكثر فقراً (المستويين 3 و4). وتعكس هذه الهشاشة الاقتصادية انخفاض القدرة على الصمود في مواجهة الصدمات البيئية والمناخية. كما تفتقر هذه المجتمعات إلى الإمكانيات اللازمة لبناء بنى تحتية قادرة على مواجهة التغيرات المناخية، أو تطوير ممارسات زراعية واقتصادية مستدامة، أو ضمان الأمن المائي خلال فترات الجفاف والفيضانات.



خريطة رقم (3) :مؤشر درجة الفقر حسب التجمعات السكانية حصوين–المهرة

2-2. تقييم أنماط الإنتاج الزراعي والحيواني والهشاشة الاقتصادية

يُظهِرُ الهيكل الاقتصادي في مديرية حصوين اعتماداً شبه كلي على القطاع الأولي، مع تركيز واضح على أنشطة الصيد والزراعة وتربية الثروة الحيوانية، مما يجعله نظاماً اقتصادياً هشاً وعُرضة للصدمات المناخية. ويمكن تحليل أنماط الإنتاج السائدة من خلال الجدول التالي:

جدول (1): تقييم أنماط الإنتاج الزراعي والحيواني وعلاقتها بالهشاشة الاقتصادية

نمط الحيازة	النسبة من إجمالي الحائزين	دلالات الارتباط بالتغيرات المناخية والأمن الغذائي
مختلط (أرض وثروة حيوانية)	%58	ي يمثل النمط السائد، حيث يؤدي أي تدهور في الموارد المائية (جفاف) أو المراعي (تصحر) إلى تأثير مضاعف على الأمن الغذائي والدخل
ثروة حيوانية فقط	%38	يعكس اعتماداً كبيراً على المراعي الطبيعية، مما يزيد من الحساسية تجاه الجفاف والتصحر، ويُشكل ضغطاً متصاعداً على الغطاء النباتي..
أراضٍ زراعية فقط	%4	على الرغم من ضآلة النسبة، فإن هذا القطاع يعتمد بشكل مباشر على توفر المياه، مما يستدعي تدخلاً عاجلاً لتعزيز كفاءة الري والزراعة المستدامة.
المصدر	الجهاز المركزي للإحصاء.: التعداد الزراعي 2002 – محافظة المهرة – بيانات غير منشورة. صنعاء.	

أما فيما يخص استدامة الثروة الحيوانية وقدرتها على التكيف، فتظهر البيانات هيمنة تربية الماعز بنسبة (54%)، مما يجعلها محوراً للقدرة التكيفية من ناحية، ومصدراً للتحديات البيئية من ناحية أخرى:

– **قدرة تكيفية عالية:** تُظهر تربية الماعز مرونة ملحوظة في مواجهة الظروف المناخية القاسية، مع قدرة على الرعي في المناطق المرتفعة والنجاة في فترات الجفاف، مما يقلل من معدلات النفوق مقارنة بالضأن (28%) والإبل (6%).(التعداد الزراعي، 2002)

– **مخاطر التصحر:** على الرغم من هذه الميزة، فإن الكثافة العددية للماعز تُسهم في زيادة الضغط على الغطاء النباتي، مما يعزز ظاهرة التصحر، خاصة في ظل تناقص معدلات هطول الأمطار.

وعلى هذا الأساس، يمكن القول إن الاقتصاد المحلي في المديرية يعتمد بشكل أساسي على منظومة متداخلة من الأنشطة الساحلية والزراعية والرعوية، حيث تؤكد نسبة الحيازات المختلطة (85%) على عمق الارتباط بين سبل العيش والموارد الطبيعية المعرضة للمخاطر المناخية، لاسيما الفيضانات والسيول. (التعداد الزراعي، 2002)

3. المنهجية الجيومكانية والهيدرولوجية المتكاملة

اعتمدت الدراسة منهجية تحليلية كمية متكاملة تجمع بين تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) والنمذجة الهيدرولوجية. الهدف من هذا التكامل المنهجي هو تقديم تقييم دقيق للمخاطر وتحديد الأولويات التنموية، خاصة في ظل التغيرات السريعة التي أحدثها إعصار تيج في المنطقة.

ركزت الدراسة جغرافيًا على مركز مدينة حصوين والمناطق السكنية المحيطة، وشملت مساحة تبلغ 231.2 كيلومتر مربع (ما يمثل 23% من إجمالي مساحة المديرية)، نظراً لتركز الأنشطة السكانية والاقتصادية وتأثرها بالبحر العربي.

3-1. بيانات الدراسة والأدوات البرمجية

اعتمدت الدراسة على مجموعة من البيانات الجيومكانية، شملت:

- **بيانات الاستشعار عن بعد(RS)** : تم تحميل ومعالجة صور فضائية عالية الدقة من القمر الصناعي لاندسات 8 (Landsat 8) والقمر الأوروبي سينتينال-2 (Sentinel-2) وقد تم الحصول على مجموعتين زمنيتين من الصور:
  - صور ما قبل إعصار تيج (2 أكتوبر 2023): لتصنيف الاستخدامات الأرضية الأساسية.
  - صور ما بعد إعصار تيج (31 أكتوبر 2023): لتقييم التغيرات وتحديد الأضرار التي لحقت بالبنية التحتية، الأراضي الزراعية، والتجمعات السكانية.
- تصنيف وتحليل استخدامات الأراضي: جرى تطبيق منهجية التصنيف الموجه (Supervised Classification) للصور الفضائية باستخدام برنامج ArcGIS 10.8، بهدف:
  - تحديد المساحات المعرضة للغمر وتقييم الأضرار بدقة كمية .
  - التحقق الميداني (Field Verification): تم إجراء نزول ميداني لأخذ نقاط أرضية (Ground Control Points) لضمان دقة وصحة نتائج التصنيف
- **بيانات الارتفاعات الرقمية (DEM)**: تم استخدام نموذج الارتفاعات الرقمية المستخلص من موقع هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (USGS) لتحديد الخصائص الطبوغرافية والهيدرولوجية.
- **البيانات المطرية**: نظراً لعدم توفر محطات رصد أرضية في المنطقة، تم الاستعانة بالبيانات المناخية التاريخية لأقصى كميات الأمطار السنوية (للفترة من 1958 إلى 2022) والمأخوذة من محطة ناسا الفضائية (NASA power) لتعويض فجوة البيانات وتحليل التكرارية.

استخدمت الدراسة مجموعة من البرامج المتخصصة لإجراء التحليلات اللازمة: ARCMAP$^{10.8}$ لتحليل الصور والتصنيف المكاني، و WMS$^{11.3}$ لاستخلاص الأحواض المائية وتحليل الخصائص الطبوغرافية، و HYFRAN PLUS للتحليل الإحصائي التكراري للمطر، ونموذج HEC-1 لنمذجة التدفق السطحي للسيول.

2-3. منهجية التحليل الهيدرولوجي والنمذجة الرياضية

شملت المنهجية الهيدرولوجية خطوتين رئيسيتين: التحليل الطبوغرافي للأحواض والنمذجة الرياضية لتدفق السيول.

3-2-1. التحليل الطبوغرافي للأحواض:

تم استخلاص الأحواض الرئيسية المؤثرة على مدينة حصوين، وهما وادي قديفوت (2B) ووادي شيحيت (6B)، وتحديد خصائصها المساحية والهندسية (المساحة، طول الحوض، الانحدار) باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمية وبرنامج WMS. يمثل هذا التحليل الخطوة الأولى لتحديد زمن التركيز (Time of Concentration) ومعاملات الجريان السطحي اللازمة لنموذج HEC -1.

3-2-2. التحليل التكراري للمطر : (Rainfall Frequency Analysis)

تم تطبيق نموذج التوزيع الإحصائي **GEV (Generalized Extreme Value)** على البيانات المطرية السنوية القصوى لتحديد العمق المطري التصميمي (Design Rainfall Depth) لفترات تكرارية مختلفة (5، 10، 25، 50، و100 سنة). تعتبر هذه الخطوة حاسمة لتقدير كمية المياه المتوقع هطولها في العواصف المستقبلية.

3-3. نمذجة التدفق السطحي (Runoff Modeling):

تم تطبيق نموذج **HEC-1** باستخدام منحنى توزيع العاصفة التصميمية بطريقة **SCS-TYPE II**، وهي الطريقة الأكثر ملاءمة للبيئات الجافة وشبه الجافة. وقد تطلب هذا تحديد معامل المنحنى الهيدرولوجي (CN) لكل حوض بناءً على تصنيف التربة واستخدامات الأراضي، بالإضافة إلى زمن التركيز، وذلك لتقدير حجم وأقصى تدفق للسيول.

4.نتائج التحليل المكاني لتقييم أثر إعصار تيج

4-1. التغيرات الكمية والكارثية في استخدامات الأراضي بعد الإعصار

تم إجراء تصنيف موجه لاستخدامات الأراضي في منطقة الدراسة (التي تغطي 2.231 كم^2) قبل وبعد إعصار تيج. أظهرت نتائج تحليل التغير (Change Detection) مستويات كارثية من الأضرار والتغيرات الجيومورفولوجية الدائمة في المنطقة، مما يعكس القوة التدميرية الهائلة لإعصار تيج والسيول المصاحبة له.

جدول رقم (2): التوزيع الكمي للتغيرات في استخدامات الأراضي قبل وبعد الإعصار

م	تصنيف الأراضي قبل إعصار تيج 2023/10/23		تصنيف الأراضي بعد إعصار تيج بتاريخ 2023/12/07	س-ص	معدل التغير%
	التصنيف	المساحة هكتار	المساحة هكتار		
1	الأراضي الصحراوية العارية	6728.59	4172	-2556.94	-38
2	الأراضي الزراعية	706.59	476.12	-230.47	-33
3	الأراضي المغطاة بأشجار السبسبان	402.45	379.00	-23.45	-6
4	التجمعات السكانية	606.70	539.51	-67.19	-11
5	المراعي الطبيعية	1332.31	1731.49	399.18	30
6	الوادي	277.05	925.55	648.50	234
	الإجمالي	13825.29	11152.46	-2672.83	-19
المصدر: تصنيف الصورة الفضائية من القمر الصناعي لاندسات8 بتاريخ2023/10/01			المصدر: تصنيف الصورة الفضائية من القمر الصناعي لاندسات8 بتاريخ2023/12/12		

أبرز هذه النتائج هو التوسع الهائل في مساحة مجرى الوادي بنسبة بلغت 234%. هذا التوسع لا يعكس مجرد غمر مائي مؤقت، بل يشير إلى تغيير دائم في شكل القناة وعمليات نحت وترسيب قوية، مما يمثل تهديداً جيومورفولوجياً طويل الأمد. جاء هذا التوسع على حساب المناطق المحيطة، حيث خسرت الأراضي الزراعية ثلث مساحتها (33%)، كما تضررت التجمعات السكانية بنسبة 11% نتيجة التهدم الكلي والجزئي للمنازل.

إن دلالة هذه الخسائر المكانية تتعاظم عند الأخذ في الاعتبار أن حصوين هي المديرية الأعلى كثافة سكانية في المهرة. فتركز السكان والأنشطة الاقتصادية في هذه البقعة الجغرافية الصغيرة يعني أن أي خسارة في الأرض أو البنية التحتية يضاعف الأثر الاجتماعي والاقتصادي مقارنة بالمديريات ذات الكثافة السكانية المنخفضة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

صورة رقم (1): تضرر الابار والمنازل نتيجة الاعصار تيج

4-2. تحليل الأثر على الأمن الغذائي وسبل العيش

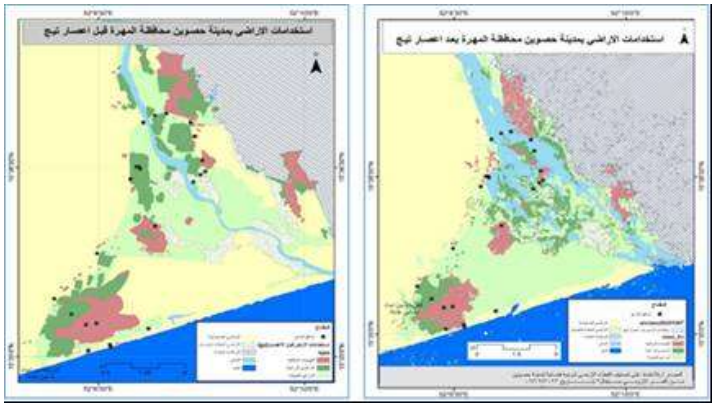
تسببت الفيضانات في انجراف واسع للتربة الزراعية وتصحرها، مما أدى إلى فقدان 33% من الأراضي المنتجة. هذا الفقد يهدد بشكل مباشر سبل عيش المجتمعات التي تعتمد على الزراعة، كما تضررت الآبار ومصادر المياه الجوفية نتيجة للغمر بالسيول. بالإضافة إلى ذلك، فإن الظواهر الجوية المتطرفة تؤثر سلباً على الثروة الحيوانية والنحل، التي تمثل المصدر الاقتصادي الأكبر لمعظم الحائزين الزراعيين.

4-3. التهديدات البيئية الطارئة: انتشار السيسبان (Prosopis juliflora)

شهدت المناطق المتأثرة بالإعصار تحولاً بيئياً ملحوظاً، حيث أدت وفرة المياه السطحية الناتجة عن الفيضانات إلى انتعاش الغطاء النباتي وزيادة مساحة المراعي الطبيعية بنسبة 30٪. وقد أسهمت هذه الطفرة النباتية في تحسين المشهد البيئي، حيث اكتست الكثبان الرملية بالحشائش والنباتات الطبيعية، مما شكل قفزة إيجابية في المدى القصير من حيث تحسين المراعي وزيادة المساحات الخضراء.

غير أن هذا التحسن البيئي حمل في طياته تحديات جديدة، تمثلت في الانتشار السريع وغير المنضبط لشجرة السيسبان (Prosopis juliflora) التي تعتبر من الأنواع النباتية الغير مرغوبة. ورغم وجود بعض الاستخدامات لهذه الشجرة كمرعى للنحل والأغنام، إلا أن آثارها السلبية تتجاوز بكثير هذه المنافع المحدودة. حيث تعمل هذه الأشجار على عرقلة المجاري الطبيعية للأودية وتسبب انسدادها، مما يزيد من مخاطر الفيضانات في المستقبل.

وتتعقد المشكلة بسبب الطبيعة المزدوجة للتحدي الذي تشكله هذه الشجرة، فهي من ناحية تستنزف كميات هائلة من المياه الجوفية، ومن ناحية أخرى تنافس النباتات المحلية على المواقع البيئية والموارد المائية. هذا الوضع يخلق تحدياً بيئياً وهيدرولوجياً متشابكاً، حيث تسهم الشجرة في تفاقم مشكلة ندرة المياه من جهة، وتزيد من حدة المخاطر الفيضانية من جهة أخرى.



خريطة رقم (4): التغيرات في استخدامات الأراضي قبل وبعد الإعصار

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

لذا يتطلب الموقف تبني استراتيجية إدارة متكاملة تراعي التوازن بين استدامة المراعي والحفاظ على البيئة. ويمكن أن تشمل هذه الاستراتيجية برامج مراقبة مستمرة لتطور الغطاء النباتي، وأساليب المكافحة المستهدفة للأنواع الغير مرغوبة، واعتماد تقنيات حصاد مائي لتعزيز المخزون المائي، مما يضمن تحقيق توازن بيئي مستدام يحافظ على المكاسب التي تحققت مع معالجة التحديات الناشئة.

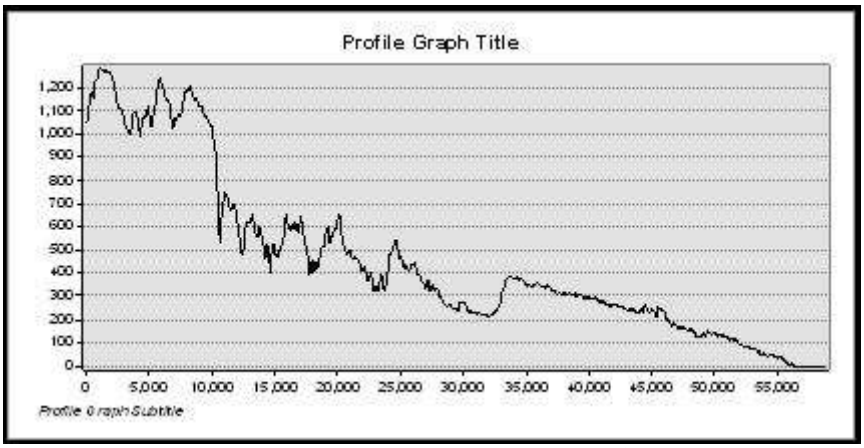
صورة رقم (2): اكتساء الكثبان الرملية بالنباتات الطبيعية مراعي للنحل والاغنام بعد إعصار تيج

صورة رقم (3): انجراف التربة الزراعية وتصحررها نتيجة الاعصار تيج

5. التحليل الطوبوغرافي لأحواض التصريف الرئيسية

تُبرز نتائج التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف في مدينة حصوين مخاطر فيضانية حرجة، حيث يتسبب عدم الانتظام الزماني والمكاني لهطول الأمطار في سيول مفاجئة وعنيفة تلحق أضراراً جسيمة بالبنى التحتية. وتتفاقم هذه المخاطر نتيجة الخصائص الطوبوغرافية المتميزة بشدة التضرس وكبر الانحدارات، والتي تعمل على تسريع الجريان السطحي وزيادة قدرة المياه على جرف الرواسب، مما يضاعف من قوة التدمير. ويظهر التباين الطوبوغرافي الحاد في انتقال الأحواض من سهول منبسطة جنوب شرقاً إلى مناطق جبلية وعرة شمالاً وغرباً، مع انحدار عام يتجه نحو الجنوب الشرقي حيث يصل الارتفاع إلى 1508 أمتار في الشمال الغربي وينخفض إلى مستوى سطح البحر عند المصب. وقد استخدمت النمذجة الهيدرولوجية المتقدمة لتحديد ذروة التدفق تحت سيناريوهات مختلفة، مع التركيز على عاصمة تصميمية لفترة العودة 100 عام كأساس للتخطيط الاستراتيجي واتخاذ القرارات.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



شكل رقم (1) قطاع تضاريسي حصوين

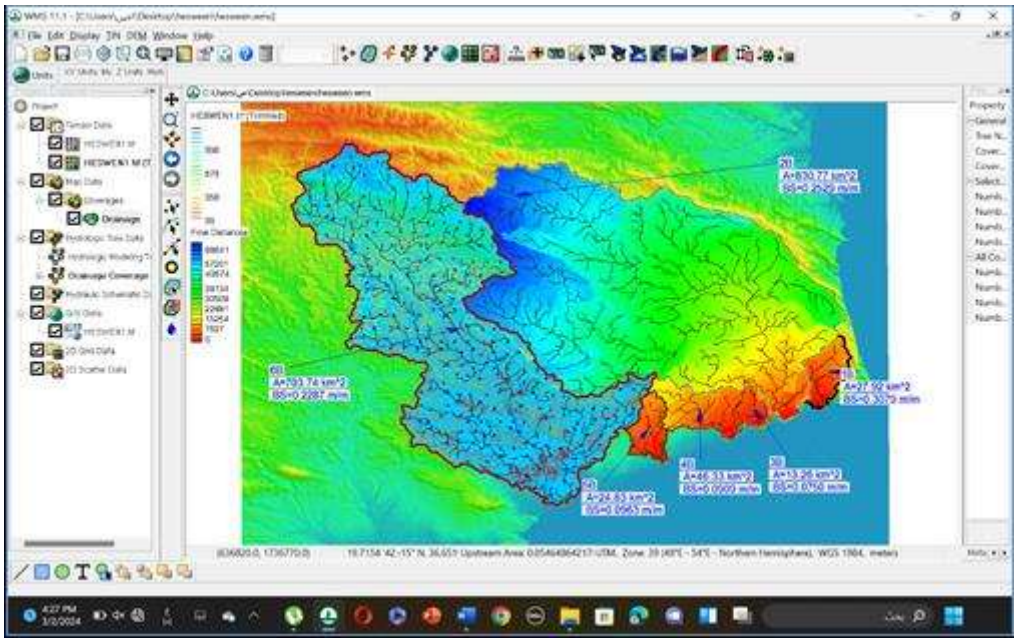
1-5. الخصائص المساحية لأحواض التصريف الرئيسية

يُعَدُّ التحليل المساحي للأحواض المائية أساساً لفهم ديناميكيات السيول، حيث يهدف إلى تحديد الخصائص المورفومترية للأحواض الفرعية والرئيسية وشبكة التصريف. يشمل هذا التحليل دراسة الأبعاد المساحية الأساسية كالمساحة الكلية، والمحيط، والطول الحقيقي والمثالي للمجاري، إلى جانب تحليل العلاقات بين الخصائص الجيولوجية والتكتونية والمناخية السائدة وتأثيرها على تشكيل شبكة الصرف. وتوفر هذه المعطيات – كما هي موضحة في جدول (4) – إطاراً كمياً داعماً لتحليل السلوك الهيدرولوجي وتقدير مخاطر الجريان السطحي.

كشف التحليل الهيدرومورفولوجي عن هيمنة واديين رئيسيين يشكلان الخطر الأكبر على مدينة حصوين، وهما وادي قديفوت (الحوض B2) الذي تبلغ مساحته 830.8 كم2، ووادي شيحيت (الحوض B6) بمساحة 703.7 كم2 . وتكمن الخطورة الهيدرولوجية لهذه الأحواض في طبيعتها الطبوغرافية، حيث تتميز أجزاؤها الشمالية والجبلية بانحدارات حادة وعالية، مما يمنحها قدرة عالية على تسريع حركة الجريان السطحي وجمع كميات هائلة من مياه الأمطار في وقت قياسي.

هذه الخصائص المورفومترية تحول الأحواض إلى قنوات طبيعية فائقة الكفاءة لنقل المياه والرواسب من المرتفعات الجبلية نحو السهول الساحلية المنخفضة، حيث تتركز الكتلة السكانية والبنية التحتية لمدينة حصوين. وبالتالي، فإن أي حدث مطري شديد، ولو كان محدوداً في الزمن، يمكن أن يولد فيضانات مفاجئة وعنيفة تهدد المناطق المأهولة بالسكان والمرافق الحيوية في المدينة، مما يستدعي تطوير أنظمة إنذار مبكر متطورة وتنفيذ حلول هندسية لتخفيف حدة هذه المخاطر.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



شكل رقم (2): احتساب الخصائص المساحية لأحواض التصريف الرئيسية بمدينة حصوين

جدول رقم (3) : يوضح الخصائص المساحية لأحواض منطقة حصوين

م	رقم الحوض	الاسم	مساحة الحوض كم^2	محيط الحوض متر	طول الحوض متر
	BASINNAME		BASINAREA	PERIMETER	BASINLEN
1	1B		27.9	38033.4	8409.8
2	2B	قديفوت	830.8	223065.7	45254.2
3	3B		13.3	24658.7	5601.6
4	4B		46.3	59628.6	11180.0
5	5B		24.8	38321.4	8368.3
6	6B	شيحيت	703.7	255621.9	49536.2

2-5. التحليل التكراري لكميات الأمطار حصوين:

يُمثل التحليل التكراري لكميات الأمطار في منطقة حصوين حجر الأساس لتقييم المخاطر الفيضانية، حيث يُعنى بدراسة التوزيع الاحتمالي للهطول المطري عبر فترات زمنية ممتدة. ونظراً لندرة البيانات المحلية، اعتمدت الدراسة على السجلات التاريخية المقدمة من موقع ناسا للفترة (1958-2022)، والتي تم معالجتها إحصائياً باستخدام التوزيع الاحتمالي GEV. وقد مكن تطبيق هذا النموذج الرياضي عبر برنامج HYFRAN من استنباط كميات الهطول التصميمية لفترات العودة المختلفة (5-100 سنة)، حيث تجسد الجداول (3-6) والشكل (10) القيم المحسوبة لمنحنى عمق الأمطار، مما يوفر قاعدة بيانات معتمدة لتخطيط إجراءات الحماية من الفيضانات.

حيث كشف تطبيق نموذج HEC-1 الهيدرولوجي عن قدرات تصريفية هائلة للأودية الرئيسية المهددة لمدينة حصوين، حيث تم تقدير أقصى تصريف وحجم السيول لكل من وادي قديفوت ووادي شيحيت لفترات تكرار تصميمية متعددة، مع التركيز على فترة العودة 100 سنة كمعيار أساسي لتصميم المنشآت الحيوية.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

جدول رقم (4): البيانات الهيدرولوجية المتحصل عليها من نموذج **HEC**-1 للأزمنة التكرارية المختلفة للأودية الرئيسية (وادي قديفوت ووادي شيحيت)

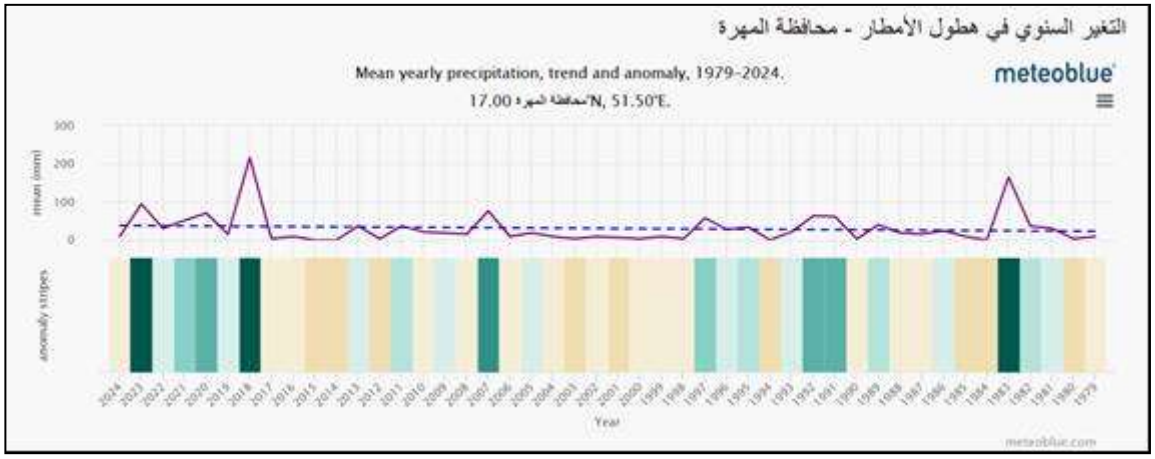
الحوض	الفترة بالسنوات	اقصى تصريف (م3/ث)	زمن الوصول (دقيقة)	حجم السيول(م3)
وادي قديفوت **B2**	5	353.64	1260	17612047.8
	10	680.42	1230	32932389.6
	25	1301.52	1230	61407203.4
	50	1904.14	1230	88898108.4
	100	2667.17	1200	123743304
وادي شيحيت **B6**	5	374.255	1080	14038767
	10	746.77	1050	26650128.6
	25	1466.194	1050	50295367.8
	50	2169.102	1050	73252143
	100	3061.565	1050	102451491
المصدر	من اعداد الباحث بالاعتماد على برنامج النمذجة الهيدرولوجية WMS[11.3]			

جدول رقم (5): كميات الأمطار السنوية القصوى المأخوذة من بيانات ناسا لمنطقة حصوين

م	السنة	الامطار السنوية mm	م	السنة	الامطار السنوية mm	م	السنة	الامطار السنوية mm
1	1958	33.9	26	1983	132.7	51	2008	50.3
2	1959	47	27	1983	33	52	2009	61.5
3	1960	128.1	28	1984	43.2	53	2010	26.6
4	1961	17.6	29	1985	55.4	54	2011	70.4
5	1962	75.5	30	1987	52	55	2012	7.4
6	1963	261.8	31	1988	69.4	56	2013	15.1
7	1964	67	32	1989	97.4	57	2014	25
8	1965	63.2	33	1990	38.4	58	2015	8.9
9	1966	57.1	34	1991	40.4	59	2016	45.7
10	1967	53.3	35	1992	98.4	60	2017	69
11	1968	96.3	36	1993	19	61	2018	52.4
12	1969	113.8	37	1994	25.8	62	2019	40.6
13	1970	42.2	38	1995	65.7	63	2020	172
14	1971	85.1	39	1996	109.7	64	2021	115.3
15	1972	61.5	40	1997	82	65	2022	49.6
16	1973	58.5	41	1998	35.9	القيمة الصغرى Minimum		**7.40**
17	1974	20.1	42	1999	27	القيمة العظمى Maximum		**262**
18	1975	39	43	2000	17.7	القيمة المتوسطة Mean		**63.6**
19	1976	74.5	44	2001	20.2	الانحراف المعياري Standard deviation		**47.0**
20	1977	80.3	45	2002	37	Median		**52.4**
21	1978	59.3	46	2003	23.8			
22	1979	73.9	47	2004	149.9			
23	1980	37.9	48	2005	27.3			
24	1981	45.6	49	2006	26.1			
25	1982	83.1	50	2007	218.5			

تشير نتائج النمذجة إلى مستويات عالية جداً من الخطورة الهيدروليكية. عند فترة التكرار 100 سنة، تصل ذروة تصريف وادي شيحيت إلى 3061.565 متراً مكعباً في الثانية، وهي أعلى من ذروة تصريف وادي قديفوت (17.2667 متراً مكعباً في الثانية). يُظهر هذا أن وادي شيحيت يمثل خطراً هيدروليكياً أكبر من حيث سرعة وشدة التدفق.

أما بالنسبة لزمن الوصول لأقصى تدفق، فقد قُدر بـ 1050 دقيقة لوادي شيحيت، وبـ 1200 دقيقة لوادي قديفوت عند فترة 100 سنة. هذا يعني أن السيول في وادي شيحيت تصل إلى ذروتها بشكل أسرع، مما يقلل من فترة الإنذار المتاحة للمجتمعات القريبة. تؤكد هذه التقديرات أن التدخل الهندسي يجب أن يعتمد على سعة تصميمية لا تقل عن 3061 م^3/ث لضمان حماية المدينة من السيناريوهات القسوة للفيضانات المستقبلية. وبسبب الاعتماد على بيانات مناخية تاريخية غير مباشرة (بيانات ناسا 1958–2022)، يجب اعتبار أقصى تدفق (3061 م^3/ث) هو الحد الأدنى التصميمي المطلوب وليس الحد الأقصى، لضمان مرونة المنشآت الهيدروليكية في مواجهة تسارع التغيرات المناخية.



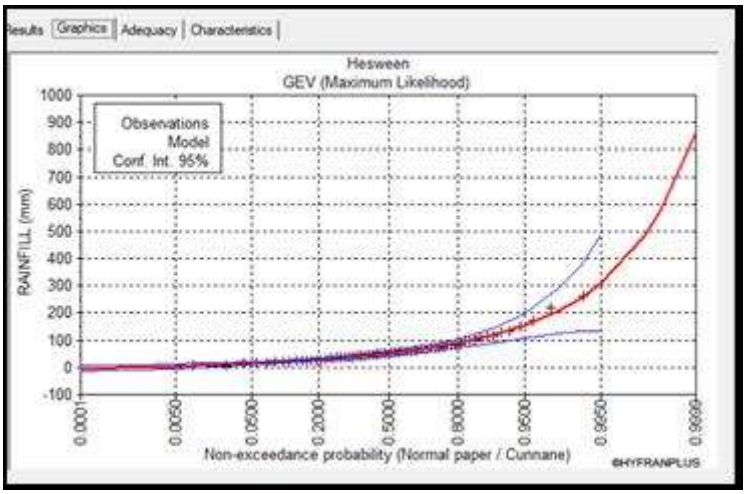
شكل رقم(3):

المصدر: https://www.meteoblue.com/ar/climate-change/%D9%85%D8%AD%D8%A7%D9%81%D8%B8%D8%A9-%D8%A7%D9%84%D9%85%D9%87%D8%B1%D8%A9_%D8%A7%D9%84%D9%8A%D9%85%D9%86_78985

2025/10/18

جدول رقم(6) :التوزيع الإحصائي لنموذج **GEV** العمق المطري عند الأزمنة التكرارية المختلفة مديرية حصوين

عمق المطر التصميمي للأزمنة التكرارية المختلفة(mm)	
السنوات التكرارية (T – سنة)	عمق المطر(mm)
5	88.2
10	118
25	165
50	206
100	255
المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على برنامج النمذجة الهيدرولوجية و HYFRAN PLUS &WMS[11.3]	



شكل رقم (4) : منحنى عمق الأمطار لفترات تكرار مختلفة باستخدام نموذج GEV الرياضي. لمنطقة حصوين

3-5. التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف بمدينة حصوين

اعتمد التحليل الهيدرولوجي لأحواض التصريف في مدينة حصوين على نموذج محاكاة متكامل باستخدام برنامج النمذجة الهيدرولوجية (WMS)، حيث تم استخلاص شبكة الصرف وتحديد حدود الأحواض والروافد الفرعية آلياً بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي. وتم حساب المعاملات الهيدرولوجية الأساسية مثل أطوال وميول المجاري، مع تحديد معامل المنحنى الهيدرولوجي (CN) وفقاً لخصائص التربة واستخدامات الأراضي.

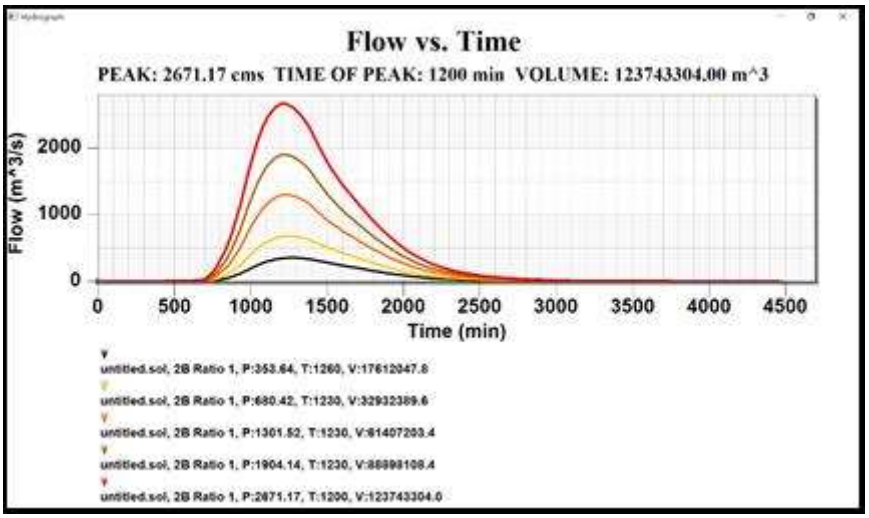
كشف التحليل عن تباين واضح في الخصائص الهيدرولوجية للأحواض، حيث سجل الحوض وادي قديفوت(B2) أعلى قيمة لزمن التركيز (9.7 ساعة) بينما بلغت هذه القيمة 8.2 ساعة للحوض وادي شيحيت(B6) وتراوحت قيم معامل الجريان السطحي (CN) بين 66-67، مما يعكس قدرة متوسطة على الاحتفاظ بالمياه. وقد اعتمد تقييم مخاطر السيول على تحليل العواصف المطرية القصوى، مع تطبيق نموذج HEC-1 لتحديد الهيدروغرافات التصميمية والتصريفات القصوى لفترات العودة المختلفة.

جدول رقم (6): قيم معاملات الأحواض الرئيسية (وادي قديفوت ووادي شيحيت) منطقة حصوين (HEC-1 Inputs)

اسم الحوض	رقم الحوض	أطول مسار في الحوض	أكبر انحدار في الحوض	الطول الأقصى للمجرى	الانحدار الأقصى للمجرى	متوسط طول أقصى تدفق	متوسط انحدار أقصى تدفق	المنحنى الهيدرولوجي للتربة	زمن التأخير	زمن التركيز
BASINNAME	BASIN ID	MFDIST	MFDSLOPE	MSTDIST	MSTSLOPE	CENTDIST	SLCENTOUT	CN	LAGTIME	TC
وادي قديفوت 2B	3	76267.57	0.014	74043.33	0.010	0.00	0.00	67	5.82	9.7
وادي شيحيت 6B	6	70379.62	0.018	68686.64	0.015	68.05	0.00	66	4.92	8.2

المصدر: من اعداد الباحث بالاعتماد على برنامج النمذجة الهيدرولوجية WMS[11.3]

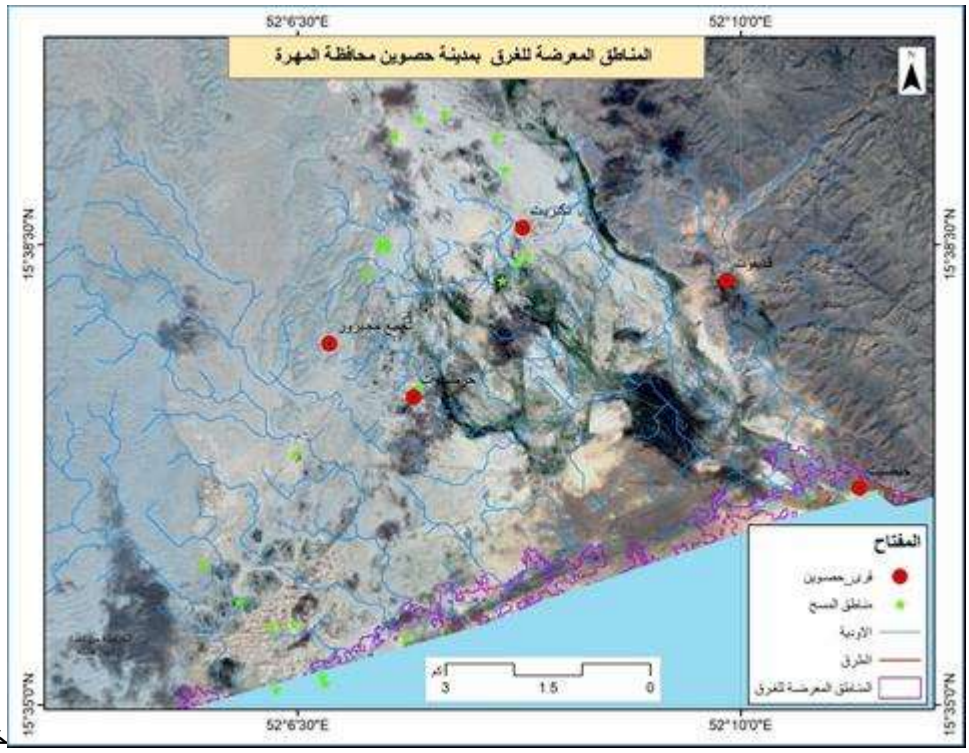
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



شكل رقم(5): هيدروجراف تدفق السيول لحوض وادي قديفوت مدينة حصوين لفترات تكرار زمنية(5، 10، 25، 50 ، 100 سنة)

5-4. خرائط مناطق الغمر وتحديد أولوية التدخل

أسفرت نتائج النمذجة الهيدرولوجية عن خرائط مفصلة للمناطق المعرضة للغمر بالمياه في حالة حدوث فيضانات وأعاصير. يُعد ربط هذه الخرائط بخرائط التجمعات السكانية واستخدامات الأراضي أمراً حيوياً لتحديد المواقع الحرجة التي تتطلب تدخلاً هندسياً فورياً. إن تداخل المناطق السكنية والزراعية مع مسارات الفيضان الحالية (التي توسعت بالفعل بنسبة 234%) يفرض إعادة تقييم كاملة للمخاطر وتحديد أولويات الحماية.



خريطة رقم (5)

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

6. المناقشة: التحديات المزدوجة للأمن المائي والبيئي

6-1. دلالات التغيرات المكانية على التخطيط الحضري والزراعي

إن التوسع الكارثي لمجرى الأودية، وخاصة وادي قديفوت، الذي تضاعف حجمه بأكثر من مرتين ونصف (234%)، يمثل تحدياً جيومورفولوجياً يتجاوز القدرة على مجرد إصلاح الأضرار. هذا التغير الدائم يعني أنه لا يمكن إعادة بناء التجمعات السكانية المتضررة بنسبة 11% أو استعادة الأراضي الزراعية المفقودة بنسبة 33% في مواقعها السابقة ضمن الحيز الموسع الجديد للوادي.

يتطلب ذلك تحولاً في استراتيجيات التكيف من الهندسة الهيدروليكية التقليدية إلى الإدارة الجيومورفولوجية للمخاطر وإعادة التخطيط المكاني الحضري (Urban Resilience). يجب تطبيق مبدأ الشريط الأخضر (Green Belt) أو مناطق عازلة حول مجاري الأودية الجديدة، وتطبيق قوانين بناء صارمة تعتمد على خرائط المخاطر الهيدرولوجية لضمان عدم تكرار البناء في مناطق الغمر. هذه الإجراءات ليست مجرد تدابير دفاعية، بل هي ضرورة لتثبيت القناة (Channel Stabilization) وتصحيح المسار للوادي.

6-2. التهديد المزدوج: الفيضانات والاستنزاف المائي في ظل المناخ القاسي

تواجه مديرية حصوين تحدياً مزدوجاً يتمثل في تكرار الفيضانات المدمرة من جهة، ومشكلة شح الموارد المائية وندرتها من جهة أخرى. الفيضانات لا تدمر فقط البنى التحتية للمياه (مثل الآبار)، بل إن تدفق السيول الغزيرة نحو البحر يمكن أن يزيد من احتمالية التداخل الملحي (Saline Intrusion) في الخزانات الجوفية القريبة من الساحل، مما يهدد الاستدامة المائية طويلة الأمد للمدينة ويزيد من صعوبة الحصول على المياه العذبة. إن استراتيجيات الأمن المائي يجب أن تركز على حصاد مياه الأمطار وتغذية الخزان الجوفي بعيداً عن مسارات الأودية العنيفة.

6-3. التحدي البيئي للسيسبان (Prosopis juliflora): تعارض بين الأمن المائي والأمن الغذائي

تمثل شجرة السيسبان تهديداً بيئياً وهيدرولوجياً بالغاً. فبجانب استنزافها للمياه، فإنها تعيق مجاري المياه الطبيعية، مما يزيد من ارتفاع منسوب السيول واحتمالية غمر المناطق السكنية والزراعية.

في المقابل، يجب مراعاة البعد الاقتصادي: السيسبان يدعم تربية الماعز والنحل، ويمثل جزءاً من قاعدة الموارد الغذائية للثروة الحيوانية التي تعتمد عليها 85% من الحيازات المختلطة. لذا، فإن الحل الأمثل يكمن في الإدارة المتكاملة ((**Integrated Management**. يتطلب الأمر تحويل هذه النبتة الغازية من "عائق بيئي" إلى "محصول مدار" من خلال برامج تستهدف إزالة الشجرة من مجاري الأودية الحرجة، مع الاستفادة الاقتصادية من قرونها وبذورها عبر طحنها وتحويلها إلى أعلاف مركزة للحيوانات. هذا يضمن حماية المجاري المائية (الأمن المائي) ويدعم سبل العيش (الأمن الغذائي).

6-4. ضعف البنية التحتية والتأهب للكوارث

أظهرت الدراسة اعتمادها على البيانات الفضائية (ناسا) لتعويض غياب أنظمة الرصد الأرضية. هذا النقص يؤثر بشكل مباشر على دقة التنبؤات الهيدرولوجية وعلى قدرة المدينة على تطوير نظام إنذار مبكر فعال. إن الفجوة في البيانات المناخية تزيد من حالة عدم اليقين في النمذجة، خاصة في ظل الظواهر المتطرفة. لذا، فإن الاستثمار في نظم الرصد المائي والمناخي الأرضية أمر حيوي لتحسين دقة الإنذار وسرعة الاستجابة لتقليل المخاطر قبل وصول السيول.

7. استراتيجيات التكيف والتنمية المستدامة

تتطلب استجابة حصوين للتغيرات المناخية استراتيجيات متكاملة تركز على حماية البنية التحتية ودعم القطاعات الاقتصادية المتأثرة.

7-1. استراتيجيات حماية البنية التحتية وتصحيح المسار الهيدرولوجي

تتطلب الحماية الهيدروليكية الالتزام بالتدفقات التصميمية العالية (3061 م^3/ث) لضمان الفعالية. تتمثل الأولوية في إعادة تصحيح وتثبيت مسار وادي قديفوت الذي يمر عبر المدينة من خلال:

- إنشاء حمايات قوية باستخدام الجابيونات والأحجار والأسمنت في المناطق الحرجة لحماية البنية التحتية والمدينة.
- تنفيذ حملة واسعة لإزالة أشجار السيسبان المتوطنة في المجاري المائية الرئيسية لضمان انسياب المياه، مع توظيف آليات الأشغال كثيفة العمالة لربط هذه المشاريع الإغاثية بالدعم الاقتصادي للمجتمعات المحلية.

7-2. التكيف في القطاع الزراعي: تعزيز الأمن الغذائي والمائي

للتكيف مع شح الموارد المائية وتقليل الخسائر المستقبلية، يجب دعم التحول في القطاع الزراعي نحو الاستدامة:

- كفاءة استخدام المياه: تبني برامج دعم شبكات الري الحديث، مثل الري بالتنقيط، واستخدام الطاقة البديلة (منظومات الطاقة الشمسية والرياح) لتقليل تكاليف التشغيل والضغط على المياه الجوفية.
- حماية الأراضي: الحد من تدهور الأراضي والتصحر عبر إقامة الدفاعات والحواجز التقليدية (القيود والضمر) التي تخفف من حدة الجريان السطحي وتقلل من تأثير الفيضانات على التربة.

7-3. الإدارة المتكاملة للثروة الحيوانية وإدارة شجرة السيسبان

يجب تبني مقاربة شاملة لإدارة شجرة السيسبان لضمان الأمن المائي والغذائي معاً. بدلاً من الإزالة المطلقة، يُقترح:

- تنفيذ مشاريع صغيرة ومدرة للدخل تهدف إلى جمع بذور وقرون السيسبان وطحنها لإنتاج أعلاف حيوانية مركزة. هذا يضمن توفير مصدر غذائي للثروة الحيوانية (التي تمثل جزءاً كبيراً من الحيازات)، ويسيطر على انتشار الشجرة في مجاري الأودية.
- دعم برامج الصحة الحيوانية والتغذية وحماية المراعي الطبيعية لتحسين إنتاجية القطاع الحيواني.

7-4. الحاجة لإعادة التخطيط المكاني المبني على المخاطر

من الضروري تطوير مخططات حضرية وريفية جديدة لمديرية حصوين، حيث يجب أن تعتمد هذه المخططات بشكل أساسي على خرائط المخاطر الهيدرولوجية المستخلصة من نمذجة HEC-1. هذا يضمن عدم تكرار البناء في مناطق الغمر الموسعة، ويساعد على توجيه الاستثمارات المستقبلية نحو مناطق آمنة، مما يعزز المرونة الحضرية طويلة الأمد.

8. الخلاصة والتوصيات المستقبلية

- أثبتت الدراسة أن إعصار تيج كان ظاهرة متطرفة لم تقتصر آثارها على تدمير البنية التحتية، بل أدت إلى تغيرات جيومورفولوجية كارثية ودائمة في المنطقة، حيث توسع مجرى الوادي بنسبة 234%، مما أدى إلى فقدان 33% من الأراضي الزراعية و 11% من التجمعات السكانية في المديرية ذات الكثافة السكانية العالية.
- أكد التحليل الهيدرولوجي المتقدم، باستخدام تقنيات GIS/RS ونموذج HEC-1، على الحاجة الماسة لمنشآت حماية ذات سعة تصميمية عالية، حيث بلغت أقصى تدفقات السيول 3061.565 متراً مكعباً في الثانية لفترة تكرار 100

سنة. كما بينت الدراسة أن التحديات البيئية، مثل انتشار شجرة السيسبان، تتطلب حلول إدارة متكاملة تربط بين الحماية الهيدرولوجية ودعم سبل العيش المستدامة.

- يوصى بإجراء دراسات هيدروجيولوجية وجيومورفولوجية معمقة للأحواض المائية لتقييم المخزون الجوفي وتحديد المواقع المثلى لبناء منشآت التغذية الاصطناعية والحواجز الركامية اللازمة لحصاد المياه، بما يضمن الاستفادة القصوى من مياه السيول الكاسحة وتأمين الموارد المائية للأجيال القادمة.
- الرصد والتخطيط: دعم إنشاء محطات رصد أرضية متكاملة في محافظة المهرة لتحسين دقة البيانات المناخية والهيدرولوجية. يجب استخدام خرائط المخاطر الهيدرولوجية المستخلصة كمرجعية قانونية وإلزامية لعمليات إعادة الإعمار والتخطيط الحضري الجديد لمنع البناء في مناطق الغمر المستقبلية.

المراجع

1. **الجهاز المركزي للإحصاء (اليمن).** (2004). *النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والمساكن والمنشآت 2004م*. (صنعاء، اليمن).
2. **الجهاز المركزي للإحصاء (اليمن).** (2006). *التعداد العام للسكان و المساكن و المنشآت 2004 - محافظة المهرة* [بيانات غير منشورة]. صنعاء، اليمن.
3. **الجعفري، غ. ع. ع. ع. ا. ب. ع.** (2025). مستوى تأثير الحالة المدارية (إعصار تيج) لدى سكان محافظة المهرة. *مجلة جامعة المهرة للعلوم الإنسانية، 6*(S1), 386–405. https://doi.org/10.71311/.v6iS1.189
4. **حسن، أ. ع. م.** (2019). *التباين المكاني لمؤشرات الحرمان البشري في محافظة المهرة - الجمهورية اليمنية*. تم الاسترداد من https://www.academia.edu/43024492/
5. **حكومة محافظة المهرة.** (n.d.). *[معلومات تفصيلية عن المدينة/المحافظة]*. تم الاسترداد من https://almahrahgov.com/detail_city/23/
6. **الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ (IPCC).** (n.d.). *تقارير التقييم*. تم الاسترداد من https://www.ipcc.ch/languages-2/arabic/publications-arabic/
7. **لاكنر، هـ.** (2021). *تغير المناخ والصراع في حضرموت والمهرة*. مؤسسة بيرغهوف. تم الاسترداد من https://berghof-foundation.org/library/climate-change-and-conflict-in-hadhramawt-and-al-mahra-ar
8. **المركز الوطني للمعلومات (اليمن).** (n.d.). *توزيع السكان حسب التقسيمات الإدارية*. تم الاسترداد من https://yemen-nic.info/sectors/popul/
9. **المركز الوطني للمعلومات (اليمن).** (n.d.). *اليمن: أرقام وحقائق*.
10. **المركز الوطني للمعلومات (اليمن).** (n.d.). *نبذة عن محافظة المهرة* [ملف PDF]. تم الاسترداد من http://www.yemen-nic.info/contents/Brief/mahrah.pdf
11. **[الجهة المُنظمة].** (n.d.). *الظروف المناخية المتطرفة في اليمن ودور...* تم الاسترداد من https://yemenlg.org/ar/resources/
12. **[اسم المؤلف/الجهة].** (n.d.). *Extreme Weather and the Role of Early Warning Systems in Yemen: Al-Mahra as a Case Study*. Sana'a Center for Strategic Studies.
13. **[اسم المؤلف/الجهة].** (n.d.). *The Need for Climate Change Preparedness in Al-Mahra*. Sana'a Center for Strategic Studies.
14. **[اسم القناة].** (n.d.). *أبين / ناشط مجتمعي وبيئي يبتكر طريقة فعالة للتخلص من نبتة السيسبان الضارة* [فيديو]. يوتيوب. تم الاسترداد من https://www.youtube.com/watch?v=hFGd8CjNK9s
15. **Meteoblue.** (n.d.). *محافظة المهرة، اليمن: التغيرات المناخية*. تم الاسترداد من https://www.meteoblue.com/ar/climate-change/
16. **NASA POWER.** (n.d.). *Prediction of Worldwide Energy Resource (POWER)*. تم الاسترداد من https://power.larc.nasa.gov/
17. **الصندوق الاجتماعي للتنمية (المكلا).** (n.d.). *مشروع تفعيل وتحديد أولويات واحتياجات المجتمع بالمشاركة لمنحة البنك الدولي السابعة وفق آلية برنامج التمكين: تقرير الأعمال الميدانية والمكتبية، التقرير النهائي حصوين*.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

18. **يمن مونيتور.** (n.d.). *"السيسبان" .. شجرة ضارة تهدد التنوع الحيوي في اليمن*. تم الاسترداد من https://www.yemenmonitor.com/Details/ArtMID/908/ArticleID/92849
19. **Copernicus Data Space Ecosystem.** (n.d.). *Browser*. تم الاسترداد من https://dataspace.copernicus.eu/browser/
20. **U.S. Geological Survey.** (n.d.). *EarthExplorer*. تم الاسترداد من https://earthexplorer.usgs.gov/

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تحليل التباين المكاني وكفاءة التوزيع لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا: دراسة في التخطيط المجالي باستخدام نظم المعلومات الجغر افية (GIS)

1. امين عبد القادر حسين هشلة
أستاذ مشارك كلية التربية-المكلا جامعة حضرموت

2. باسل عبد الله مبارك شملان
مدرس كلية التربية-المكلا جامعة حضرموت

الملخص:

تتناول هذه الدراسة تقييم كفاءة التوزيع المكاني لمدارس الثانوية العامة الحكومية في مدينة المكلا، بهدف تحديد مدى عدالة وتوازن هذا التوزيع في ضوء المعايير التخطيطية المثلى. اعتمد البحث على المنهج التحليلي المكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (ArcGIS 10.8)، حيث تم توثيق المواقع القائمة للمدارس وبناء نموذج تطبيقي للملائمة المكانية (Spatial Suitability Model) يعكس المتطلبات الجغرافية والديموغرافية. شمل التحليل تطبيق مقاييس التحليل المكاني، بما في ذلك حساب المركز المتوسط، واتجاه التوزيع (Directional Distribution)، والمسافة المعيارية، واختبار الجار الأقرب (Nearest Neighbor Analysis)، وتحديد نطاق الخدمة.

كشفت النتائج عن وجود تركز ملحوظ وغير متوازن في مواقع المدارس الثانوية، ما يشير إلى عدم كفاءة التوزيع الحالي. كما أظهر تقييم نموذج الملائمة أن المواقع الحالية للمدارس لم تراعِ جميع المعايير التخطيطية المقررة، حيث سجلت تقييماً إجمالياً بدرجة (مقبول). وتوصي الدراسة، في سياق التخطيط المجالي المستقبلي، بضرورة التدخل لتصحيح هذا الخلل، وإعادة النظر في التوزيع بما يضمن العدالة المكانية بين الأحياء السكنية ويحقق مبدأ تكافؤ فرص الوصول للخدمة التعليمية، اعتماداً على مبدأ الموقع الأمثل.

الكلمات المفتاحية: التوزيع المكاني، الملائمة المكانية، التخطيط المجالي، نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، العدالة المكانية، مدينة المكلا.

Analysis of Spatial Disparity and Distribution Efficiency of Governmental Secondary Schools in Al Mukalla City: A Study in Spatial Planning using Geographic Information Systems)GIS).

Abstract

This study evaluates the efficiency of the spatial distribution of governmental public secondary schools in Al Mukalla City, aiming to determine the fairness and balance of this distribution in light of optimal planning criteria. The research adopted a spatial analytical approach using Geographic Information Systems (ArcGIS 10.8). The methodology included documenting the existing school locations and constructing an Applied Spatial Suitability Model that reflects necessary geographical and demographic requirements. The spatial analysis involved applying key metrics, including the calculation of the Mean Center, Directional Distribution, Standard Distance, Nearest .Neighbor Analysis, and service area delineation.

The findings reveal a significant and uneven concentration of secondary school sites, indicating an inefficient distribution pattern. Furthermore, the suitability model assessment demonstrated that current school locations failed to adhere to all established planning criteria, recording an overall rating of (acceptable). In the context of future strategic spatial planning, the study recommends immediate intervention to rectify this disparity. It is crucial to review the current distribution to ensure spatial equity among residential neighborhoods and achieve the principle of equal access to educational .services, based on the optimal location principle.

Keywords: Spatial Distribution, Spatial Suitability, Spatial Planning, Geographic .Information Systems (GIS), Spatial Equity, Al Mukalla City

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

1. المقدمة والإطار النظري:

تُعد خدمة التعليم ركيزة أساسية للتنمية البشرية المستدامة على المستويات الاجتماعية والثقافية كافة. يتطلب الاستثمار الأمثل للمواقع لأغراض الخدمات التعليمية في المدن اختيارًا دقيقًا لمواقع المؤسسات التعليمية(الرواندي،2016)، ما يستلزم دراسة شاملة لكل ما يتعلق بها من مبانٍ، فصول دراسية، أعداد الطلاب، والهيئة التعليمية، وكذلك تحليل نطاق تأثير الخدمة، والمسافة، وزمن الوصول للطلاب. لذا، يُعتبر اختيار مواقع المدارس مهمة جسيمة تقع على عاتق المخططين في عمليات تخطيط الخدمات التعليمية في المدن.

لقد أتاح عصر التكنولوجيا والمعلومات تقنيات جديدة، أبرزها نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، التي تمتلك إمكانيات واسعة في التحليل المكاني واختيار المواقع المُثلى للمؤسسات العامة، وبخاصة الخدمات التعليمية، كما تدعم عملية اتخاذ القرار وإيجاد الحلول المناسبة(عجمي، 2012) وبناءً على ذلك، جاء هذا البحث لتقييم واقع التوزيع المكاني لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا، مع الأخذ في الاعتبار ضرورة تجنيب هذه المدارس المخاطر الطبيعية (كمجاري السيول والمنحدرات) والمخاطر البشرية (كالطرق السريعة ومحطات الوقود وأماكن الازدحام)، التي تؤثر على وظيفة المدرسة. وقد اعتمد البحث على أساليب التحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية، التي تُعد أداة أساسية في التخطيط لتحديد درجة ملاءمة المواقع الحالية والمقترحة.

1-1. إشكالية الدراسة

تبرز إشكالية الدراسة في التباين الملحوظ بين التوزيع المكاني القائم للخدمات التعليمية في مدينة المكلا والضرورات التخطيطية، ويُعزى هذا التباين إلى تسارع وتيرة النمو السكاني والامتداد العمراني غير المُنظَّم، بالإضافة إلى القصور في تطبيق معايير التخطيط المكاني للخدمات التعليمية، وتحديداً ما يتعلق بتوفير شروط السلامة الأساسية لطلاب هذه المدارس. وعليه، يسعى هذا البحث إلى تقييم واقع التوزيع المكاني للمدارس الثانوية الحكومية، وتحديد درجة ملاءمة مواقعها الحالية، واقتراح البدائل التخطيطية المُثلى التي تتفق مع المعايير المعتمدة في الجمهورية اليمنية. لتفكيك الإشكالية المذكورة، يسعى البحث للإجابة عن التساؤلات المحورية الآتية:

1. ما هو نمط التوزيع المكاني القائم لمواقع المدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا؟
2. هل المواقع القائمة للمدارس في مدينة المكلا تستوفي الشروط الأساسية للمواقع المُثلى التخطيطية والبيئية؟
3. هل يمكن تحديد البدائل الجيدة والمواقع الأنسب للمدارس غير الملائمة في مدينة المكلا باستخدام نُظُم المعلومات الجغرافية (GIS)، وبما يتوافق مع معايير الموقع الأمثل؟

1-2. أهمية البحث

ينبع الزخم العلمي والمجتمعي لهذا البحث من تناوله المباشر لقطاع التعليم الثانوي الحكومي، الذي يُعد عنصراً محورياً يلامس حياة المجتمع في مدينة المكلا ويخص فئة الطلاب التي تمثل نواة المستقبل ووقود التنمية.

1-3. أهمية البحث

تتجلى أهمية البحث في الآتي:

- **الدور المجتمعي:** يخدم البحث شريحة حيوية، هي الطلاب، من خلال تقييم ظروفهم التعليمية والمكانية لضمان السلامة والكفاءة التعليمية.
- **القيمة التطبيقية:** يوفر البحث إطاراً منهجياً وتطبيقياً للمخططين وصناع القرار في مدينة المكلا، باستخدام تقنيات حديثة لترشيد عملية التخطيط العمراني والخدمي.

- **المنهجية الحديثة:** يعتمد على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) كأداة تحليل متقدمة، مما يرفع من دقة وفاعلية نتائج التقييم واقتراح الحلول المكانية

1-4. أهداف البحث

يسعى البحث إلى تحقيق أربعة أهداف رئيسية مترابطة:

- بناء قاعدة بيانات مكانية: استخدام نظم المعلومات الجغرافية لإنشاء قاعدة بيانات متكاملة لمواقع مدارس التعليم الثانوي الحكومي في مدينة المكلا.
- تقييم وتحليل التوزيع: إظهار التوزيع المكاني الحالي لمدارس الثانوية الحكومية وتحليل مدى تسببه في مخاطر محتملة على سلامة الطلاب.
- تطوير نموذج ملاءمة: بناء نموذج مكاني لتحديد المواقع التي تتوافق مع المعايير التخطيطية والبيئية اللازمة لإنشاء مدارس ثانوية في المكلا.
- تصميم خريطة مقترحة: إنتاج خريطة تخطيطية تفصيلية تحدد أفضل المواقع المقترحة والملائمة لإنشاء مدارس جديدة أو نقل المدارس القائمة غير الملائمة.

1-5. منهجية البحث وإجراءاته

اعتمد البحث على منهجية مزدوجة لتقييم المواقع الحالية لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا وتحديد مدى ملاءمتها للشروط التخطيطية.

أولاً: المناهج البحثية المعتمدة

استند البحث إلى دمج نوعين من المناهج العلمية:

1. **المنهج الوصفي (Descriptive Approach):** استُخدم لعرض المحاور النظرية، ووصف طبيعة منطقة الدراسة، والواقع الحالي للتوزيع المكاني لمدارس الثانوية الحكومية.
2. **المنهج التحليلي التطبيقي (Analytical-Applied Approach):** ركز على الجانب العملي، وشمل التحليل المكاني للمعايير اللازمة لاختيار المواقع المُثلى للمدارس، وكشف المواقع الحالية غير الملائمة للشروط التخطيطية (الخزامي،2207)

ثانياً: الأسلوب التطبيقي (نظم المعلومات الجغرافية GIS)

اعتمد البحث على الأسلوب التطبيقي العلمي التقني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في معظم المراحل، وتطلب ذلك المرور بعدة خطوات إجرائية:

1. تحديد المعايير وبناء النموذج

- **المرجعية:** اعتمدت هذه الخطوة على قرار وزارة التربية والتعليم رقم (88) لسنة 2004م بشأن تحديد الأسس والمعايير التربوية للخارطة المدرسية.
- **الإضافة:** أُضيفت معايير حيوية أُغفلت في القرار الرسمي، لكنها تؤثر مباشرة في وظيفة المدرسة وسلامة الطلاب، مثل قُرب المدارس من محطات الوقود وخط الساحل.
- **النمذجة:** تم تحديد وزن كل معيار ودرجة خطورته، ثم خضعت جميع المعايير للنمذجة الخرائطية في نظم المعلومات الجغرافية، وتحويلها إلى خرائط رقمية لإجراء التحليلات اللازمة لكشف أفضل المواقع.

2. جمع البيانات وبناء قاعدة GIS

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- **مصادر البيانات:** تنوعت مصادر البيانات بين العمل الميداني، والخرائط، المرئيات الفضائية، والإحصائيات الرسمية، إضافة إلى المراجع العلمية المتخصصة.
- **البرمجيات:** استُخدمت تطبيقات متخصصة لمعالجة وتحليل البيانات، وهي: ARCGIS 10.8 و Global Mapper 18.

3. تحليل البيانات وأدو اته

لتحقيق أهداف البحث، اعتُمد على مجموعة من أساليب التحليل المكاني والإحصائي التي توفرها نظم المعلومات الجغرافية، وأهمها:

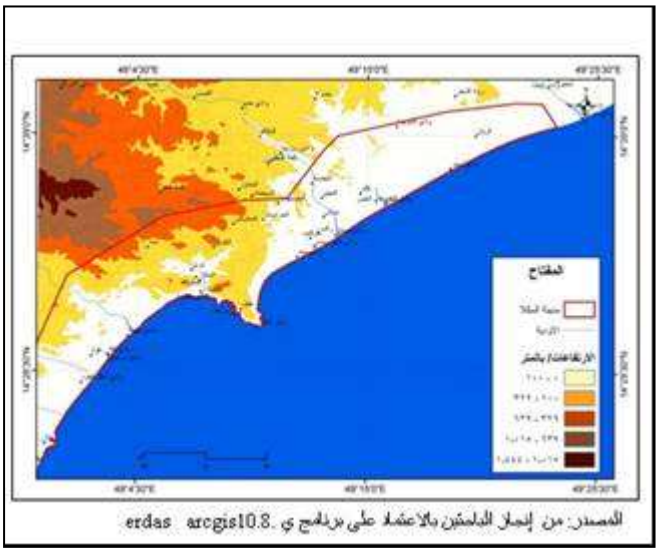
- **وظائف التحليل المكاني**

- وظيفة صنع الحدود (Buffers)
- إعادة التصنيف (Reclassify)
- وظيفة الجار الأقرب (Nearest Neighbor)
- عملية الجمع الموزون (Raster Calculator)
- وظيفة المركز المتوسط (Mean Center)
- إيجاد المسافة المستقيمة (Euclidean Distance)
- الظاهرة المركزية (Central Feature)
- اتجاه التوزيع (Directional Distribution)
- المسافة المعيارية (Standard Distance)

1-6. التعريف بمطقة الدراسة

1-6-1. الموقع والأهمية الاستراتيجية

تُعد مدينة المكلا عاصمة محافظة حضرموت الإدارية، وإحدى أهم مدن الجمهورية اليمنية، حيث تقع فلكياً بين دائرتي عرض (14.20 - 14.45) شمالاً وخطَّي طول (48.50 – 49.40) شرقاً. وتتميز بموقعها الاستراتيجي الحيوي على ساحل خليج عدن، ما جعلها نقطة اتصال محورية بين أجزاء المحافظة والمحافظات المجاورة والعالم الخارجي عبر مينائها ومطارها، وهو ما أسهم في تنوع أنشطتها الاقتصادية وازدهارها العمراني. كما تحدها من الشرق غيل باوزير، ومن الغرب بروم ميفع، ومن الشمال أرياف المكلا، ومن الجنوب خليج عدن، وتبلغ مساحتها (92.81 كم^2).(البار،2006)



خريطة رقم (2) الارتفاعات الرقمية ومظاهر السطح لمدينة المكلا

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

تُشكّل تضاريس مدينة المكلا المتنوعة، الممتدة على ساحل يبلغ طوله 65 كم، الإطار الطبيعي الحاكم لنمط النمو العمراني فيها. فقد نمت الأحياء القديمة على السهل الساحلي الضيق بشكل شريطي، بينما تطورت الأحياء الحديثة، مثل الديس والشرج، ككتل متفرقة ثم التحمت لاحقاً مشكّلة أشرطة عمرانية على امتداد المجاري المائية الرئيسية، ما استدعى ظهور ضواحٍ جديدة في الثمانينيات نتيجة ضيق المساحة.

ويمكن تقسيم الطبوغرافيا المدينة إلى ثلاث وحدات رئيسية: السهل الساحلي الضيق الذي يتراوح اتساعه بين 50 متراً و5 كيلومترات، والمحفوف بالمرتفعات الجبلية التي تصل إلى 402 متر في جبل القارة، والأودية الموسمية التي تقطع السهل والمرتفعات على حدٍ سواء، مثل وادي العيقة وبويش، محددةً بذلك شكل المدينة واتساعها.(الجوهي،1998)

يتميز مناخ مدينة المكلا بكونه شبه استوائي، حاراً صيفاً ومعتدلاً شتاءً، مع ارتفاع ملحوظ في معدلات الرطوبة النسبية التي تتراوح بين 70-85%. وتهيمن الرياح الجنوبية الشرقية على معظم أشهر السنة، حيث تبلغ سرعتها السنوية المتوسطة 2.5 م/ث، وتشتد خلال الموسم الصيفي (مايو-سبتمبر) لتصل إلى 20-30 م/ث.(يوسف،2000)

اعتمدت المدينة تقليدياً على الينابيع (كمعيان البقرين وسقم) التي جف معظمها، ما استدعى التحول إلى المياه الجوفية عبر حفر حقول آبار متعددة مثل وادي ثلة والخربة لمواجهة الشح المائي، نظراً لمعدل هطول أمطار لا يتجاوز 30.2 ملم سنوياً.(الشمعلي،2013)

1-2-6. الخصائص الديمغرافية للسكان وتطورهم في مدينة المُكَلَّا

تُعدّ الدراسة الديمغرافية للسكان، من حيث نموهم وتركيبهم وخصائصهم، محورًا أساسيًا في الجغرافيا، وخاصة في مجال جغرافية الخدمات. توجد علاقة تبادلية بين المتغيرات السكانية والطلب على الخدمات، أبرزها الخدمات التعليمية. على سبيل المثال، يُمثّل التركيب العمري متغيرًا سكانيًا محوريًا يُحدد نوعية الخدمات التعليمية المطلوبة وتكرار الحاجة إليها.

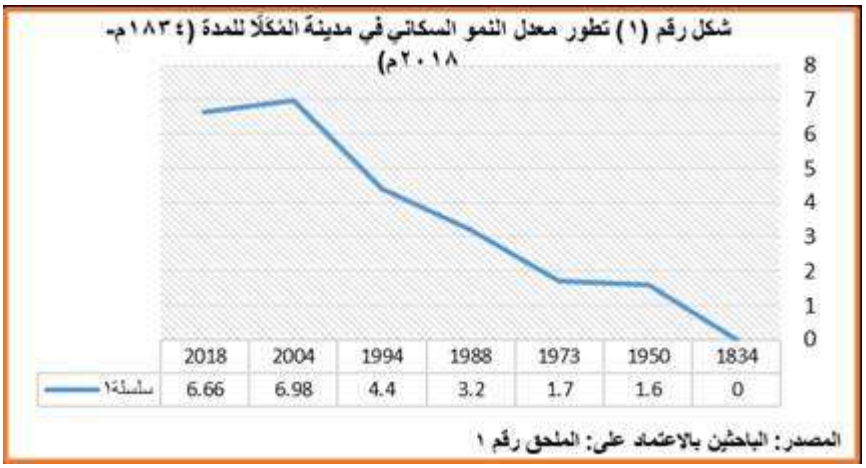
- **تطور السكان ومعدل النمو في مدينة المُكَلَّا**

شهدت مدينة المُكَلَّا نموًا سكانيًا ملحوظًا وتضاعفًا كبيرًا في عدد سكانها على مدى قرنين من الزمن.

- **الزيادة العددية**: ارتفع عدد سكان المدينة من 4500 نسمة في عام 1834م إلى 184,635 نسمة في تعداد عام 2004م. تُمثل هذه الزيادة المطلقة 180,135 نسمة، ما يعني أن عدد السكان تضاعف حوالي 39 مرة عما كان عليه في عام 1834م.
- **معدل النمو السنوي**: سجل معدل النمو السنوي لسكان مدينة المُكَلَّا قيمًا إيجابية في جميع التعدادات، متخذًا منحنى صاعدًا:
  - بدأ منخفضًا، فبلغ **1.6%** عام 1950م، ثم انخفض قليلاً إلى **1.7%** عام 1973م.
  - شهد ارتفاعًا ملحوظًا بعد ذلك، حيث وصل إلى **3.2%** سنة 1988م، وارتفع مجددًا إلى **4.4%** سنة 1994م.
  - وصل إلى أعلى قيمة مسجلة له وهي **6.4%** في آخر تعداد عام 2004م.
  - تُشير التقديرات إلى استمرار هذا الارتفاع، حيث من المتوقع أن يبلغ معدل النمو في المدينة **6.66%**.

يُعزى هذا الارتفاع المتسارع في النمو السكاني بشكل أساسي إلى الهجرة الوافدة إلى المدينة من المديريات والمحافظات الأخرى، بالإضافة إلى الزيادة الطبيعية (المواليد).

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

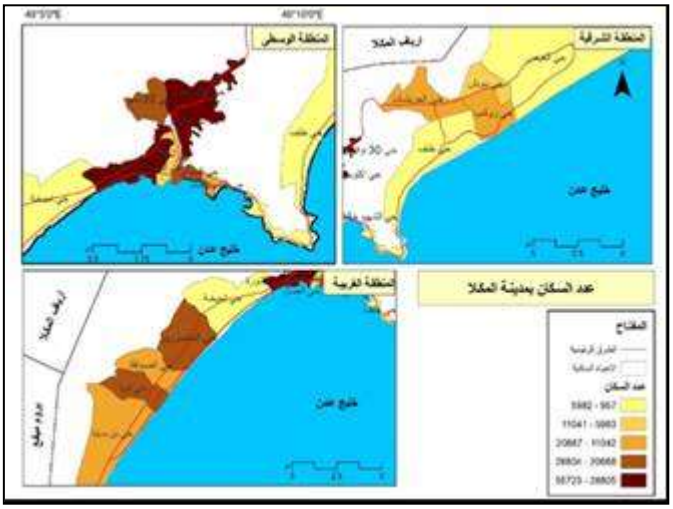


- **التوزيع الجغرافي والكثافة السكانية في مدينة المُكَلَّا**

تتوزع الكُتلة السكانية لمدينة المُكَلَّا عبر ثلاث تجمعات سكانية رئيسية تتميز بتفاوت واضح في الحجم، مما يعكس تباينًا في الكثافة والاستيطان داخل نطاق المدينة.

1. **المنطقة الوسطى (المركز):**

تُمثل هذه المنطقة النواة السكانية الأكبر والأكثر كثافة، حيث تستحوذ على الغالبية العظمى من سكان المدينة بنسبة تُقدر بنحو 67.4% (306,823 نسمة). تشمل هذه المنطقة تسعة أحياء رئيسية تتألف من مناطق المُكَلَّا القديمة، الديس، والشرج.



خريطة رقم (3) توزيع السكان في مدينة المكلا لعام 2018م

من عمل الباحثين بالاعتماد على ملحق رقم (2)

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

2. **المنطقة الغربية:**

تأتي في المرتبة الثانية من حيث الحجم السكاني، إذ يبلغ عدد سكانها 88,494 نسمة، وهو ما يُعادل 19.4% من إجمالي سكان المدينة. يتركز هذا التجمع في خمسة أحياء: امبيخة، المتضررين، المساكن (الصداقة)، فوَّة القديمة، وابن سينا.

3. **المنطقة الشرقية:**

تُعدّ هذه المنطقة الأقل حجمًا سكانيًا، حيث تضم أحياء بويش، خلف، روكب، العيص، والحرشيات. بلغ عدد سكانها 59,744 نسمة، مشكّلًا نسبة ضئيلة نسبيًا تبلغ 13.2% من جملة سكان مدينة المُكَلَّا.

يُظهر هذا التوزيع تركزًا سكانيًا قويًا في المنطقة الوسطى (التي غالبًا ما تُمثل المنطقة التجارية والخدمية التاريخية)، مقابل توزع أقل كثافة في الأطراف الغربية والشرقية.

- **التركيب الديمغرافي والكثافة السكانية لمدينة المُكَلَّا**

تُعدّ دراسة التركيب النوعي والعمري ركيزة أساسية في التحليل الديمغرافي، إذ تُسهم في فهم ديناميكيات النمو السكاني وتأثيرها على النشاط الاقتصادي والتعليمي وتخطيط الخدمات في المدينة.

1. التركيب النوعي (Gender Structure)

تُظهر تقديرات عام 2018م ارتفاعًا في نسبة الذكور في مدينة المُكَلَّا، حيث بلغت نسبة النوع (Sex Ratio) 111.7 ذكر لكل 100 أنثى. يُعزى هذا الارتفاع في نسبة الذكورة في الغالب إلى أن أغلبية المهاجرين الوافدين إلى المدينة هم من الذكور.

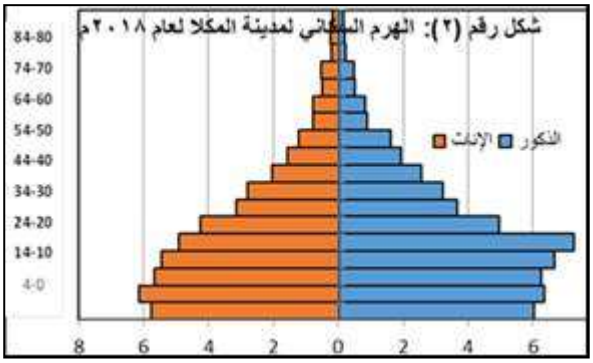
2. التركيب العمري (Age Structure)

يُعد التركيب العمري عاملًا حاسمًا يُؤثر في عناصر سكانية مهمة مثل الخصوبة، الوفيات، الهجرة، والنشاط الاقتصادي. وتُستخدم نتائجه في وضع خطط التنمية للخدمات الأساسية ك (التعليمية، الصحية، والتجنيد، والانتخابات). (عبد الخالق و حسين2007)

تُظهر تقديرات عام 2018م الهيكل العمري لسكان المُكَلَّا موزعًا على النحو التالي:

1. **الفئة الغالبة:** تُشكل فئة قوة العمل (15-64 سنة) النسبة الأكبر من السكان (60.4%)، مما يعكس قاعدة إنتاجية واسعة نسبيًا.
2. **قاعدة عريضة:** تُشير نسبة صغار السن المرتفعة (36.3%) إلى أن المدينة ذات هيكل سكاني فتي وقاعدة عريضة، مما يستلزم ضغطًا مستمرًا على الخدمات التعليمية والصحية الأساسية.
3. **تغيرات طفيفة:** شهدت النسبة المئوية للفئات تغيرات طفيفة جدًا بين عامي 2004م و2018م، حيث انخفضت فئة قوة العمل بقدر طفيف لصالح فئة كبار السن.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



من عمل الباحثين بالاعتماد على، الجهاز المركزي للإحصاء (2006)، النتائج النهائية لتعداد 2004م م/حضرموت، التقرير الأول

- **الكثافة السكانية في مدينة المُكَلَّا**

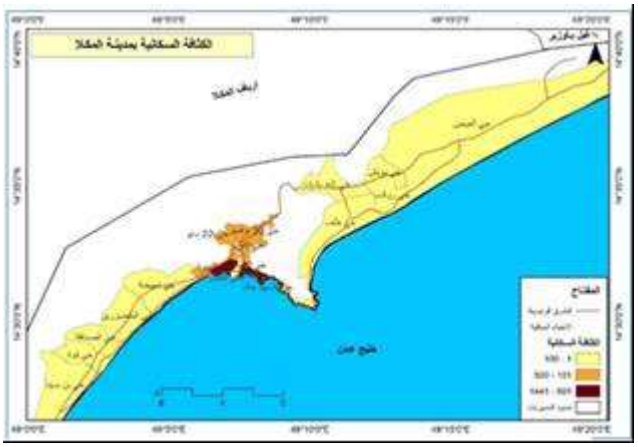
تُحسب الكثافة السكانية بقسمة إجمالي عدد السكان على المساحة الإجمالية.

- **الكثافة العامة:** بناءً على عدد سكان المدينة في عام 2018م البالغ 455,061 نسمة، ومساحتها البالغة 9،281 هكتارًا، بلغت الكثافة السكانية العامة لمدينة المُكَلَّا 49 نسمة/هكتار.

يُلاحظ أن هذه الكثافة تتفاوت بشكل كبير بين أحياء المدينة، مما يُقسم المدينة إلى ثلاث مجموعات من حيث الكثافة، الأمر الذي يستوجب تخطيطًا خدماتيًا مختلفًا لكل مجموعة.

1-6-3. التطور الإداري والتوسع العمراني لمدينة المُكَلَّا

تُعدّ مدينة المُكَلَّا من المراكز الحضرية التي شهدت تحولًا كبيرًا، بدءًا من منشئها كمرفأ صيد إلى وصولها لوضعها الحالي كعاصمة إدارية واقتصادية لمحافظة حضرموت، وهو ما أثّر بشكل مباشر في توسعها السكاني والإداري.



خريطة رقم (5): الكثافة السكانية في مدينة المُكَلَّا لعام 2018م

من عمل الباحثين بالاعتماد على النتائج النهائية لتعداد 1994م ،2004 م/حضرموت، التقرير الثاني.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

النشأة وأهمية التسمية

تعود نشأة المُكَلَّا إلى كونها مرفأً صغيرًا آمنًا للصيادين وقواربهم، وقد استمرت على هذا الحال لما يقرب من قرنين. ويُفسَّر اسمها اللغوي "المُكَلَّا" على أنه يعني "المكان المحمي من الرياح"، في إشارة إلى خصائصها الطبيعية التي وفرت الحماية لحرفة الصيد. (باحاج، 2015)

التحول الإداري والتوسع الأول (ما بعد 1967م)

شهدت المدينة نقطة تحول كبرى بعد الاستقلال عام 1967م، حيث أصبحت عاصمة محافظة حضرموت. هذه المكانة زادت من أهميتها الإدارية والاقتصادية، محوّلةً إياها إلى مركز جذب للمهاجرين من مناطق حضرموت الأخرى.(البار،1997)

- **النمو السكاني:** زاد عدد السكان ليصل إلى 44,626 نسمة في عام 1973م.
- **الأحياء الأساسية:** كان التوزيع السكاني حينها يقتصر على خمسة أحياء رئيسية: حي الشهيد خالد (البلاد)، وحي الصيادين (الحارة)، وحي السلام (برَّع السدة)، وحي العُمَّال (الشرج)، وحي أكتوبر (الديس).

التوسع العمراني نحو الغرب (ثمانينيات القرن الماضي)

خلال ثمانينيات القرن الماضي، بدأت المدينة تتوسع بشكل ملحوظ نحو الغرب (منطقة فوَّة). هذا التوسع كان بمثابة متنفس للمدينة، نظرًا لوجود عوائق طبيعية (البحر والجبل) حدّت من النمو في الاتجاهات الشرقية والشمالية والجنوبية ظهور أحياء جديدة:

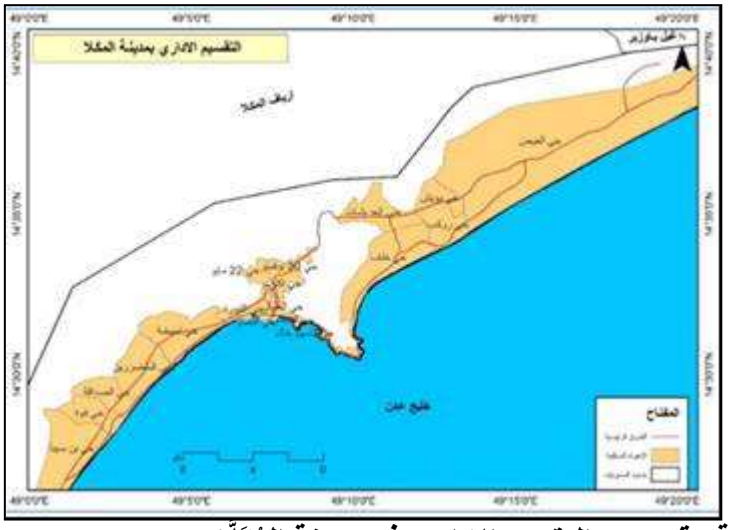
أدى الاتجاه العمراني نحو الغرب إلى ظهور تجمعات سكنية جديدة، مثل أحياء المتضررين، ابن سينا، فوَّة القديمة، والصداقة. (البار، 1997)

التطور الإداري الحديث (ما بعد 1990م)

اكتسبت المدينة مزيدًا من التطور السكاني والعمراني بعد عام 1990م، عندما ثُبِّتَت كعاصمة لمحافظة حضرموت.

- الأهمية الاقتصادية: زادت أهميتها الاقتصادية، جاذبةً المستثمرين والتجار لتنفيذ مشاريع تنموية وخدمية، مما زاد من جاذبيتها السكانية. (باحاج، 1982)
- التقسيم الإداري المستقل (1999م): في عام 1999م، أصبحت مدينة المُكَلَّا مديرية مستقلة بعد فصل الأرياف عنها. هذا التقسيم أسفر عن تقسيم المدينة إلى تسعة عشر حيًّا.
- ضم الضواحي: شمل هذا التقسيم الإداري الجديد ضم أحياء كانت تُعد سابقًا ضواحي تابعة للمدينة، مثل بويش والحرشيات والعيص والريان.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



خريطة رقم (6): التقسيم الإداري في مدينة المُكَلّا

من عمل الباحثيين بالاعتماد على: علي حسين البار، (2017). أهم مظاهر التوسع الحضري بأطراف مدينة المكلا وأسبابه والمترتبات الناتجة عنه، مجلة الأندلس، ع8، م17، ص41.

2- التوزيع المكاني لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا

تنطلق دراسة التوزيع المكاني للمؤسسات الخدمية، وخاصة التعليمية، من مبدأ جغرافي أساسي يهدف إلى تقييم كفاءة الخدمة وعدالة توزيعها الجغرافي بين السكان.. (عبد العال،2025) وبما أن التوزيع يُعدّ نقطة البداية لتحديد الاختلافات المكانية والحاجة إلى التخطيط الحضري، فإن تحليل تمركز مدارس الثانوية الحكومية في المكلا يبرز أنماطاً مكانية مرتبطة بالتوسع العمراني للمدينة.(سليمان،2016)

2-1. توزيع المدارس الثانوية وتمركزها المكاني

تُظهر البيانات المتاحة من الهيئات التعليمية والتقارير الأكاديمية تمركز عدد من المدارس الثانوية الحكومية والمجمعات التعليمية الكبرى ضمن النطاق الإداري لمديرية المكلا، وغالباً ما تتوزع هذه المدارس وفقاً للكثافة السكانية والتطور التاريخي للأحياء، مع ملاحظة وجود تباين بين الأحياء القديمة والجديدة:

2-1-1. منطقة المكلا المركزية (البلاد، الشرج، الديس)

تُعدّ هذه المنطقة النواة التاريخية للمدينة وشهدت أولى مراحل التوسع، وبالتالي تستضيف عدداً من المؤسسات التعليمية ذات السمعة العالية والتاريخ الطويل:

- **ثانوية المكلا النموذجية للبنين والبنات:** تقع في نطاق مديرية المكلا (غالباً في منطقة تتوسط الأحياء القديمة والجديدة لخدمة أكبر شريحة، أو في الأجزاء الغربية القريبة من المنطقة العسكرية الثانية). تعتبر هذه الثانويات من أهم مراكز التفوق العلمي في المحافظة.
- **ثانوية السعد العامرية للبنات:** من الثانويات البارزة في المدينة، وتقع ضمن مديرية المكلا المركزية.

2-1-2. منطقة فوَّة (التوسع الغربي)

تمثل منطقة **فوَّة** المتنفس العمراني الأكبر للمدينة باتجاه الغرب، وشهدت توسعاً سكانياً كبيراً منذ ثمانينات القرن الماضي. ولذلك، تُعد منطقة جذب استثمر فيها التخطيط التعليمي لخدمة الكتل السكانية المتزايدة:

- **مجمع فوة التعليمي (للبنات والتعليمي المختلط):** يمثل هذا المجمع نقطة توزيع خدمية مهمة لخدمة أحياء التوسع الغربي الجديدة مثل المتضررين وابن سينا.

- **ثانوية ومجمع ابن الهيثم:** من المؤسسات التعليمية الحديثة نسبياً التي تم افتتاحها لخدمة الكتل السكانية في هذا التوسع.

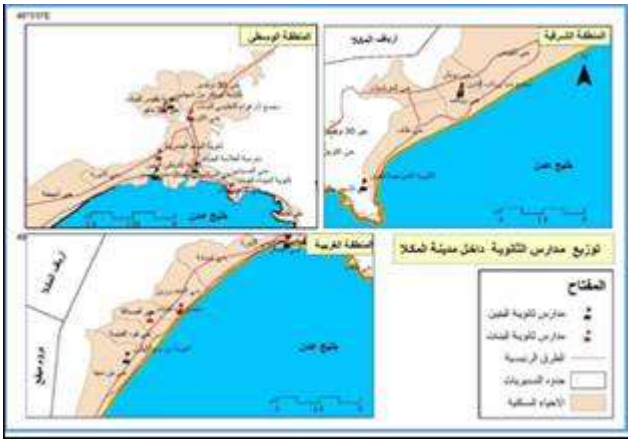
2-1-3. الأحياء الأخرى

تشمل التوزيعات الأخرى مؤسسات تعليمية تابعة لمجمعات لخدمة الأحياء الفرعية:

- **مجمع فاطمة الناخبي التعليمي للبنات:** يخدم جزءاً من النطاق السكاني في مديرية المكلا.
- **مجمع خولة بنت الأزور للبنات:** يقع ضمن مديرية المكلا، وغالباً ما يخدم التجمعات السكانية القريبة منه.

من منظور الجغرافيا التخطيطية، تشير الأنماط المكانية لمدارس الثانوية الحكومية في المكلا إلى الملاحظات التالية:

1. **التركيز الخدمي:** هناك تركيز واضح للمؤسسات التعليمية الكبرى (خاصة النموذجية والمتميزة) في نطاق مديرية المكلا المركزية، مما يتطلب تخطيطاً للنقل لتسهيل وصول الطلاب من الأطراف.
2. **التوسع الاستيعابي:** اتجه التوسع في إنشاء المجمعات التعليمية الثانوية نحو الغرب (فوَّة) لمواكبة النمو السكاني الحديث، وهو ما يتماشى مع الاتجاه العمراني للمدينة.
3. **الحاجة إلى دراسات متعمقة:** لتقييم كفاية التوزيع بشكل دقيق، يتطلب الأمر إجراء دراسة ميدانية متكاملة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، لتحديد نصف قطر الخدمة لكل مدرسة ومقارنته بـ الكثافة الطلابية ونسبة التغطية للسكان في كل حي من الأحياء التسعة عشر التي تشكل المديرية حالياً (بما فيها الأحياء المضافة مثل بويش والعيص والريان).



خارطة رقم (7) توزيع مدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا

من عمل الباحثين بالاعتماد على المعايير التخطيطية لبناء المدارس

جدول رقم (5) توزيع مدارس الثانوية حسب مناطق مدينة المكلا

الشرقية		الوسطى		الغربية		المجموع	
العدد	النسبة	العدد	النسبة	العدد	النسبة	العدد	النسبة
3	%23.1	7	%53.8	3	%23.1	13	%100
المصدر: مكتب التربية -المكلا							

2-2. تحليل التوزيع العددي والنسبي للمدارس الثانوية في مدينة المكلا

يُظهر التحليل الإحصائي لتوزيع المدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا تركزًا خدميًا في عدد محدود من الأحياء، ونقصًا ملحوظًا في أحياء أخرى، مما يعكس تباينًا في التغطية الجغرافية للخدمة التعليمية الثانوية.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

2-2-1. الإجمالي العام والتوزيع الجغرافي

- **العدد الكلي والنسبة:** يبلغ العدد الإجمالي للمدارس الثانوية في مدينة المكلا 13 مدرسة، وتشكل هذه المدارس نسبة 19.4% من إجمالي عدد المدارس بالمدينة.
- **التوزيع المكاني:** تتوزع هذه المدارس على 10 أحياء فقط من إجمالي أحياء المدينة، بينما تغيب الخدمة تمامًا عن 9 أحياء أخرى.

– الأحياء الأكثر تركيزًا (مدرستان لكل حي): تأتي أحياء 22 مايو، والنصر، وروكب في صدارة الأحياء الأكثر احتواءً للمدارس الثانوية، بواقع مدرستين في كل حي.

– الأحياء ذات التغطية الفردية (مدرسة واحدة لكل حي): تتوزع المدارس السبع المتبقية على أحياء الشهيد، والسلام، وأكتوبر، والصداقة، وابن سينا، وخلف، والمتضررين.

– الأحياء المحرومة من الخدمة (9 أحياء): تفتقر الأحياء التالية إلى وجود أي مدرسة ثانوية حكومية: الصيادين، وامبيخة، وبويش، والعيص، والحرشيات، ونوفمبر، وفوه القديمة، والعمال، والثورة.

2-2-2. التوزيع حسب النوع (بنين/بنات)

يُظهر التوزيع تفاوتاً طفيفاً بين مدارس البنين والبنات من حيث العدد ونطاق التغطية:

نوع المدرسة	العدد	النسبة المئوية	عدد الأحياء الموزعة عليها	الأحياء الموزعة عليها
مدارس البنين	6	%46	6	السلام، 22 مايو، النصر، ابن سينا، روكب، خلف
مدارس البنات	7	%54	7	الشهيد خالد، 14 أكتوبر، 22 مايو، النصر، الصداقة، روكب، المتضررين

يلاحظ أن أحياء **22 مايو**، **والنصر**، **وروكب** هي الأحياء الوحيدة التي يوجد فيها توزيع مختلط لخدمة الذكور والإناث، حيث تحتوي على مدارس ثانوية مخصصة لكليهما.

يشير هذا التوزيع إلى وجود **تفاوت مكاني** في تقديم خدمة التعليم الثانوي في المكلا، مما قد يخلق ضغطاً على المدارس الواقعة في الأحياء المركزية ويفرض تكاليف نقل وزمن إضافي على الطلاب القاطنين في الأحياء التسعة التي لا تحتوي على هذه الخدمة.

2-3. تحليل المركز المتوسط للمدارس الثانوية

يُستخدم مفهوم الظاهرة المركزية (Central Feature) أو المركز المتوسط في التحليل الجغرافي لتحديد النقطة المكانية التي تمثل التوزيع العام للظاهرة (في هذه الحالة، المدارس الثانوية) على خريطة المدينة. هذا التحليل يكشف عن نمط التمركز والتوافق بين مواقع الخدمات والتوزيع السكاني.

2-3-1. المركز المتوسط العام للمدارس الثانوية

- **الموقع العام:** أظهر تطبيق أداة الظاهرة المركزية أن المركز المتوسط لتوزيع جميع المدارس الثانوية في المكلا يتمركز في وسط المدينة.
- **الاتجاه:** يميل هذا المركز المتوسط ويقترب من الجهة الجنوبية الشرقية للمدينة، تحديدًا بالقرب من منطقة المكلا القديمة (حافة بلقيس).

- **التو افق السكاني:** يتفق تمركز الظاهرة المركزية للمدارس الثانوية مع التوزيع العام للأحياء القديمة في المدينة، والتي تتميز بكثافة سكانية متوسطة.

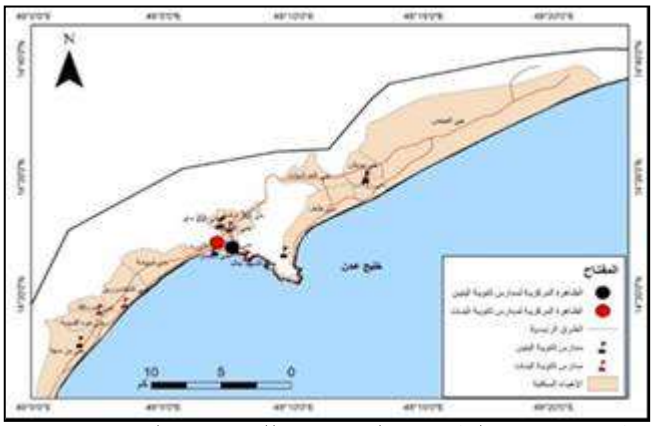
2-3-2. التباين في المركز المتوسط حسب النوع (بنين/بنات)

أظهر التحليل وجود تباين بين المركز المتوسط لمدارس البنين والبنات، مما يعكس اختلافات في التوزيع الجغرافي لكل منهما:

يلاحظ أن الظاهرة المركزية لمدارس البنات (الممثلة بمدرسة ثانوية السعد العامرية في حي النصر) تتفق وتقترن بشكل وثيق مع المتوسط العام لتوزيع جميع المدارس الثانوية في المدينة. هذا يشير إلى أن توزيع مدارس البنات هو الأكثر تمثيلاً للنمط المركزي العام للخدمة التعليمية الثانوية في المكلا.

2-4. تحليل اتجاه التوزيع الجغرافي) للمدارس الثانوية .

يُستخدم تحليل اتجاه التوزيع، أو ما يُعرف تقنيًا بـ المضلع الانحرافي القياسي (Standard Deviational Ellipse)، لتحديد الاتجاه المحوري الذي تتركز فيه الظاهرة (المدارس) وكيفية توافق هذا الامتداد مع الظواهر الجغرافية الأخرى، مثل محاور التوسع العمراني للمدينة أو الطرق الرئيسية. (الغيري، 2011)



خارطة رقم (8) الظاهرة المركزية للمدارس الحكومية في مدينة المكلا

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على arcgis10.8

2-4-1. النمط العام والامتداد المحوري

مما سبق نستنتج ما يلي:

1. **التو افق في الاتجاه:** تظهر نتائج التحليل أن نمط انتشار كل من مدارس البنين والبنات الثانوية يتخذ نفس الاتجاه المحوري الممتد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي. يُشير هذا التوافق إلى أن التوسع في بناء المدارس الثانوية، بغض النظر عن النوع، قد اتبع مساراً تخطيطياً أو عمرانياً واحداً في المدينة.
2. **الامتداد الطولي:** يدل الشكل البيضاوي الطولي الذي يتخذه التوزيع على أن المدارس ليست موزعة بشكل دائري متساوٍ حول المركز المتوسط، بل تتركز وتنتشر على طول محور معين، وهو محور التوسع العمراني الغربي/الشرقي للمدينة.
3. **درجة التشتت والتركيز:**

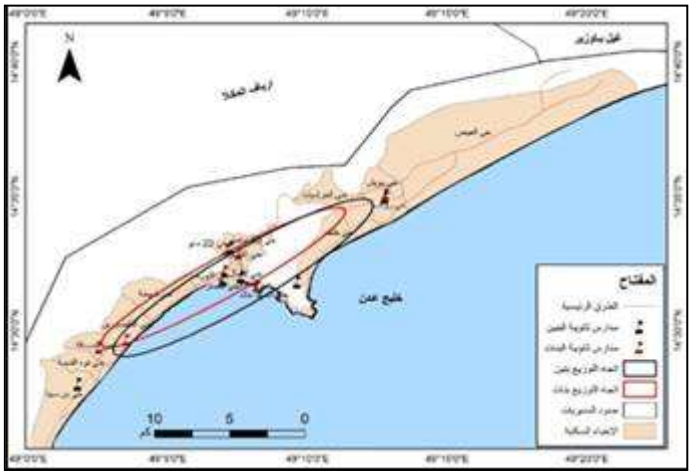
ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- **مدارس البنين:** حقق الشكل البيضاوي للمدارس الثانوية للبنين أقل قيمة دوران (58.7 درجة) وأقل نسبة احتواء (33.3%) مقارنة بمدارس البنات. يشير انخفاض نسبة الاحتواء إلى أن مدارس البنين الثانوية أكثر تشتتاً وانتشاراً في مواقعها من مدارس البنات بالنسبة للمحور المركزي.
- **مدارس البنات:** تتخذ نفس الاتجاه لكن بقيمة دوران أعلى قليلاً (59.8 درجة) ونسبة احتواء أعلى (42.8%). هذا يعني أن مدارس البنات الثانوية تميل إلى أن تكون أكثر تجمعاً أو تركيزاً على طول المحور الشمالي الشرقي-الجنوبي الغربي مقارنة بمدارس البنين.

4. **العلاقة بالتوسع العمراني:** يُفترض أن هذا الامتداد من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي يعكس المحور الرئيسي للتوسع العمراني والنمو السكاني في مدينة المكلا، حيث تسعى الخدمات التعليمية لمواكبة امتداد المدينة الجغرافي.

2-5. تحليل نمط التوزيع المكاني للمدارس الثانوية في المكلا باستخدام مؤشر الجار الأقرب

تم تطبيق مؤشر الجار الأقرب (Nearest Neighbor Index - NNI) لتحديد النمط المكاني لتوزيع المدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا (سواء كانت مجمّعة، عشوائية، أو متباعدة). وقد أكدت النتائج أن المدارس لكلا الجنسين تتبع نمطًا متباعدًا ومبعثراً (Dispersed Pattern)، وهو ما يشير إلى أن توزيعها ليس عشوائيًا بل تحكمه عوامل تخطيطية وعمرانية.



خارطة رقم (9) اتجاه توزيع المدارس الحكومية في مدينة المكلا لعام 2018

المصدر من عمل الباحثيين بالاعتماد على مخرجات ARC GIS10. 8

نتائج مؤشر الجار الأقرب (NNI) حسب النوع

الاستنتاجات الجغرافية والإحصائية

1. **رفض الفرضية الصفرية وقبول البديلة:** تشير حقيقة أن قيمتا Z-score لكل من مدارس البنين (6.37) ومدارس البنات (4.10) قد تجاوزتا النطاق الحرج إلى ضرورة قبول الفرضية البديلة. هذا يعني أن التوزيع المكاني للمدارس الثانوية لكلا الجنسين ليس عشوائيًا (Random)، بل هو ناتج عن عوامل محددة ومؤثرات جغرافية واضحة.
2. **نمط التوزيع المتباعد (Dispersed):**

بلغت قيمة مؤشر الجار الأقرب (NNI) لكلا النوعين أعلى من 1 (2.35 للبنين و 1.81 للبنات). تُشير القيمة التي تتجاوز 1 إلى أن المسافة الفعلية بين المدارس هي أكبر من المسافة المتوقعة في حالة التوزيع العشوائي، مما يؤكد أن النمط هو متباعد (Dispersed) ومبعثر.

- ملاحظة: مدارس البنين (NNI = 2.35) هي أكثر تباعدًا من مدارس البنات (NNI = 1.81)، مما يدل على تباعد أكبر بين مدارس البنين الثانوية.

3. **الأسباب الجغرافية للتباعد:** يُعزى هذا النمط المتباعد والمبعثر إلى عاملين رئيسيين:

- **التوسع العمراني والظهور الجغرافي:** التوسع العمراني الذي شهدته مدينة المكلا وظهور أحياء سكنية جديدة في الأطراف (خاصة فوّة) أجبر المخططين على توزيع المدارس الثانوية في مواقع بعيدة عن النواة القديمة بهدف خدمة تلك الكتل السكانية المستحدثة.
- **قلة الوحدات الخدمية:** العدد القليل من المدارس الثانوية (13 مدرسة) الموزعة على مساحة المدينة الكبيرة يساهم بشكل طبيعي في زيادة المسافة بين أقرب جار، مما يعزز من ظهور النمط المبعثر.

جدول رقم (6) قيم تحليل صلة الجوار لتوزيع المدارس الحكومية في مدينة المكلا

المدارس	قيمة الجار الأقرب	قيمة-z score	مستوى الدلالة	النمط
ثانوي	0.81	1.3-	0.192	متقارب يتجه نحو العشوائي
ثانوي بنات	1.81	4.1	0	متباعد في المسافات
ثانوي بنين	2.35	6.37	0	منتظم (الشكل السداسي)
المصدر: قاعدة البيانات المتحصلة من تطبيق صلة الجوار ضمن برنامج ARC GIS10 8.				

6-2. تحليل التشتت المكاني للمدارس الثانوية في المكلا باستخدام المسافة المعيارية

يُعدّ مقياس المسافة المعيارية (Standard Distance) مؤشراً رئيسياً في التحليل الجغرافي لقياس مدى التشتت أو التركز المكاني لظاهرة معينة، وهو شبيه بمفهوم الانحراف المعياري الإحصائي، حيث يحدد نصف قطر الدائرة التي تتركز ضمنها غالبية المدارس (المحمدي،2015)

1-6-2. مقارنة التشتت بين مدارس البنين والبنات الثانوية

أظهر تطبيق أداة المسافة المعيارية تبايناً واضحاً في أنماط التشتت بين مدارس البنين والبنات الثانوية في مدينة المكلا:

- **مدارس البنين هي الأكثر تركزاً (أقل تشتتاً):**

– على الرغم من أن نصف قطر دائرة المسافة المعيارية لمدارس البنين أكبر (7,144 متر)، فإن نسبة المدارس الواقعة ضمنها أعلى بكثير (66.67%).

– يشير هذا إلى أن ثلثي مدارس البنين الثانوية تتجمع ضمن منطقة جغرافية محددة تشكل أقل من خُمس مساحة المدينة (18.7%). وعليه، تُعتبر مدارس البنين أكثر تركزاً في توزيعها المكاني مقارنة بمدارس البنات.

- **مدارس البنات هي الأكثر تشتتاً (أقل تركزاً):**

– تُعتبر مدارس البنات في المرتبة الأولى من حيث التشتت والأخيرة من حيث التركز.

- رغم أن نصف قطر دائرة المسافة المعيارية أصغر (6,685 متر) وتغطي مساحة أقل (17.2%)، فإن نسبة المدارس الواقعة ضمنها أقل (57.14%).
- هذا يعني أن جزءاً أكبر من مدارس البنات الثانوية (حوالي 43%) يقع خارج نطاق التركز المحدد بالمسافة المعيارية، مما يدل على أن توزيعها أكثر تشتتاً أو انتشاراً عبر الأحياء المختلفة للمدينة مقارنة بمدارس البنين.

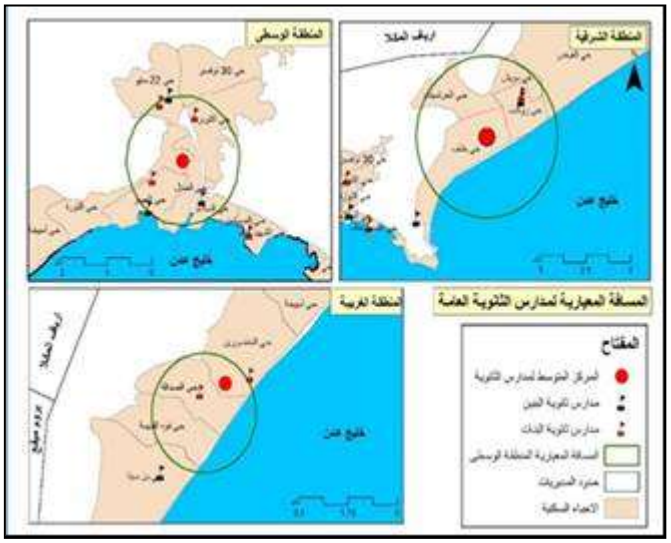
جدول رقم (7) قيم مؤشر المسافة المعيارية لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا

المدارس	المسافة المعيارية	مساحة الدائرة	النسبة من مساحة المدينة	عدد المدارس	عدد المدارس ضمن الدائرة	نسبة المدارس داخل الدائرة
ثانوي بنات	6685	135.72	%17.20	7	4	**%57.14**
ثانوي بنين	7144	158.15	%18.70	6	4	**%66.67**
المصدر: قاعدة البيانات المتحصلة من تطبيق المسافة المعيارية ضمن برنامج ARC GIS108.						

يتضح أن مدارس البنين الثانوية تميل إلى التجمع والتركز في مواقع أقرب لبعضها البعض، في حين تميل مدارس البنات الثانوية إلى الانتشار والتباعد لتغطية نطاق جغرافي أوسع داخل المدينة.

7-2. تحليل نطاق التأثير (Service Area) للمدارس الثانوية الحكومية في المكلا

تم قياس نطاق تأثير خدمات المدارس الثانوية في مدينة المكلا باستخدام تقنية النطاقات المساحية (Buffer)، باعتماد مسافة خدمة مثالية قدرها 2,000 متر (2 كم) حول كل مدرسة ثانوية(شقير، 2009). كشف التحليل عن تباين كبير في تغطية الخدمة بين المنطقة المركزية والمنطقة الغربية، بالإضافة إلى تفاوت في مستوى الخدمة المقدمة للأحياء.



خارطة رقم (10) المسافة المعيارية لمدارس الثانوية بمدينة المكلا

المصدر من عمل الباحثيين بالاعتماد على مخرجات ARC GIS10. 8

2-7-1. التغطية المساحية الإجمالية حسب المنطقة

بالنظر الى الجدول رقم (5) نستنتج بان:

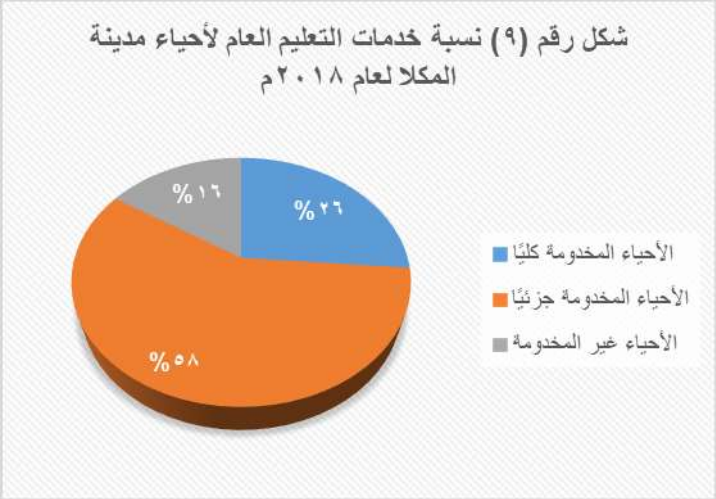
- **المنطقة الوسطى (المركزية):** تظهر المنطقة الوسطى **تركزًا عاليًا** في نطاق تأثير المدارس الثانوية، حيث تغطي النطاقات المساحية للمدارس فيها ما يقرب من **نصف مساحة المنطقة (48.5%)**. ويُعزى هذا التركز إلى **قدم نشأة المنطقة** وارتفاع كثافتها السكانية التاريخية.
- **المنطقة الغربية:** على الرغم من أن مساحة نطاق التأثير في المنطقة الغربية **أكبر** إجمالاً (8.35 كم²)، إلا أن نسبة تغطيتها من مساحة المنطقة الكلية **أقل بكثير (21.9%)**. هذا يشير إلى أن المدارس في المنطقة الغربية، التي تمثل التوسع الحديث للمدينة، هي **أكثر تباعداً** عن بعضها البعض، مما يترك مساحات شاسعة **غير مخدومة**.

جدول رقم (8) قيم مؤشر تحليل نطاق تأثير المدارس الحكومية في مدينة المكلا لعام 2018م

المنطقة	المدارس	مناطق الاستفادة كم^2	النسبة من مساحة المدينة	نسبة العجز
الوسطى	ثانوي	6.6	%48.50	%51.50
الغربية	ثانوي	8.35	%21.90	%78.10
الشرقية	ثانوي	4.76	%10.50	%89.50
المصدر: قاعدة البيانات المتحصلة من تطبيق تأثير الخدمة ضمن برنامج arc gis10.8				

2-7-2. مستوى التغطية لخدمات التعليم الثانوي على مستوى الأحياء

تم تصنيف الأحياء الإدارية في مدينة المكلا بناءً على مدى وقوعها ضمن نطاق التأثير (2,000 متر) للمدارس الثانوية:



المصدر: قاعدة البيانات المتحصلة من تطبيق تأثير الخدمة ضمن برنامج arc gis10.8

- **الأحياء المخدومة كليًا**

بلغ عدد الأحياء المخدومة كليًا 5 أحياء، بنسبة 26.3% من إجمالي أحياء المدينة. هذه الأحياء تقع بالكامل ضمن نطاق تأثير المدارس: حي الشهيد خالد، حي الصيادين، حي السلام، حي 22 مايو، حي العمال

- **الأحياء المخدومة جزئيًا**

وصل عدد الأحياء المخدومة جزئياً إلى **11 حيًا**. هذا يعني أن جزءاً فقط من سكان هذه الأحياء يقعون ضمن نطاق المشي (2,000 متر) للمدرسة الثانوية:

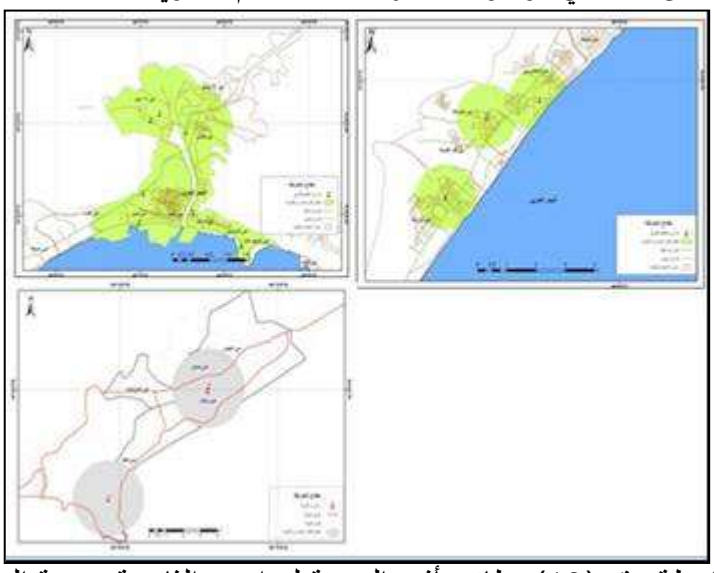
أحياء 14 أكتوبر، النصر، 30 نوفمبر، المساكن، روكب، بويش، المتضررين، فوة القديمة، خلف، الثورة، ابن سينا

3. الأحياء غير المخدومة كليًا

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

بلغ عدد الأحياء التي تقع بالكامل خارج نطاق تأثير الخدمة (أبعد من 2,000 متر) 3 أحياء، بنسبة 15.9% من إجمالي أحياء المدينة وهي: حي العيص، حي الحرشيات، حي امبيخة

تشير النتائج إلى اختلال في عدالة التوزيع المكاني، حيث يتركز نطاق التأثير بشكل كبير في المناطق القديمة والمركزية، بينما تعاني الأحياء الجديدة (المخدومة جزئياً) والأحياء الطرفية (غير المخدومة كلياً مثل العيص والحرشيات وامبيخة) من ضعف في الوصول المباشر لخدمة التعليم الثانوي.



خارطة رقم (12) نطاق تأثير الخدمة لمدارس الثانوية بمدينة المكلا

من عمل الباحثيين: بالاعتماد على أداة الحرم المكاني Buffer بوساطة Arc Gis10.8

3.تقييم الو اقع الحالي للتوزيع المكاني لمدارس الثانوية الحكومية في المكلا

يعتمد تقييم مواقع المدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا على مقارنة الواقع الفعلي بالمعايير التخطيطية والتربوية لوزارة التربية والتعليم اليمنية .(وزارة التربية والتعليم، 2004م)

تشمل هذه المعايير ضرورة أن يتوسط الموقع منطقة الاستجلاب، وأن يقع في وسط سكاني، وأن يكون آمناً وبعيداً عن مصادر المخاطر الطبيعية والبشرية (مثل السيول، الطرق السريعة، خطوط الضغط العالي، والمستنقعات). نظراً لإغفال القرار الوزاري تحديد مسافات الفصل، اعتمدت الدراسة على معايير مشتقة من دول مجاورة وبالتشاور مع مختصين لتحديد قيم معيارية للمسافات الآمنة. وقد كشف التطبيق عن وجود مخاطر تخطيطية وبشرية تهدد سلامة جزء كبير من المواقع:

3-1. معيارقرب المدارس الثانوية من بعضها البعض

يهدف هذا المعيار إلى ضمان التوزيع العادل ومنع التكدس الذي قد يعيق التخطيط المستقبلي ويؤثر على كفاءة الخدمة.

- **المو اقع الآمنة (متباعدة): 46.2%** من المدارس تبتعد عن بعضها البعض بمسافة **تزيد عن 1,000 متر**. هذه المواقع تعتبر آمنة من حيث عدم التكدس.
- **المو اقع غيرالآمنة (متقاربة): 53.8%** من المدارس تقع في مواقع متقاربة بمسافة **تقل عن 1,000 متر**.

تشير هذه النسبة المرتفعة (أكثر من النصف) إلى عدم الالتزام بالمعايير التخطيطية المناسبة لاختيار مواقع المدارس الثانوية، مما يؤدي إلى الازدواجية في التغطية في مناطق معينة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

جدول رقم (10) قرب مدارس الثانوية من بعضها البعض في مدينة المكل

درجة الخطورة	حالة الموقع	عدد المدارس الثانوية	النسبة%
0	آمن	6	%46.20
1	قليل الخطورة	1	%7.70
2	متوسط الخطورة	2	%15.40
3	خطر جدًا	4	%30.70
المجموع		13	%100
من عمل الباحثيين: بالاعتماد على أداة الحرم المكاني Buffer بوساطة8 Arc Gis10.			

2-3. معيار قرب المدارس الثانوية من مدارس رياض الأطفال والأساسية

يُعدّ هذا المعيار مهماً لضمان فصل الفئات العمرية المختلفة وتوفير بيئة تعليمية مناسبة وآمنة لكل مرحلة.

اعتمدت الدراسة مسافة **600 متر** كحد أدنى للفصل.

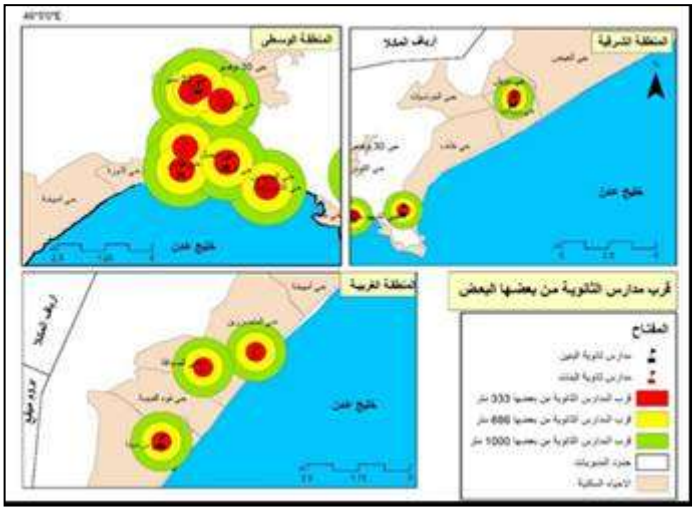
- **المواقع الآمنة (متباعدة): 76.9%** من المدارس الثانوية تبتعد عن رياض الأطفال بمسافة **تزيد عن 600 متر**.
- **المواقع غير الآمنة (متقاربة): 23.1%** من المدارس الثانوية تقترب من رياض الأطفال بمسافة **تقل عن 600 متر**.

رغم أن الغالبية متباعدة، إلا أن ربع المواقع تقريباً تقع في نطاق غير آمن، مما يتطلب معالجة لضمان الفصل الملائم بين المرحلتين التعليميتين.

جدول رقم (11) قرب مواقع المدارس الثانوية ة بحسب قربها من بعض على أساس المرحلة التعليمية

درجة الخطورة	حالة الموقع	عدد المدارس الثانوية القريبة من			
		رياض الأطفال	النسبة	المدارس الأساسية	النسبة
0	آمن	10	%76.90	0	%0
1	قليل الخطورة	1	%7.70	1	%7.70
2	متوسط الخطورة	1	%7.70	3	%23.10
3	خطر جدًا	1	%7.70	9	%69.20
من عمل الباحثيين بالاعتماد على نتائج التحليل المكاني					

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



خارطة رقم (13) قرب المدارس الثانوية من بعضها البعض بمدينة المكلا

من عمل الباحثين: بالاعتماد على أداة الحرم المكاني Buffer بوساطة Arc Gis10. 8

3-3. معيار قرب المدارس الثانوية من الطرق الرئيسة

يشكل القرب من الطرق الرئيسية خطراً مباشراً على سلامة الطلاب بسبب حوادث السيارات. حدد البحث مسافة فاصلة آمنة لا تقل عن **100 متر**.

- **الموقع الآمنة (بعيدة): 53.8%** من المدارس تقع على مسافة آمنة من الطرق الرئيسية.
- **الموقع غير الآمنة (قريبة): 46.2%** من إجمالي المدارس تقع على مسافة **أقل من 100 متر** من الطرق الرئيسية، مما يجعلها **موقع غير آمنة**.
- **مستويات الخطورة:**

– **خطورة متوسطة (23.1%):** تشمل ثانوية الحداد، ثانوية الزهراء، وثانوية الشاطئ.

– **خطورة عالية جداً (23.1%):** تشمل ثانوية الميناء، ثانوية السعد العامرية، وثانوية المكلا النموذجية للبنات.

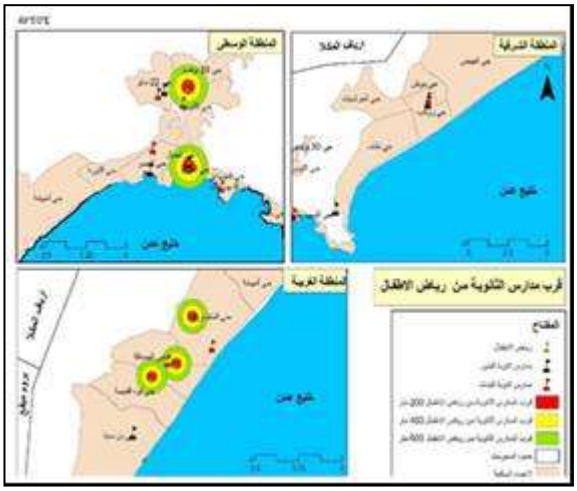
4-3. معيار قرب المدارس الثانوية من محطات الوقود

تُعدّ محطات الوقود مصدراً للخطر البيئي (التلوث) وخطر الحريق. اعتمدت الدراسة مسافة آمنة فاصلة تزيد على **200 متر**.

- **الموقع الآمنة (بعيدة): 92.3%** من المدارس الثانوية تبتعد عن محطات الوقود بمسافة **تزيد على 200 متر**.
- **الموقع غير الآمنة (قريبة): 7.7%** من المدارس، والمتمثلة في **ثانوية الزهراء**، تقترب من محطات الوقود بمسافة تقل عن 200 متر.

تُعد هذه النسبة الأفضل مقارنة بالمعايير الأخرى. ومع ذلك، يرجع هذا التباعد النسبي إلى أن محطات الوقود غالباً ما تتواجد بالقرب من **الطرق الرئيسية** التي هي أيضاً عامل جذب لمواقع الثانويات، لكن المدرسة القريبة (ثانوية الزهراء) تُعتبر **موقعاً غير آمن** بسبب مخاطر الحرائق وتدني شروط السلامة في بعض المحطات.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604



خارطة رقم (14) قرب المدارس الثانوية من مدارس رياض الأطفال بمدينة المكلا.

من عمل الباحثيين: بالاعتماد على أداة الحرم المكاني Buffer بوساطة Arc Gis10. 8

جدول رقم (10) قرب مدارس الثانوية من بعضها البعض في مدينة المكلا

درجة الخطورة	حالة الموقع	عدد المدارس الثانوية	النسبة%
0	آمن	6	%46.20
1	قليل الخطورة	1	%7.70
2	متوسط الخطورة	2	%15.40
3	خطر جدًا	4	%30.70
المجموع		13	%100
من عمل الباحثيين: بالاعتماد على أداة الحرم المكاني Buffer بوساطة Arc Gis10 8.			

يكشف التقييم أن المواقع الحالية للمدارس الثانوية الحكومية في المكلا تشوبها **مخاطر تخطيطية وبيئية** كبيرة. نسبة كبيرة من المدارس (**46.2%**) تقع في محيط خطر الطرق الرئيسية، وأكثر من النصف (**53.8%**) متقاربة بشكل لا يخدم التوزيع العادل. هذا يتطلب تدخلاً عاجلاً من الهيئات التخطيطية لإعادة النظر في المواقع الحالية واتباع المعايير التخطيطية التربوية بشكل صارم لضمان سلامة الطلاب وكفاءة الخدمة.

5-3. تقييم مو اقع المدارس الثانوية الحكومية حسب التوسط داخل الأحياء في المكلا

اعتمد التقييم المكاني لمواقع المدارس الثانوية على تقسيم الأحياء السكنية إلى ثلاثة مستويات من حيث التوسط الجغرافي (المركز، شبه المركز، والهامش)، باستخدام تقنيات المركز المتوسط والمسافة المعيارية. كشف التحليل عن تباين في مدى ملاءمة المواقع المختارة لاحتياجات ومواصفات المدارس الثانوية.

1-5-3. مستويات التوسط المكاني وملاءمة المو اقع

من خلال الجدول رقم (11) نلاحظ الاستنتاجات التخطيطية التالية:

1. **المو اقع الملائمة والمفضلة (الأطراف):**

- تقع نحو **38.5%** من المدارس الثانوية في **أطراف الكتل العمرانية (المنطقة الهامشية)**. يُعدّ هذا الموقع هو **الأكثر ملاءمة** للمدارس الثانوية لأنه يلبي متطلباتها الأساسية: **مساحات واسعة** للإنشاء والمرافق، و**البعد عن الازدحام**، مما يضمن **كفاءة الوصول** للطلاب القادمين من أحياء مجاورة.

2. **المواقع غير الملائمة (المركز):**

- تتوطن نسبة مماثلة (**38.5%**) من المدارس في **المنطقة الوسطى (المركزية) للأحياء**. تُصنّف هذه المواقع على أنها **غير ملائمة** تخطيطياً للمدارس الثانوية، على عكس مدارس المراحل الدنيا. ويعود ذلك إلى أن المدارس الثانوية تخدم عادةً **نطاقاً جغرافياً أوسع** من الحي الواحد وتتطلب **مساحات بناء أكبر**، وهذان الشرطان يتعارضان مع طبيعة المراكز المكتظة.

3. **المواقع شبه المركزية:**

- تقع نسبة **23.0%** في المنطقة **شبه المتوسطة**، ويعكس وجود هذه النسبة صعوبة تأمين الأراضي الكافية في المراكز الحضرية المتطورة.

يشير هذا التوزيع إلى أن عملية اختيار المواقع في المكلا لم تتبع بشكل كامل المبادئ التخطيطية للمرحلة الثانوية. حيث أن نحو **61.5%** من المواقع تقع إما في **المركز** أو **شبه المركز**، مما قد يؤدي إلى تحديات تتعلق بالحجم المتاح للمبنى المدرسي، والازدحام المروري، وصعوبة خدمة الأحياء المجاورة بكفاءة عالية. التوجه المثالي تخطيطياً هو تفضيل المواقع **الهامشية** لمدارس التعليم الثانوي.

جدول رقم(11)مستويات التوسط المكاني وملاءمة المواقع

منطقة التوطن	النسبة المئوية للمدارس	ملائمة الموقع	التبرير الجغرافي والوظيفي
المركزية (الوسطى)	%38.50	غير ملائمة	تتعارض مع المتطلبات التخطيطية: الحاجة لمساحات واسعة غير متوفرة عادةً في المراكز المزدحمة. وظيفياً: يجب أن تخدم الثانويات عدة أحياء، مما يجعل التوطن في الأطراف (لتقليل زمن السفر) هو الأفضل.
شبه المركزية (شبه المتوسطة)	%23.00	أقل ملاءمة	قيود على الأراضي: يعكس وجود نسبة في هذه المنطقة محدودية توفر الأراضي المناسبة في مراكز الأحياء.
الهامشية (أطراف الكتل العمرانية)	%38.50	ملائمة	تتوافق مع المتطلبات التخطيطية: توفر المساحة الكافية، البعد عن الازدحام السكاني، وتيسير الوصول للطلاب القادمين من أحياء متعددة، مما يسرّع زمن وصولهم.

4. تقييم المخاطر البيئية والطبيعية لمواقع المدارس الثانوية في المكلا

يهتم هذا التحليل بتقييم الواقع الحالي لمواقع المدارس الثانوية الحكومية في المكلا من منظور المخاطر الطبيعية والبيئية، حيث يركز على قرب هذه المواقع من مجاري السيول ومن خط الساحل، معتمداً على مسافات فاصلة تم تحديدها لضمان سلامة الطلاب والمباني.

4-1. قرب المدارس الثانوية الحكومية من مجاري السيول

يمثل القرب من مجاري السيول خطراً طبيعياً مباشراً، ويؤدي إلى تهديد حياة الطلاب وإلحاق أضرار مادية بالمنشآت المدرسية. تم اعتماد مسافة **200 متر** كمعيار للسلامة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

- **الخطر المرتفع:** أكثر من نصف المدارس الثانوية (**53.8%**) تقع في مواقع **غير آمنة** وقريبة من مجاري السيول بمسافة تقل عن 200 متر.
- **الخطر الوشيك:** تقترب نسبة كبيرة تبلغ **30.7%** من المدارس بمسافة أقل من 66 متراً، مما يضعها في حالة **خطرة جداً** تستوجب تدخلًا فورياً لتعديل أوضاع هذه المواقع، حمايةً للأرواح والممتلكات.

2-4. قرب المدارس الثانوية الحكومية من خط الساحل

يشكل القرب من خط الساحل في مدينة ساحلية مثل المكلا خطراً جيولوجياً (مثل التعرية) وخطر التيارات البحرية، واعتمدت الدراسة مسافة **100 متر** كحد أدنى للسلامة.

- **المواقع غير الآمنة (القريبة):** وُجدت **ثلاثة مواقع** تقترب من خط الساحل بمسافة **تقل عن 100 متر**، وتمثل نسبة **15.4%** من إجمالي المدارس الثانوية.
- **المدارس المتضررة:** ثانوية **الميناء**، ثانوية **الشاطئ**، وثانوية **المكلا النموذجية للبنات**.
- **المواقع الآمنة (البعيدة):** ظلت النسبة المتبقية البالغة **84.6%** من المدارس بعيدة عن خط الساحل بمسافة تزيد على 100 متر.

على الرغم من أن غالبية المدارس بعيدة عن خط الساحل، إلا أن المدارس الثانوية في المكلا تُعد **الأكثر قربًا** من هذا الخطر مقارنة بأنواع المدارس الأخرى.

- تمثل المواقع الثلاثة القريبة (15.4%) مواقع **غير ملائمة وتخالف المعيار المحدد**، وتتطلب معالجة لتقليل المخاطر المرتبطة بالبيئة الساحلية.

يؤكد هذا الجزء من التقييم وجود **تحديات بيئية وطبيعية خطيرة** في مواقع المدارس الثانوية في المكلا. يعتبر خطر **السيول** هو الخطر الأبرز والأكثر انتشاراً، حيث يهدد أكثر من نصف المواقع، مما يشير إلى ضعف في الاعتبارات الجغرافية والتخطيطية أثناء اختيار مواقع هذه المؤسسات الخدمية الحيوية.

5. تقييم الملاءمة التخطيطية لمواقع المدارس الثانوية الحكومية في المكلا

أُجري تقييم للوضع الحالي لمواقع المدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا لتحديد درجة ملاءمتها للمعايير التخطيطية والأمنية، حيث تُمنح درجة **صفر** للموقع المثالي (الذي لم يسجل أي مخالفة)، وتُمنح درجات خطورة تتراوح بين 1-3 لكل مخالفة بناءً على مدى القرب من مصدر الخطر. يكشف التقييم عن تباين حاد وارتفاع في نسبة المواقع غير الملائمة، لا سيما في الأحياء القديمة.

1-5. الوضع الحالي لمواقع المدارس الثانوية حسب فئات الملاءمة

تم تصنيف المدارس الثانوية إلى خمس فئات وفقًا لدرجة الملاءمة (درجة الخطورة المسجلة) في الجول التالي ومنه يتبين:

من الجدول أعلاه نستخلص النتائج العامة لتقييم الملاءمة على النحو التالي:

1. **المواقع الأفضل والأكثر ملاءمة:** يمثل موقع **ثانوية فوة** النموذج الأفضل، مؤكداً أن الأحياء ذات التخطيط الحديث والمساحات الواسعة هي الأكثر قدرة على استيعاب المدارس الثانوية بشكل آمن وملائم.
2. **المخاطر التخطيطية الكبرى:** نسبة المدارس غير الملائمة والمتدنية جداً تصل إلى **30.8%** (الفئتين الأخيرتين)، ويمثلها بشكل خاص ثانويات **الحداد** و**الزهراء**. هذه المدارس تقع في النواة الوسطى والقديمة للمكلا، حيث تتفاقم المخالفات المتعلقة بـ(السيول، القرب من الطرق/الساحل، وضيق المساحة).

3. **العلاقة بالتوسع العمراني:** هناك علاقة عكسية واضحة بين قدم الحي ودرجة ملاءمة المدرسة؛ فالثانويات الواقعة في **الأحياء الجديدة** (مثل روكب وابن سينا) حققت درجات ملاءمة أفضل بكثير (الفئة الجيدة).
4. **التحدي التخطيطي:** يشير انخفاض نسبة المواقع الملائمة جداً (7.7%) وارتفاع نسبة المواقع غير الملائمة إلى وجود **مشكلة هيكلية** في اختيار المواقع، مما يتطلب تدخلاً عاجلاً لوضع معالجات هندسية وتخطيطية للمدارس ذات درجات الخطورة العالية لرفع مستوى أمانها.

فئة الملاءمة (درجة الخطورة)	النسبة المئوية (%)	عدد المواقع	المدارس الممثلة	الموقع والتبرير
مثالية/ملائمة جداً (1-5)	**%7.70**	1	الثانوية السابعة **(ثانوية فوة)**	**الأفضل:** تقع في **حي المساكن** (غرب المدينة)، وتتميز باتساع المساحة وسلامة التخطيط مقارنة بالأحياء الأخرى.
جيدة (5.1-10)	**%38.50**	5	بلقيس، سبأ روكب (بنين)، سبأ روكب (بنات)، ابن سينا، المكلا النموذجية (بنين)	**جيدة:** تقع معظمها في **أحياء جديدة** (مثل 22 مايو، روكب، ابن سينا، خلف)، تتميز بتخطيط جيد ومساحة أوسع.
متدنية (10.1-15)	**%23.00**	3	الميناء، الشاطئ، المكلا النموذجية (بنات)	**ضعيفة:** يقع معظمها في **أحياء وسطى قديمة** (الشهيد خالد، النصر)، تعاني من سوء التخطيط، وضيق المساحة، وارتفاع الكثافة.
ضعيفة جداً (15.1-20)	**%15.40**	2	السعد العامرية، بن شهاب	**متدنية:** تقع في **المنطقة الوسطى** من المدينة، والتي تتصف بضيق المساحة وتعقد التضاريس والكثافة السكانية.
غير ملائمة (20.1-25)	**%15.40**	2	الحداد، الزهراء	**الأسوأ:** تقع في **المنطقة الوسطى القديمة**. وصلت إلى هذا المستوى بسبب كثرة المعايير المخالفة وازدحام المنطقة بالاستعمالات التجارية والدينية وكثرة المجاري المائية.

6.رؤية جغرافية مقترحة لتحديد المواقع الملائمة لإنشاء مدارس ثانوية جديدة في المكلا

تكشف نتائج التقييم الجغرافي لمدارس المكلا الثانوية عن تحديات خطيرة، تشمل **التعرض للمخاطر** (قرب من الطرق الرئيسية ومجاري السيول) و**الاختلالات التخطيطية** (تكدس المدارس في بعض المواقع وضيق المساحات في المراكز القديمة)، مما يستدعي وضع **رؤية جغرافية استراتيجية** لتحديد المواقع المستقبلية المثلى (Optimum Locations).

6-1. الأسس المنهجية للرؤية المقترحة

يجب أن تعتمد الرؤية المقترحة على تطبيق شامل لـ **نظم المعلومات الجغرافية (GIS)** لدمج جميع المعايير التخطيطية والبيئية في نموذج ملاءمة مكاني (Suitability Model).

6-2. دمج معايير السلامة البيئية والطبيعية (معايير الحظر)

يجب أن تكون الأولوية القصوى هي **استبعاد مناطق الخطر** بشكل قاطع من أي تخطيط مستقبلي، وذلك من خلال تحديد **نطاقات حظر (Exclusion Zones)** بناءً على:

مصدر الخطر	المسافة الدنيا المقترحة للفاصل	الهدف
مجاري السيول والشعاب	**200 متر** على الأقل (حسب معيار الدراسة)	حماية الأرواح والمباني من الكوارث الطبيعية.
الطرق الرئيسية السريعة	**100 متر** على الأقل (لتجنب حوادث الدهس والازدحام)	ضمان بيئة آمنة لدخول وخروج الطلاب.
خط الساحل	**100 متر** على الأقل	تجنب أخطار النوات البحرية والتعرية.
محطات الوقود	**200 متر** على الأقل	تجنب مخاطر الحريق والانفجار.
مناطق الخدمات المزدحمة	الابتعاد عن الأسواق والمناطق التجارية والدوائر الأمنية ومواقف الباصات	تقليل الاختناقات المرورية والتكدس الطلابي/البشري.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

3-6. تطبيق معايير الكفاءة التخطيطية والوظيفية (معايير الجذب)

يجب أن تهدف المواقع الجديدة إلى تحقيق **العدالة في التوزيع والكفاءة الوظيفية** للمدرسة الثانوية:

المعيار التخطيطي	المتطلب الجغرافي المقترح	التبرير الوظيفي
التوسط الجغرافي	التوطن في **المنطقة الهامشية (الأطراف)** أو **شبه المركزية** للأحياء.	المدارس الثانوية تخدم عدة أحياء وتحتاج إلى مساحات واسعة غير متوفرة في المراكز القديمة.
المساحة	ضمان توفر **مساحة أرض كافية** للتوسع المستقبلي وإنشاء مرافق رياضية وخدمية ملائمة للمرحلة الثانوية.	دعم متطلبات المنهج التعليمي (الرياضة والمختبرات) وضمان كفاءة الخدمة.
الفصل عن المراحل الدنيا	الابتعاد عن مدارس رياض الأطفال والمدارس الأساسية بمسافة **تزيد عن 600 متر**.	ضمان بيئة تعليمية مناسبة وفصل الفئات العمرية.
الحاجة السكانية	تحديد المواقع في **الأحياء غير المخدومة كلياً** (مثل العيص، الحرشيات، امبيخة) أو الأحياء المخدومة جزئياً ذات الكثافة العالية.	تحقيق مبدأ العدالة المكانية وتقليل المسافة والزمن اللازمين لوصول الطلاب.

4-6. تحديد المو اقع المستقبلية المثلى (الخارطة المدرسية)

لتحقيق الرؤية، يجب اتخاذ الخطوات الآتية:

1. **إنشاء طبقات GIS:** رسم طبقات لجميع معايير الحظر (مجاري السيول، الطرق، المناطق التجارية، إلخ) وتحديد مناطق التقاطع التي يجب استبعادها.
2. **تحديد مناطق الاستجلاب (Catchment Areas):** استخدام **تحليل الثغرات (Gap Analysis)** للكشف عن الأحياء التسعة غير المخدومة والأحياء المخدومة جزئياً التي تقع خارج نطاق تأثير 2,000 متر.
3. **إعطاء الأولوية:** يجب أن تمنح الأولوية العليا لإنشاء مدارس جديدة في:
   - **الأحياء الطرفية الغربية (التوسع العمر اني):** لتعزيز الخدمة في مناطق التوسع الحديث والحد من التباعد المفرط للمدارس الحالية.
   - **الأحياء المضافة (الضواحي سابقاً):** مثل **العيص والحرشيات وامبيخة**، التي تعاني من حرمان كلي من الخدمة.

تطبيق هذه الرؤية الجغرافية سيسفر عن خارطة مدرسية جديدة تعمل على **تحسين مستوى الملاءمة (زيادة نسبة المدارس في الفئتين الملائمة جداً والجيدة)** من خلال توطين المدارس المستقبلية في بيئات آمنة تلبي المتطلبات الوظيفية والتخطيطية للمرحلة الثانوية.

7.نموذج اختيار أفضل المو اقع لإنشاء المدارس الثانوية في المكلا باستخدام نظم المعلومات الجغر افية

استكمالاً لعملية التقييم التي كشفت عن اختلالات جوهرية في مواقع المدارس القائمة، تم تطوير **نموذج مكاني (Spatial Model)** يعتمد على تقنية **نظم المعلومات الجغر افية (GIS)** لترجيح المعايير وتحديد المواقع المثلى (Optimal Sites) لإنشاء مدارس ثانوية جديدة في مدينة المكلا. إن عملية الاختيار معقدة وتعتمد على ترجيح المعايير وفقاً لأهميتها (محمد وأمل، 2017)، وقد تم تطبيقها عبر مراحل شملت تحويل المعايير إلى طبقات مكانية، وإيجاد المسافة، وإعادة التصنيف، وأخيراً، **الجمع الموزون (Weighted Overlay)** لإنتاج خريطة الملاءمة النهائية.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

7-1. تصنيف المواقع حسب درجة الملاءمة

أظهر تحليل خرائط الملاءمة النهائية تنوعاً في تصنيف المواقع عبر أحياء المكلا، حيث قُسِّمت إلى ست فئات رئيسية من حيث مدى ملاءمتها لإقامة المدارس الثانوية:

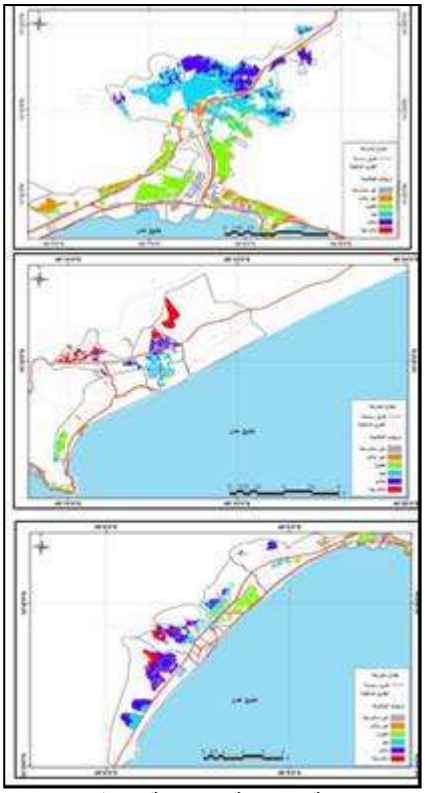
فئة الملاءمة	التوزيع الجغرافي العام	الأحياء الأكثر احتواءً	الأسباب الجغرافية للتمركز
ملائم جداً	الأطراف (الشرقية والغربية)	**الحرشيات، العيص، بويش**، فوّه القديمة، ابن سينا.	قلة العوائق الطبيعية والبشرية، ووفرة المساحات المفتوحة.
ملائم	غرب المدينة، ثم الشرق	ابن سينا، فوّه القديمة، امبيخة، المتضررين، المساكن، بويش، الحرشيات، روكب.	أفضل انتشاراً من الفئة الأولى، وتتركز في الأحياء الجديدة والمخططة.
جيد	المنطقة الغربية (الأولى)، ثم الشرقية، ثم الوسطى (الأخيرة)	المتضررين، المساكن، ابن سينا، روكب، خلف، 30 نوفمبر، 14 أكتوبر، 22 مايو.	يتوزع على المناطق الثلاث ولكن بترتيب تنازلي من الغرب إلى الوسط.
مقبول	معظم أحياء المدينة	المتضررين، خلف، 14 أكتوبر، الثورة، الشهيد خالد، روكب، الصيادين، السلام، 22 مايو.	منتشر بشكل متناثر، وغابت عنه بعض الأحياء الطرفية (العيص، بويش، العمال، فوّه القديمة).
غير ملائم	تركز في المنطقة الوسطى	الشهيد خالد، الصيادين، السلام، الثورة، 30 نوفمبر، 14 أكتوبر، خلف، الحرشيات، المتضررين.	ينتشر في مواقع محدودة ويرتبط بالازدحام وسوء التخطيط.
مرفوضة	تركز في المنطقة الوسطى	العمال (الأول)، السلام، خلف، الصيادين، الثورة، النصر، 14 أكتوبر.	**الأكثر خطورة:** يرتبط بتنوع استعمالات الأراضي (تجاري)، ضيق المساحة، الكثافة العالية، كثرة المجاري المائية، ووجود المقابر.

7-2. الاستنتاجات الجغرافية والتخطيطية للنموذج

1. **المناطق المثلى للتوسع المستقبلي:**
2. يؤكد النموذج أن **أطراف المدينة (الشرقية والغربية)**، الممثلة بأحياء مثل **الحرشيات، العيص، وبويش** (شرقاً) و**ابن سينا وفوّه القديمة** (غرباً)، هي المواقع **الملائمة جداً** لإنشاء المدارس الثانوية مستقبلاً. هذا يرجع إلى وفرة الأراضي الملائمة والبعد عن عوائق وقيود التخطيط القديم.
3. **تجنب المنطقة الوسطى:** تعاني **المنطقة الوسطى** من أسوأ توزيع للملاءمة، حيث **تخلو بالكامل من المواقع الملائمة جداً** وتتركز فيها **المواقع غير الملائمة والمرفوضة** (خاصة أحياء العمال، السلام، والصيادين). هذا يعكس تعقيد التحديات التخطيطية في هذه النواة القديمة.
4. **العلاقة بين التخطيط والملاءمة:** هناك علاقة مباشرة بين جودة التخطيط الحضري ودرجة ملاءمة المواقع؛ فالأحياء التي يغلب عليها التخطيط الحديث والتوسع (الغربية والشرقية الطرفية) تسجل أعلى درجات الملاءمة، بينما الأحياء القديمة والمركزية تعاني من انخفاض حاد في الملاءمة.

ISSN: 2698 - 6159
ISSN (PRINT): 2699 - 2604

5. **توصية التوزيع:** يجب أن تركز الخارطة المدرسية المستقبلية على استغلال المواقع المصنفة **"ملائم جداً"** و"ملائم" في الأطراف لضمان التوزيع العادل والآمن للخدمة، مع **رفض المواقع المرفوضة** بشكل قاطع والعمل على معالجة المخاطر في المواقع القائمة (غير الملائمة) داخل المنطقة الوسطى.



خارطة رقم (22) خارطة الملاءمة المقترحة لمواقع المدارس في مدينة المكلا

من عمل الباحثيين: بالاعتماد على أداة Raster Calculator في برنامج Arc Gis10.8

8. النتائج والتوصيات

كشف التحليل المكاني للتوزيع الجغرافي لمدارس الثانوية الحكومية في مدينة المكلا عن وجود اختلالات هيكلية كبيرة، تظهر في شكل تباين حاد في التوزيع، وتركيز الخدمة في نطاقات محدودة، وعدم كفاءة بعض المواقع القائمة. مما يستدعي تبني استراتيجيات تخطيطية تعتمد المعايير الجغرافية والأدوات التقنية الحديثة لتحقيق العدالة المكانية والكفاءة الوظيفية.

8-1. النتائج

1. **تباين التوزيع والتركيز:**
   - تتوزع المدارس الثانوية على **عشرة أحياء فقط** من أحياء المدينة.
   - تتركز الخدمة بشكل أكبر في أحياء **22 مايو**، **والنصر**، **وروكب**، حيث يوجد مدرستان ثانويتان في كل منها (المرتبة الأولى).
   - تفتقر **تسعة أحياء** بشكل كلي لأي مدرسة ثانوية حكومية.
2. **المركزية والاتجاه العام:**

- يقع **المركز المتوسط (Central Feature)** للمدارس الثانوية في **حي السلام** بوسط المدينة، مما يعكس التركز التاريخي للخدمة في النواة القديمة.
- يمتد **الاتجاه الفعلي لانتشار** المدارس على محور **شمالي شرقي إلى جنوبي غربي**، متوافقاً مع الامتداد الطبيعي والجغرافي لتوسع المدينة.

3. **نمط التوزيع والملاءمة:**

- أظهر تحليل مؤشر الجار الأقرب (NNI) أن نمط التوزيع يتجه نحو أن يكون **متقارباً وعشوائياً**، حيث بلغت قيمة المؤشر **0.81**، مما يؤكد عدم وجود تخطيط مكاني منهجي سابق
- **جودة المواقع (المعدل العام):** جاء التصنيف العام لملاءمة مواقع المدارس الثانوية بمعدل **12.4 درجة خطورة**، مما يضعها في فئة **"مقبول"**.
- **غياب المواقع المثالية:** تخلو المدينة من المواقع التي يمكن تصنيفها **"ملائمة جداً"** (درجة خطورة صفر)، بينما وصلت بعض المواقع إلى فئة **"غير الملائم جداً"**، متمثلة في **ثانوية الزهراء وثانوية الحداد**.

4. **خرائط الملاءمة المكانية:**

- أبرزت الخرائط أن المواقع "المثالية/ الملائمة جداً" المستقبلية تتركز في الأطراف الشمالية والغربية للمدينة (مثل العيص، الحرشيات، فوة القديمة، وابن سينا)، حيث تتوفر المساحات الواسعة وتقل العوائق الطبيعية والاصطناعية.
- في المقابل، تهيمن فئة "المواقع غير الملائمة" على الأحياء المركزية والقديمة، وعلى رأسها **حي العمال**، بسبب الازدحام وضيق المساحة وقربها من مصادر التلوث والضجيج.

8-2. التوصيات

بناءً على الاختلالات الجغرافية والتخطيطية المكتشفة، يوصي البحث بما يلي لتحسين جودة وتوزيع خدمات التعليم الثانوي:

1. **اعتماد التخطيط المكاني الاستراتيجي:**

- **تجنب الارتجالية:** يجب على الجهات المسؤولة **التوقف عن الاختيار العشوائي** لمواقع المدارس والاعتماد الكلي على **التخطيط المكاني للخدمات التعليمية**.
- **تحقيق التوازن:** يجب أن يضمن التخطيط المستقبلي **التوازن المكاني** في توزيع الخدمات التعليمية بما يتناسب مع **التوسع العمراني** للمدينة و**الكثافة السكانية** في الأحياء الطرفية الجديدة والمحرومة.

2. **تبني المعايير والشروط التخطيطية:**

- **إلزامية المعايير:** يجب على مكتب التربية والتعليم والجهات التخطيطية **تبني وتطبيق المعايير والشروط المحددة** في هذه الدراسة (كالمسافات الفاصلة عن السيول والطرق) عند اختيار مواقع المدارس في جميع المراحل.
- **مراعاة الخصائص الجغرافية:** يجب أن تتلاءم المواقع مع **الاحتياجات الخاصة لكل مرحلة تعليمية** وتتوافق مع **الخصائص الطبيعية والبشرية** لمدينة المكلا (مثل التوسع الطولي والقيود الساحلية).

3. **استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS):**

- **وسيلة تقنية الزامية:** يدعو البحث إلى **إلزام جميع الإدارات التخطيطية والتنظيمية** في الحكومة المحلية باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية بصفتها أداة حاسمة لإجراء **التحليل المكاني المعقد** وتقديم **حلول مستنيرة** للمشاكل التخطيطية التي تواجه الخدمات العامة والتعليمية.

وبذلك، يمكن للجهات المعنية الانتقال من مرحلة معالجة الاختلالات إلى مرحلة بناء نظام تعليمي ثانوي يتميز بالعدالة المكانية والكفاءة الوظيفية والمرونة المستقبلية.

المراجع:

1. باحاج، عبد الله سعيد: **مدن ساحل حضرموت نشأتها وتطورها العمراني والسكاني**، دار دوعن للنشر والتوزيع، المكلا، الجمهورية اليمنية، ط1، 2015م.
2. باحاج، عبد الله سعيد: **موانى اليمن وخليج عدن**، بحث مقدم لنيل شهادة الكفاءة في البحث، الجامعة التونسية، 1982م.
3. البار، علي حسين: **أدارة النفايات الصلبة في مدينة المكلا برؤية جغرافية**، مجلة اليمن، العدد37، 2016م.
4. البار، علي حسين: **الخصائص المكانية والسكانية لمدينة المكلا وأثرها في توسعها المستقبلي**، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة عدن، عدن، الجمهورية اليمنية، 1997م.
5. بسمة بنت سلامة الرحيلي: **استخدام نظم المعلومات الجغرافية لتقييم الوضع الراهن لمواقع مدارس** البنات الحكومية بمدية مكة المكرمة، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة ام القرى، السعودية، 2006م.
6. جلال، عبده إبراهيم عثمان: **حوض وادي رزان دراسة في جغرافية الموارد المائية**، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة البصرة، البصرة، العراق، 2001.
7. جمهورية اليمن الديمقراطية الشعبية، الجهاز المركزي للإحصاء م/حضرموت (1983)، المجموعة السنوية الإحصائية، العدد الثالث لعامي 1981/80م، أبريل جدول (1/3).
8. جمهورية اليمن الديمقراطية الشعبية، الجهاز المركزي للإحصاء م/حضرموت (1988).
9. الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء (2006)، النتائج النهائية لتعداد 2004م م/حضرموت، التقرير الأول.
10. الجمهورية اليمنية، وزارة التخطيط والتعاون الدولي، الجهاز المركزي للإحصاء (1996)، النتائج النهائية لتعداد 1994م م/حضرموت، التقرير الثاني، جدول رقم (5).
11. الجمهورية اليمنية، وزارة التربية والتعليم، مكتب التربية والتعليم ساحل حضرموت، مكتب التربية والتعليم مديرية المكلا، إدارة الإحصاء
12. الجوهي، عبد الله علي: **تحليل وتقييم خريطة الخدمات التعليمية قبل الجامعية في ساحل حضرموت** (دراسة كارتوجرافية)، جامعة أسيوط، رسالة ماجستير (غير منشورة)، مصر، 2015م.
13. الجوهي، محمد سالم: **النمو الحضري في ساحل حضرموت بين الشحر وحله**، أطروحة دكتوراه (غير منشورة)، جامعة بغداد، العراق، 1998م.
14. حواط، طارق غسان: **دراسة المتغيرات الهندسية في تحديد مواقع المنشئات التعليمية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (حالة دراسية المنشئات التعليمية في مدينة صافيتا**، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق، سوريا، 2015.
15. داؤود، جمعة محمد: **اسس التحليل المكاني في إطار نظم المعلومات الجغرافية**، 2012م.

16.الرواندي، عمر: **توظيف نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بُعد في تحديد أفضل المواقع للمؤسسات التعليمية في أربيل**، مجلة العمران، العدد 2016/17،5.

17.سليمان، هند إبراهيم رضوان: **التعليم قبل الجامعي في محافظة المنوفية (دراسة في جغرافية الخدمات)**، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية البنات للآداب والعلوم والتربية، جامعة عين شمس، مصر، 2016.

18.الشعملي، عوض عبد الله: **الموارد المائية واستخداماتها في ساحل حضرموت**، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة حضرموت، الجمهورية اليمنية، 2013م.

19.شقير، هبة محمد حمودة: **توزيع وتخطيط الخدمات التعليمية في محافظة سليفت** باستخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الدراسات العليا، جامعة النجاح الوطنية، نابلس، فلسطين، 2009م.

20.صبيح، عمر عوض (1995): **بعض الخصائص الطبيعية وتأثيراتها على البيئة البحرية**، بحث مقدم إلى مركز أبحاث علوم البحار والموارد البحرية، عدن.

21.عبد الخالق، حسين عبد الفتاح محمد: **سكان محافظة السويس دراسة ديموغرافية**، أطروحة دكتوراه (غير منشورة)، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية، مصر، 2007.

22.عبد العال، نجلاء عبد التواب عيسى: **خريطة رقمية مقترحة لمدارس التعليم الأساسي في محافظة** بني سويف حتى عام 2025م (دراسة تطبيقية بمركز ناصر)، مجلة العلوم التربوية، العدد الثاني، المجلد 2، 2017م.

23.عجمي، نجوى عبيد: تقويم **كفاءة الخدمات التعليمية (رياض الأطفال) في منطقة العامرية**. مجلة المخطط والتنمية، العدد16، 2012.

24.عزيز، محمد الخزامي: **دراسات تطبيقية في نظم المعلومات الجغرافية**، دار العلم، ط1، 2007م.

25.عسكر، احمد علي: **التحليل المكاني للمدارس الحكومية في مدينة غزة** باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (حالة دراسية حي الشيخ علجين)، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية، غزة، فلسطين، 2015م.

26.الغيري، محمد إبراهيم، الصقري، صفية حمد: **تحليل نمط التوزيع المكاني لمدارس البنات الثانوية في أحياء مدينة بريدة (دراسة في جغرافية الخدمات)**، جامعة القصيم، 2011.

27.قنزل، عوض (2000) تقرير حول مياه المكلا والوضع الراهن للمؤسسة. مؤسسة المياه والصرف الصحي، حضرموت، اليمن.

28.محمد، إسلام محمد جابر، إبراهيم، أمل إبراهيم نور الدين (2017): **التحليل المكاني للخدمات التعليمية بمدينة قنا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية**، كلية الآداب، جامعة جنوب الوادي، مصر،

29.محمد، إسلام محمد جابر، إبراهيم، أمل إبراهيم نور الدين: **التحليل المكاني للخدمات التعليمية بمدينة قنا باستخدام نظم المعلومات الجغرافية**، كلية الآداب، جامعة جنوب الوادي، مصر، 2017.

30.المحمدي، مكي غازي عبد اللطيف (2015): **الأسلوب الخرائطي الأمثل لتقييم واقع الخدمات التعليمية** في مدينة سامراء، مجلة الأستاذ، جامعة بغداد، العدد 213.

31.يوسف، عبد الحكيم محمد (2000): **بعض الظواهر الجوية المؤثرة في تشكيل مناخ اليمن**، بغداد، أطروحة دكتوراه غير منشورة.