

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences

A Biannual Peer-Reviewed Research Journal
issued by Ar-Rasheed Smart University, Yemen

Volume (1) Number (1) June 2026

- ♦ Quantitative Spectrophotometric Analysis of Metoclopramide Hydrochloride in Pharmaceutical Tablets via Bromination Reaction
- ♦ Evaluation of Renal Function Biomarkers in Yemeni Patients with Transfusion-Dependent β -Thalassemia
- ♦ Learning Analytics of Timing-Based Enrollment Behaviors for Early Academic Attrition Prediction
- ♦ Analysis and Tuning of PID and Fuzzy Logic Controllers for a DC Motor-Driven Quadcopter Drone Altitude Control System
- ♦ The Meta-Governance of Actors in Achieving Sustainable Development Goals: A Conceptual Framework for the Housing Sector

Journal Website

<https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUJBAS/en>

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences

A Biannual Peer-Reviewed Research Journal
issued by Ar-Rasheed Smart University, Yemen

Volume (1) Number (1) June 2026

Ar-Rasheed Smart University, 14th October St., Haddah, Sana'a, Yemen

University Website

<https://ar-rasheed.edu.ye>

Journal Email

rujbas@ar-rasheed.edu.ye

Editorial Board

Editor -in-Chief

Prof. Sameer A. M. Abdulrahman

Ar-Rasheed Smart University & Albaydha University, Yemen

Editorial Board Members

Prof. Ekram Fadhl Al-Eryani

Ar-Rasheed Smart University &
Sana'a University, Yemen

Assoc. Prof. Abdul-Malik Ebrahim Momin

Ar-Rasheed Smart University &
Sana'a University, Yemen

Prof. Abdullah Ahmed Ali Ahmed

Thamar University, Yemen

Assoc. Prof. Essam Ahmed Al-Moraissi

Thamar University, Yemen

Assoc. Prof. Murad Abdo Rassam

Taiz University, Yemen

Prof. Fahd Abdo Al-Mekhlafi

Thamar University, Yemen &
King Saud University, Saudi Arabia

Prof. Usama Salman Altimari

Al-Nisour University, Iraq

Prof. Abdulsalam Mohammed Al-Mekhlafi

Sana'a University, Yemen

Prof. Wael Abdulmoghni Alaghbari

Sana'a University & International University of Technology Twintech, Yemen

Advisory Board

Assoc. Prof. Latifa Aubad Al-Najjar

Ar-Rasheed Smart University &
Sana'a University, Yemen

Assoc. Prof. Mohammed Abdu Mahdy

Sana'a University, Yemen

Dr. Sam Saleh Al-Dalali

Ibb University, Yemen

Assoc. Prof. Ibrahim Mohammed Alshaikh

University of Science and Technology, Yemen

Dr. Raeed Abdu Alsabri

Hamad Bin Khalifa University, Qatar

Assoc. Prof. Kirti Pal

Gautam Buddha University, India

Dr. Mohammed Abdullah Salman

Amran University, Yemen

Dr. Sayida Ahmed Al-Jamei

Lebanese international University, Yemen

Assoc. Prof. Boshra Abdulrehman Al-absi

Sana'a University, Yemen

Language Editing

Arabic

Dr. Tariq Abdulhkeem Alwabhani

English

Dr. Faisal Ali Aldawli

Production

Abdullah Yahya Al-Jaboobi

Rector's Foreword

It is with great pleasure that I welcome our readers to the inaugural issue of the Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences. The launch of this journal represents more than the introduction of a new academic publication; it reflects Ar-Rasheed Smart University's commitment to establishing a culture in which scientific inquiry, rigorous research, and practical relevance are integral to the mission of the university.

Universities fulfill their intellectual responsibility not simply by transmitting established knowledge, but by creating environments in which knowledge is questioned, tested, extended, and transformed into solutions. This is particularly important in societies facing complex and rapidly changing challenges, where scientific research must serve not only the advancement of knowledge itself, but also the improvement of human life and the development of institutions and communities.

The contributions presented in this first issue reflect this orientation. They address diverse areas of scientific and applied inquiry, ranging from pharmaceutical analysis and biomedical investigation to learning analytics, engineering and intelligent control systems, and governance for sustainable development. Despite their disciplinary diversity, these studies share an important characteristic: they seek to connect systematic inquiry with problems of practical significance. This diversity makes our journal distinguished.

The boundaries between disciplines are becoming increasingly permeable, as many of the most important contemporary problems cannot be understood—or solved—within a single field of knowledge. Progress therefore depends not only on deeper specialization, but also on the capacity to connect scientific perspectives, methods, technologies, and contexts of application.

For Ar-Rasheed Smart University, establishing this journal is part of a broader commitment to developing a sustainable research culture. We aspire for it to become a credible platform for researchers from Yemen, the Arab region, and the wider international academic community; a platform that values methodological rigor, intellectual openness, research integrity, and work capable of contributing meaningfully to both scholarship and practice.

The publication of a first issue is, of course, only a beginning. The true measure of a scholarly journal lies in the quality it sustains over time: the strength of its peer-review process, the integrity of its editorial standards, the relevance of the questions it encourages, and the confidence it earns among researchers and readers. These are the standards toward which we intend this journal to grow.

I extend my sincere appreciation to the Editorial Board, reviewers, researchers, and all those whose efforts have made this inaugural issue possible. I also congratulate the authors whose work appears in these pages and thank them for entrusting the journal with their scholarship.

As we launch this journal, our aspiration is both simple and demanding: to create a space where knowledge does not end with publication, but begins its journey toward application, innovation, and impact.

Prof. Abdullateef Haidar
Rector, Ar-Rasheed Smart University

Editorial

It is our distinct privilege to welcome researchers, academics, and readers from around the world to the inaugural issue of the Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences. This peer-reviewed journal is conceived as a premier scholarly platform dedicated to enriching scientific literature, fostering interdisciplinary innovation, and bridging the gap between theoretical inquiry and practical application in order to address the pressing challenges confronting contemporary societies.

The foundational philosophy of our journal rests on the firm conviction that human progress is propelled by scientific synergy. While the basic sciences endeavor to uncover the laws of nature and establish foundational theories, the applied and engineering sciences translate this fundamental knowledge into tangible technologies. Concurrently, robust governance frameworks ensure the sustainability, institutional coherence, and societal relevance of these scientific advancements.

This inaugural issue features a curated selection of five pioneering articles, showcasing exceptional research across a broad spectrum of modern scientific domains. **Pharmaceutical Analytical Chemistry:** The first paper presents the development and validation of a sensitive visible spectrophotometric method for the quantification of metoclopramide hydrochloride in both its raw material and tablet dosage forms. **Clinical Biochemistry and Medical Sciences:** In the realm of clinical diagnostics, the second study offers a critical evaluation of renal function biomarkers -specifically urea, creatinine, and eGFR - among Yemeni patients with transfusion-dependent beta-thalassemia. **Learning Analytics and Academic Attrition Prediction:** Addressing the institutional imperative of student retention, the third paper employs a sophisticated learning analytics framework to investigate timing-based enrolment behaviors - including late enrollment, academic planning regularity, and enrolment procrastination - as early predictors of late course drops across micro, meso, and macro scales. **Control Systems Engineering and Drone Technology:** Within the engineering and robotics domain, the fourth paper provides a comprehensive modelling, design, tuning, and comparative analysis of Proportional-Integral-Derivative (PID) and Fuzzy Logic Controllers (FLC) for altitude control in a DC motor-driven quadcopter. **Meta-Governance and Sustainable Housing Development:** Concluding this inaugural issue is an insightful study in governance and public policy that seeks to construct a "meta-governance" model tailored to the institutional specificities of Arab nations, with the aim of achieving the housing-related targets of the 2030 Sustainable Development Goals (SDGs).

We extend our profound gratitude and sincere appreciation to the members of our Editorial Board, Advisory Panel, and the dedicated team of peer reviewers, whose rigorous standards and constructive feedback have been instrumental in ensuring the high quality of the works published herein. We are equally indebted to the contributing authors, who have entrusted their innovative research to our journal. We trust that our readers will find this inaugural issue intellectually enriching and inspiring - a fitting commencement to what we hope will be a long and fruitful scholarly journey.

On the occasion of this milestone, we are pleased to extend a cordial invitation to distinguished researchers to submit their scientific contributions and valuable research for consideration in the second issue of the journal. We wish you an engaging and rewarding reading experience, and we greatly welcome your insightful comments and suggestions at the following email address: rujbas@ar-rasheed.edu.ye

Prof. Sameer A. M. Abdulrahman

Editor-in-Chief

Contents

Title	Page No.
Rector's Foreword	IV
Editorial	VI
Quantitative Spectrophotometric Analysis of Metoclopramide Hydrochloride in Pharmaceutical Tablets via Bromination Reaction Sameer A. M. Abdulrahman, Ibrahim Alansi, Ayman Al-Kheat, Al-Hussain Al-Arasi, Hothaifah Mudhafar, Anas Maodha, Akram Al-Wasai, Mohammed Al-Idrisi, Abdulkareem Qutaish	1
Evaluation of Renal Function Biomarkers in Yemeni Patients with Transfusion-Dependent β-Thalassemia Boshra Al-absi, Elham Qateena, Nada Anam, Rahma Noman, Raghad AL-shmahi, Amjed AL-asbahi.....	14
Learning Analytics of Timing-Based Enrollment Behaviors for Early Academic Attrition Prediction Anwar Ali Yahya.....	24
Analysis and Tuning of PID and Fuzzy Logic Controllers for a DC Motor-Driven Quadcopter Drone Altitude Control System Adel Rawea, Mohammed Almodhwahi	49
Meta-Governance of Actors in Achieving Sustainable Development Goals: A Conceptual Framework for the Housing Sector Esam A. Haidar	61

About the Journal

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences (RUJBAS) is a Peer-Reviewed Research Journal issued by Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen. It is an open access journal, published electronically twice a year and accepts manuscripts in both Arabic and English. The journal aims to publish original research, review articles, short communications and case studies in the fields of medical, engineering, technical and natural sciences.

Aims

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences aims to:

- Publish original and impactful research in basic and applied sciences.
- Provide a rigorous peer-reviewed platform for the global scientific community.
- Foster interdisciplinary dialogue and collaboration among researchers.
- Provide support to early-career researchers and postgraduate students.
- Promote the practical application of scientific findings for societal benefits.

Scope

The Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences accepts submissions in the form of original research, reviews, short communications, and case studies within, but not limited to, the following fields:

- Medical & Health Sciences: Medicine, Surgery, Dentistry, Pharmacy, Laboratory Medicine, Nursing, Public Health, Nutrition, and Veterinary Medicine.
- Engineering & Technology: Architectural, Civil, and Mechatronics Engineering; Information Technology, Cybersecurity, and Artificial Intelligence.
- Design & Media: Interior Design, Graphics and Multimedia.
- Natural & Basic Sciences: Chemistry, Physics, Biology, Mathematics, and Agriculture.

Article Processing Charge

Manuscripts submitted to RUJBAS before December 31, 2026, will be published free of charge. A nominal article processing charge (APC) may apply to articles submitted after this date to support the journal's operational costs.

Author Guidelines

- Manuscripts must be written in clear and correct English or Arabic. Authors are strongly encouraged to have their manuscripts professionally proofread before submission. Manuscripts with poor language quality may be returned or rejected without review. The journal reserves the right to perform required language editing on accepted manuscripts.

Manuscript Preparation

- Manuscripts should be written in a single-column format, 1.5- spaced lines, 2.5 cm margins, a standard font type (preferably Times New Roman for English articles or Traditional Arabic for Arabic articles) and size (14 for titles and headings; 12 for text). Manuscript pages should be numbered.
- The sections should be arranged in the following order: Title Page, Abstract, Keywords, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Conclusion, Acknowledgments (Optional), Data Availability, Funding, References, Tables and Figures are inserted in their proper places within the text. Only the first letters of words in the Title, Headings and Subheadings are capitalized. Headings and Subheadings should be in bold fonts.
- Title Page: It includes the title of the manuscript (it should be concise and informative), authors' names with surnames and affiliations. The affiliation should comprise the department, institution, city and country. At least one author must be designated with an asterisk (*) as the person to whom correspondence should be addressed and their complete mailing address and e-mail address should also be included. The corresponding author is requested to provide their Open Researcher and Contributor Identifier (ORCID) ID and the ORCIDs of all co-authors in the title page, as possible.
- Abstract: It must consist of a single paragraph, not exceeding 200 words, and it should be written in a structured manner and with particular care to highlight the objective, methods used, results and major findings. Authors submitting manuscripts are required to provide the following metadata in both the language of the manuscript and its counterpart. For manuscripts written in English, the title, author names and affiliations, abstract, and keywords must also be submitted in Arabic. Conversely, for manuscripts written in Arabic, the title, author names and affiliations, abstract, and keywords must also be submitted in English.

- **Keywords:** After the abstract, a list of 3-7 keywords, that accurately represent the manuscript's content, should be provided for indexing.
- **Introduction:** It should include the objective of the study and its relationship to earlier studies in the field, and it should not exceed one and half typed pages.
- **Materials and Methods:** It should provide sufficient details for a competent researcher to reproduce the experiments, while remaining concise and avoiding repetition of previously published methods.
- **Results:** This section should present the study's findings in Tables and Figures in addition to required data in the text.
- **Discussion:** It should be concise, focusing on interpretation of the main findings and their comparison with previous studies without repetition of the same results. The limitations and/or strengths of the current study can also be discussed.
- **Conclusion:** This section should be a brief account of the major results of the current study and can indicate any suggestions for future research.
- **Acknowledgments (Optional):** This section is dedicated to thanking individuals who have made intellectual or technical contributions to the research, but do not meet authorship criteria. Organizations that supplied facilities, equipment, or other support necessary for the research should also be referred to in the acknowledgments.
- **Data Availability:** A data availability statement is required for all manuscripts. Authors must clearly indicate whether the data supporting their findings are publicly available. If the data are open and accessible, authors should provide the repository name and a persistent identifier (e.g., DOI). If the data cannot be made publicly available due to data sensitivity or other considerations, and can only be provided by the corresponding author upon request, the following statement should be used: "The data are not publicly available due to [specify reason, e.g., ethical or privacy concerns] and are available from the corresponding author upon request." If no new data were created or analyzed in the study, the following statement should be used: "No data were created or analyzed in this study".
- **Funding:** All sources of financial support for the research must be clearly disclosed at the end of the manuscript, including grant numbers and the funder's role. If no funding was received, this statement should be made: "This research received no external funding".
- **References:** All references cited in the text of the manuscript must be included in the reference list, and vice versa. The reference list should not contain unpublished

results or personal communications. Authors are responsible for ensuring the accuracy of all references.

Preparing and Formatting References

- The Vancouver referencing style is used, with certain modifications to suit the journal's scientific publication requirements. Authors are required to follow the guidelines and illustrative examples provided below.
- In-text reference style: All references must be numbered sequentially based on the order they first appear in the text. Cite these references using the appropriate Arabic numerals in square brackets. For example: [4] or [4, 5] or [6-9]. While you may mention an author's name (e.g., "Yasser [4] indicated that ..."), the corresponding reference number in square brackets must always be provided.
- Reference list style: At the end of the manuscript, references should be listed in numerical order, ensuring that each reference in the list corresponds to the number cited in the text. For every electronic reference, the Digital Object Identifier (DOI) must be provided, whenever available, as a complete hyperlink (e.g., <https://doi.org/xxxxx>). All authors should be listed if there are six or fewer; if there are seven or more authors, list the first six followed by 'et al.' The referencing style should conform to the following examples:

Reference to a journal article:

Jun S, Joo SH, Ryoo R, Kruk M, Jaroniec M, Liu Z, Ohsuna T, Terasaki O. Synthesis of new, nanoporous carbon with hexagonally ordered mesostructure. Journal of the American Chemical Society. 2000;122(43):10712-13.
<https://doi.org/10.1021/ja002261e>

Brajesh K, Aldobali M, Pal K, Khan M. Segmental body BIA device development for fracture detection. Scientific Reports. 2025;15:45715.
<https://doi.org/10.1038/s41598-025-28403-w>

Reference to a book:

Iannucci, JM, Howerton LJ. Dental radiography: principles and techniques. 6th ed. Missouri: Elsevier, Inc.; 2022.

Reference to a chapter in a book:

Miyawa JH, Schulman SG. Ultraviolet-visible spectroscopy. In: Ohannesian L, Streeter AJ, editors. Handbook of pharmaceutical analysis. New York: Marcel Dekker Inc.; 2002. p. 187-224.

Reference to an unpublished thesis:

Devi OZ. Analytical studies on some drugs used in the treatment of hyperacidity, reflux and ulcer. [Unpublished doctoral dissertation]. Mysore (Karnataka): University of Mysore; 2011.

Tables

- The tables must be in the form of editable texts, not as static images.
- Tables must be numbered sequentially within the main text.
- All tables must be numbered using Arabic numerals in the order they appear in the text.
- A descriptive caption must be provided for each table.
- Explanatory notes-if any- must be placed directly below the table.

Figures

- Each figure must be referred to sequentially in the main text.
- All figures (including diagrams, charts, and photographs) must be numbered consecutively in Arabic numerals, in the order they are cited in the text.
- Provide a caption for each figure.
- Figures should be supplied as JPEG, TIFF, PNG or Microsoft Word (DOC or DOCX) files for figures that have been drawn in word.
- Figures should be in a high quality (1200 dpi for line art, 600 dpi for grayscale and 300 dpi for colour, at the correct size).

Revised Manuscript Submission

Authors may be required to revise their manuscripts based on reviewers' comments. When a revised manuscript is submitted, authors must include a point- by-point response to the reviewers' comments. Authors must also submit a clean version of the revised manuscript and a track-changes version showing all changes made during the revision process.

Accepted Manuscripts

Upon acceptance of the manuscript for publication, it will not be published until the corresponding author submits a written declaration confirming that the work is original, has not been published previously, is not under consideration for publication elsewhere, and that all authors have read and approved the final version of the manuscript.

Proofs

Upon receiving the first proofs of the manuscript, the corresponding author is responsible for submitting any necessary corrections to the journal within three days. The purpose of the proofs is to verify the accuracy of the typesetting, confirm the completeness and correctness of the text, tables, and figures, and identify any errors introduced during the production process. Only minor corrections are acceptable at this stage; major alterations are not permitted. Any corrections needed after publication will be addressed through formal errata, corrigenda, or retractions, as appropriate.

Copyright Notice

- Authors retain the copyright of their published work in Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences. No transfer of copyright is required. All articles are published under the [Creative Commons Attribution 4.0 International License](#) (CC BY 4.0). This license permits anyone to copy, redistribute, remix, transform, and build upon the material for any purpose, even commercially, provided appropriate credit is given to the original author(s) and source, a link to the license is provided, and any changes made are clearly indicated. By submitting to RUJBAS, authors agree to publish their research under this license .
- Authors are responsible for obtaining permission to reproduce any copyrighted material (e.g., figures, tables, or extensive quotations) included in their manuscript and for providing appropriate attribution.

Disclaimer

All articles, communications, and editorials published in RUJBAS reflect the personal opinions of their respective authors. The journal and its editor disclaim all responsibility and liability for any application of, or reliance upon the information provided herein.

Quantitative Spectrophotometric Analysis of Metoclopramide Hydrochloride in Pharmaceutical Tablets via Bromination Reaction

Sameer A. M. Abdulrahman*^{1,2}, Ibrahim Alansi³,
Ayman Al-Kheat³, Al-Hussain Al-Arasi³, Hothaifah Mudhafar³,
Anas Maodha³, Akram Al-Wasai³, Mohammed Al-Idrisi³,
Abdulkareem Qutaish³

¹Department of Pharmacy, Faculty of Medicine and Health Sciences, Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen

²Department of Chemistry, Faculty of Education and Sciences-Rada'a, Albaydha University, Albaydha, Yemen

³Department of Pharmacy, College of Medical Sciences, Al-Hikma University, Dhamar, Yemen

*Corresponding Author:

E-mail: sameer.alromimah@ar-rasheed.edu.ye

Received: 28 April 2026

Revised: 26 May 2026

Accepted: 8 June 2026

Abstract

This study aimed to suggest and validate a simple and sensitive visible spectrophotometric method for the quantification of metoclopramide hydrochloride (MCPH) in its pure form and pharmaceutical tablets. The method uses bromine generated *in situ* by the action of an acid on a mixture of bromate and bromide, which acts as an environmentally friendly brominating agent for the bromination of MCPH. It enables a cost-effective analysis while eliminating the handling of hazardous liquid bromine. The method is based on adding a carefully measured excess of bromate-bromide reagent to MCPH solution in an acidic medium. Upon completion of the reaction, the residual bromine is quantified by reacting it with a fixed amount of methylene blue dye, followed by measuring the absorbance at 665 nm. Under optimal conditions, MCPH can be quantified over a concentration range of 1.25–25.0 µg/mL, with a molar absorptivity of 1.032×10^4 L/mol.cm and a Sandell's sensitivity of 0.0326 µg/cm². Experimental *t*- and *F*-values were calculated and compared with critical tabulated values using Student *t*-test and *F*-ratio at a 95% confidence level, confirming no significant difference between the official and suggested methods in terms of accuracy and precision. The suggested method was successfully applied for the analysis of MCPH in raw material and tablets, and its reliability was confirmed using a standard addition method.

Keywords: Metoclopramide hydrochloride, bromate-bromide mixture, methylene blue, spectrophotometry, pharmaceutical tablets.

التحليل الطيفي الكمي لهيدروكلوريد الميتوكلوبراميد في الأقراص الصيدلانية عبر تفاعل البرومة

سميرع. م. عبد الرحمن*^{2,1}، إبراهيم العنسي³،
أيمن الخياط³، الحسين العراسي³، حذيفة مظفر³،
أنس معوضة³، أكرم الواسعي³، محمد الإدريسي³، عبد الكريم قطيش³

¹قسم الصيدلة، كلية الطب والعلوم الصحية، جامعة الرشيد الذكية، صنعاء، اليمن

²قسم الكيمياء، كلية التربية والعلوم ردا، جامعة البيضاء، البيضاء، اليمن

³قسم الصيدلة، كلية العلوم الطبية، جامعة الحكمة، ذمار، اليمن

*المؤلف المراسل:

الإيميل: sameer.alromimah@ar-rasheed.edu.ye

تاريخ التقديم: 28 أبريل 2026 تاريخ إرسال التعديلات: 26 مايو 2026

تاريخ القبول: 8 يونيو 2026

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى اقتراح طريقة طيفية مرئية بسيطة وحساسة والتحقق من صحتها لتقدير كمية هيدروكلوريد الميتوكلوبراميد (MCPH) في شكله النقي وفي الأقراص الصيدلانية. تستخدم هذه الطريقة البروم المُنتَج في الموقع (*in situ*) بتأثير الحامض على خليط من البرومات والبروميد، والذي يعمل كعامل برومة صديق للبيئة لبرومة هيدروكلوريد الميتوكلوبراميد. تتيح هذه الطريقة تحليلاً منخفض التكلفة مع إلغاء الحاجة إلى التعامل مع البروم السائل الخطير والسام. اعتمدت الطريقة على إضافة زيادة مُقاسة بدقة من كاشف البرومات والبروميد إلى محلول الميتوكلوبراميد في وسط حامضي. وبعد اكتمال التفاعل، تم تقدير البروم المتبقي من خلال تفاعله مع كمية ثابتة من صبغة أزرق الميثيلين، ثم قياس الامتصاص عند طول موجي قدره 665 نانومتر. وفي الظروف المثل، يمكن تقدير الميتوكلوبراميد ضمن نطاق تركيز يتراوح بين 1.25 و 25.0 ميكروغرام/مل، بمعامل امتصاص مولاري قدره 1.032×10^4 لتر/مول. سم وحساسية ساندل قدرها 0.0326 ميكروغرام/سم². وتم حساب قيم *t* و *F* العملية ومقارنتها بالقيم الجدولية الحرجة باستخدام اختبار الطالب *t* ونسبة *F* عند مستوى ثقة 95٪، مما أكد عدم وجود فروق جوهرية بين الطريقة المقترحة والطريقة المعتمدة من حيث الدقة والمصادقية. طُبِّقَت الطريقة المقترحة بنجاح لتحليل الميتوكلوبراميد في المادة الخام وفي الأقراص، وتأكدت موثوقيتها باستخدام طريقة الإضافة القياسية.

الكلمات المفتاحية: هيدروكلوريد الميتوكلوبراميد، خليط البرومات والبروميد، أزرق الميثيلين، التحليل الطيفي، الأقراص الصيدلانية

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 2135-6842 | E-ISSN: 2135-6850 / © 2026 The Authors. Published by Ar-Rasheed Smart University, Yemen.

Journal website: <https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUJBAS/en>

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences 2026, 1(1), 1-13

<https://doi.org/10.67151/rujbas.v1i1.29>

1. Introduction

Metoclopramide hydrochloride (MCPH), chemically known as 4-amino-5-chloro-N-[2-(diethylamino)ethyl]-o-anisamide monohydrochloride monohydrate, has the chemical structure shown in Figure 1. Its molecular formula is $C_{14}H_{23}Cl_2N_3O_2$ while its molecular weight is 336.26 g/mol. The drug appears as a white or almost white crystalline powder, and it has been reported to be freely soluble in alcohol, very soluble in water, and sparingly soluble in methylene chloride [1].

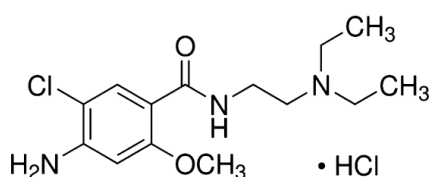


Figure 1. Chemical structure of metoclopramide hydrochloride.

Metoclopramide acts as a dopamine receptor antagonist. It is used to treat and prevent nausea and vomiting. It also influences 5-HT₃ receptors in the gastrointestinal tract, though at concentrations higher than those typically achieved in standard therapy. Although metoclopramide has been partly supplanted by newer related compounds, it remains the most extensively used antiemetic drug of neuroleptic type. Consequently, the most comprehensive understanding of its adverse effects, particularly neuroleptic and endocrine reactions, has emerged from its long-term use. These effects are generally short-lived upon treatment discontinuation; however, the duration of their adverse profile cannot always be fully explained by straightforward pharmacokinetic principles. A review of the evidence for using metoclopramide to treat gastroesophageal reflux in infants led to an inconclusive recommendation for this indication [2].

Literature on the quantitative analysis of MCPH reveals that extensive research has been carried out for the determination of MCPH alone in pharmaceutical products. These investigations include techniques such as high-performance liquid chromatography, ultra-performance liquid chromatography, potentiometry, voltammetry, spectrofluorimetry, chemiluminescence, flow injection analysis, titrimetry, atomic absorption spectrometry, UV spectrophotometry [3-8], and visible spectrophotometry [9-44].

Despite their availability, many of these methods suffer from certain limitations, including the use of expensive instrumentation, complex and time-consuming procedures, extensive sample preparation steps, or the use of toxic organic solvents. Furthermore, several reported visible spectrophotometric methods lack sufficient sensitivity or require critical experimental conditions, which limit their applicability in routine quality control laboratories. To the best of the researchers' knowledge, no previous studies have employed a bromate-bromide (BB) mixture as an environmentally friendly brominating agent for the determination of MCPH in pharmaceutical dosage forms. The present study introduces a simple, sensitive, and environmentally friendly visible spectrophotometric method for the quantification of MCPH in pharmaceutical tablets.

The suggested method is based on the *in situ* generation of bromine from a BB mixture in an acidic medium, which serves as a safe alternative to hazardous elemental bromine. Following the bromination of MCPH, the residual bromine reacts with methylene blue (MB) dye, and the increase in absorbance is measured at 665 nm. This approach offers several distinct advantages over many of the previously reported methods, including simplicity, cost-effectiveness, high sensitivity, elimination of toxic organic solvents, and absence of heating or extraction steps, making

it particularly suitable for routine quality control analysis.

2. Materials and Methods

2.1. Instrument

All absorbance readings were carried out using a V-1000 visible spectrophotometer (AOE Instruments, Shanghai, China) fitted with matched quartz cells of 1 cm path length.

2.2. Reagents and Chemicals

All chemicals and reagents used in this investigation were analytical grade, and only distilled water was utilized.

Bromate-bromide (BB) mixture: 50 mg of potassium bromate (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., Mumbai, India) and 500 mg of potassium bromide (HiMedia Laboratories Pvt. Ltd., Mumbai, India) were precisely weighed, dissolved in distilled water, and diluted to the appropriate volume in a 100 mL volumetric flask to obtain a standard stock solution equivalent to 500 $\mu\text{g/mL}$ KBrO_3 . After diluting this stock solution with water, a working BB mixture solution with a KBrO_3 concentration of 35 $\mu\text{g/mL}$ was obtained for use in the suggested method. The BB stock solution was found to be stable for up to 4 weeks when protected from light and stored in a tightly closed amber glass bottle at room temperature ($25 \pm 2^\circ\text{C}$). The working solution was prepared freshly on the day of analysis to ensure optimal brominating activity, as the *in situ* generation of bromine in acidic medium is more reliable with freshly prepared dilute solutions.

Methylene blue (MB): A standard solution equivalent to 485 $\mu\text{g/mL}$ MB was prepared by dissolving 50 mg of MB (High Purity Laboratory Chemicals PVT. LTD., Mumbai, India, 97% dye content) in water and diluting to the mark in a 100 mL volumetric flask. This solution was then diluted with distilled water to obtain a 60 $\mu\text{g/mL}$ MB solution. The MB stock solution was stored in an amber glass bottle in a dark place at room

temperature. Under these conditions, the solution remained stable for at least 1 week.

Hydrochloric acid (HCl): A 5 M HCl aqueous solution was prepared by diluting the appropriate volume of concentrated acid with distilled water.

Pharmaceutical-grade metoclopramide hydrochloride (MCPH) was kindly provided as a gift by Shaphaco Pharmaceutical Industries, Sana'a, Yemen, and was used without further purification. The commercial tablets selected for estimating MCPH content using the suggested method were Metoclopramide 10 mg (manufactured by Biopharmaceutical Industries, Sana'a, Yemen) and Plemazol 10 mg (manufactured by Chemical Industries Development, Giza, Egypt).

A standard stock solution containing 500 $\mu\text{g/mL}$ of MCPH was prepared by accurately weighing 50 mg of the pure drug, dissolving it in distilled water, and diluting to the mark in a 100 mL volumetric flask using the same solvent. This stock solution was then diluted with distilled water to obtain a working solution with a concentration of 50 $\mu\text{g/mL}$ MCPH.

2.3. Methods

2.3.1. Assay Procedures of MCPH Using MB

A series of 10 mL volumetric flasks were filled with precisely measured volumes (0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, and 5.0 mL) of a standard MCPH solution (50 $\mu\text{g/mL}$). The required amount of distilled water was added to each flask to make the total volume 5.0 mL. Then, 1.5 mL of 5 M HCl and 1.0 mL of the BB mixture solution, which is equal to 35 $\mu\text{g/mL}$ KBrO_3 was added to each flask. After the flasks were sealed, their contents were combined, and they were allowed to stand for 10 minutes with occasional swirling. Following that, 1.0 mL of MB solution (60 $\mu\text{g/mL}$) was transferred to each flask. Five minutes later, the contents were completely mixed after being diluted to the mark with

water. At 665 nm, the absorbance of every solution was measured versus the corresponding reagent blank.

2.3.2. Assay Procedures for MCPH in Tablets

Five tablets with 10 mg of MCPH each were precisely weighed and pulverized into a fine powder. After carefully weighing a portion of the powder equal to 2.5 mg of pure MCPH, it was put into a 50 mL volumetric flask with around 35 mL of acetone. The mixture was shaken for approximately 15 minutes and filtered through Whatman No. 42 filter paper. The filtrate was collected in another 50 mL volumetric flask, and the solvent was evaporated to dryness using a water bath. The resulting residue was then dissolved in approximately 20 mL of distilled water, and the solution was diluted to volume with distilled water. The final solution was utilized for the assay in accordance with the previously mentioned procedure, where it had a concentration of 50 µg/mL MCPH.

2.3.3. Method Validation Procedures

The suggested method is validated following the latest International Conference on Harmonization (ICH) guidelines [45]. The validation parameters included limit of detection (LOD), limit of quantification (LOQ), linear concentration range, precision, accuracy, and selectivity.

Seven standard MCPH solutions were analyzed to assess linearity. Plotting absorbance (Y-axis) versus MCPH concentration (µg/mL, X-axis) allowed for the construction of a calibration curve. The linear range was determined and the regression equation was derived.

Three solutions containing 10, 15, and 20 µg/mL MCPH were prepared. For intra-day precision and accuracy, each solution was analyzed three times on the same day. However, each solution was analyzed once per day on three different days for inter-day evaluation. Precision was expressed as percentage relative standard deviation (RSD%)

and accuracy as percentage relative error (RE%).

Sensitivity of the suggested method was expressed as molar absorptivity (ϵ) and Sandell's sensitivity.

In order to evaluate the suggested method's selectivity, a placebo blank was created by combining common excipients (talc 100 mg, starch 100 mg, acacia 30 mg, gelatin 50 mg, calcium gluconate 40 mg, sodium alginate 40 mg) and then processed exactly as described for the tablet assay. A 2 mL aliquot of the resulting solution was analyzed three times. To further confirm selectivity, 2.5 mg of pure MCPH was added to the same placebo mixture. This synthetic mixture was processed following the tablet assay procedure to obtain a 50 µg/mL MCPH solution. Aliquots of 3 mL were analyzed in triplicate using the suggested method.

3. Results and Discussion

3.1. Chemistry of the Suggested Method

This study represents the first account of employing a BB mixture for the visible spectrophotometric estimation of MCPH in pharmaceutical tablets. The suggested method relies on the bromination of MCPH using bromine generated *in situ* through the reaction of acid with the BB mixture, which serves as an environmentally friendly brominating agent, thereby eliminating the need for highly toxic and hazardous liquid bromine.

The suggested method is indirect and involves adding a known excess of the BB mixture to MCPH in an acidic medium. After the reaction between MCPH and bromine came to completion, the residual bromine is quantified indirectly by measuring the residual absorbance of the unbleached MB dye at 665 nm (Figure 2), which increases proportionally with the MCPH concentration due to the competitive consumption of the brominating agent.

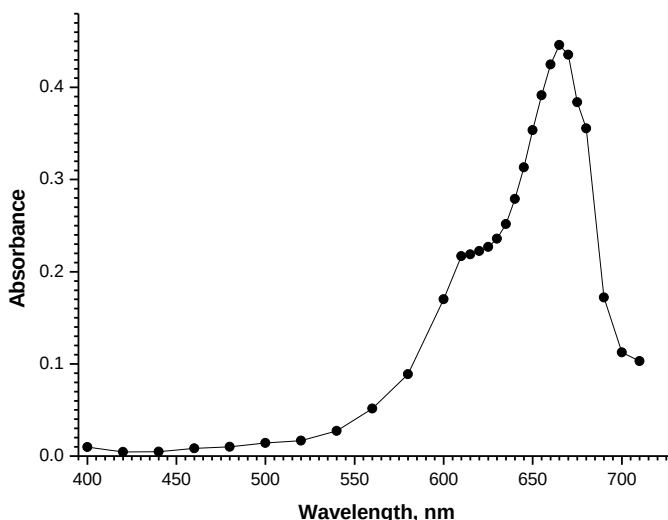


Figure 2. Absorption spectrum of acidic solution of MB (4 µg/mL MB).

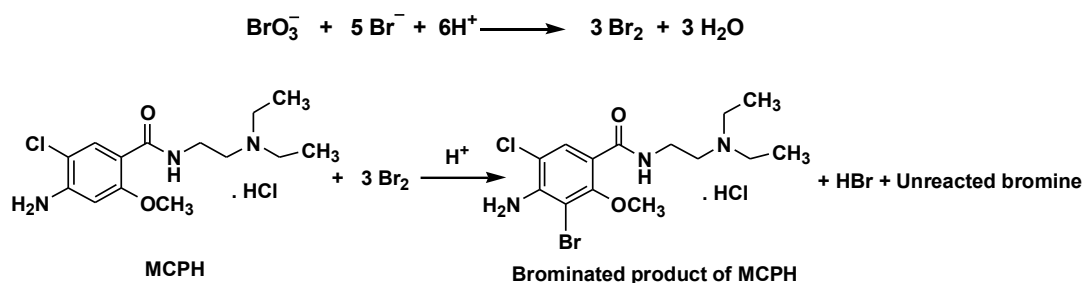
An electrophilic substitution mechanism drives the reaction between MCPH and bromine, which is produced *in situ* when the acid reacts with a BB mixture. The amino group attached to the benzene ring, being the strongest directing group among those present on the ring, directs bromination to the ortho and para positions. However, bromination occurs exclusively at the ortho position relative to the amino group, because the para position and the other ortho position are already occupied by other substituents, as illustrated in Scheme 1.

Once the reaction between MCPH and bromine reaches completion, the remaining bromine reacts with MB dye, leading to a substantial reduction in molar absorptivity at 665 nm. This decrease results from the oxidative destruction of the dye due to the bleaching effect of bromine. In this process, the sulfur atom in MB is oxidized to an S-oxide (Scheme 2), and electrophilic bromination occurs on the carbon atom adjacent to the dimethyl amino group [46].

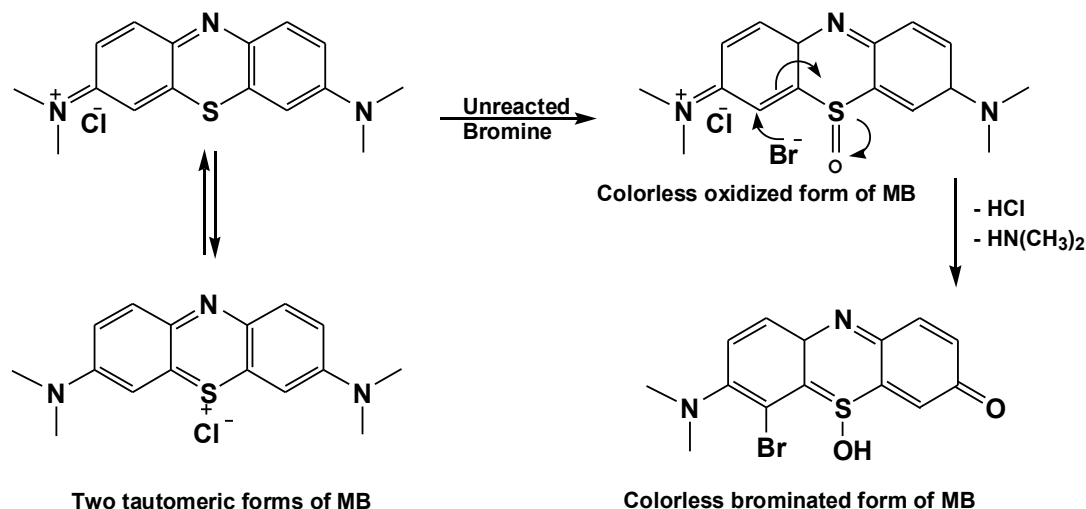
3.2. Method Development

The reaction parameters and the diverse experimental conditions that influence the color development of the measured species in the suggested method and ensure its accurate and precise outcomes were optimized systematically.

The suggested method relied on the bromination of MCPH using a precisely measured excess of a BB mixture in a hydrochloric acid medium. After a fixed reaction time, the residual bromine reacted with a certain amount of MB, and the absorbance of unbleached dye is measured at 665 nm. It was observed that the absorbance varies linearly with the concentration of MCPH. When increasing concentrations of MCPH are added to a constant amount of *in situ* generated bromine, the bromine is consumed proportionally, leading to a corresponding decrease in its concentration. Subsequently, adding a fixed quantity of MB dye to these decreasing bromine concentrations results in a proportional increase in the absorbance of the blue color of MB in acidic medium at 665 nm, which forms the basis of the assay.



Scheme 1. The proposed reaction pathway for bromine formation and its subsequent reaction with MCPH.



Scheme 2. Proposed structures of different forms of MB before and after bromination [46].

3.2.1. Effect of Reagents Concentrations

Optimization was carried out for various parameters influencing the MCPH bromination as well as the subsequent decolorization of MB dye by the residual bromine. Preliminary experiments were conducted to determine the maximum concentration of the dye that could be measured spectrophotometrically at 665 nm in an acidic medium, which was established as 6 µg/mL of MB. A bromate concentration of 3.5 µg/mL, together with a large excess of bromide, was found to be optimal for bleaching the blue color of 6 µg/mL MB in the acid medium. Consequently, varying concentrations of MCPH were allowed to react with 1.0 mL of a 35 µg/mL BB mixture in acidic medium in the presence of a large excess of bromide. The residual bromine was

then determined following the procedure described for that purpose.

3.2.2. Effect of Acid Concentration and Reaction Time

With the dye absorbance remaining constant in a 0.5–1.0 M HCl, hydrochloric acid was found to be an appropriate medium for both steps of the suggested method. It was found that the best acid concentration to complete the bromination process within a reasonable time–10 minutes–was 0.75 M, which was prepared by adding 1.5 mL of 5 M HCl to a total volume of 10 mL. When determining residual bromine using MB dye, the same acid concentration was maintained, and it was found that the reaction time for this step is not critical. To ensure the complete decolorization

of the MB by the remaining bromine, it was necessary to wait for five minutes.

3.3. Method Validation

3.3.1. Quantitative Data

Beer's law was followed by the suggested procedure within an MCPH concentration range of 1.25–25.0 µg/mL. The regression equation obtained from the linear calibration plot (Figure 3) is $Y = 0.0307 X - 0.0012$, where X is the concentration expressed in µg/mL and Y is the absorbance.

The calibration curve's correlation coefficient (r) of 0.99996 and coefficient of determination (R^2) of 0.99992 confirmed a linear relationship between the drug concentration and absorbance. The Sandell's sensitivity value was 0.0326 µg/cm², and the calculated molar absorptivity was 1.032×10^4 L/mol.cm. The suggested method was found to

have a LOD of 0.40 µg/mL and a LOQ of 1.20 µg/mL.

3.3.2. Accuracy and Precision

Solutions containing three different concentrations of MCPH were prepared and examined in triplicate in order to evaluate the suggested method's accuracy and precision. Table 1 displays the collected results. The excellent precision and satisfactory accuracy of the suggested method are confirmed by the low percentage relative standard deviation (RSD% ≤ 2.49) and low percentage relative error (RE%) values, which ranged from -3.00% to -0.80%, indicating a slight consistent underestimation. To evaluate repeatability (intra-day precision) and intermediate precision (inter-day precision), the RSD% and RE% values were calculated on the same day and over three different days.

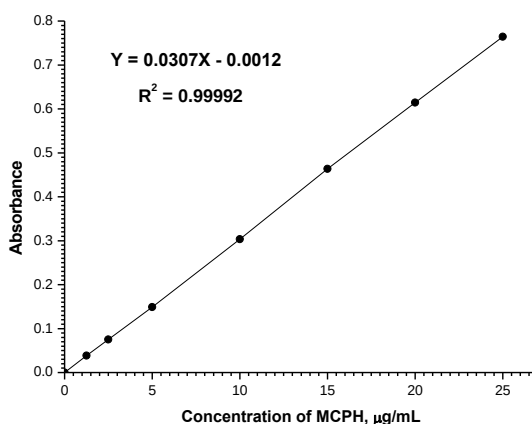


Figure 3. Calibration curve.

Table 1. Results of intra-day and inter-day precision and accuracy evaluations

MCPH taken µg/mL	Precision and accuracy assessed on a single day (n=3)			Precision and accuracy evaluated on three different days (n=3)		
	MCPH found* µg/mL	RSD%	RE %	MCPH found* µg/mL	RSD%	RE %
10	9.92	1.53	-0.80	9.89	1.87	-1.10
15	14.8	1.94	-1.33	14.6	2.08	-2.67
20	19.6	2.01	-2.00	19.4	2.49	-3.00

* Average of three measurements

3.3.3. Selectivity

Using a placebo blank, any interference from common excipients listed under Method Validation Procedures was investigated to evaluate the selectivity of the suggested method for pharmaceutical formulation analysis. It was verified that the absorbance measurements in relation to the water blank resulted exclusively from the analyte. A different experiment was carried out using the suggested method to estimate MCPH in a synthetic mixture; the recovery percentage of MCPH was calculated and found to be 98.72 ± 1.41 ($n=3$), indicating that no significant interference from the excipients occurs in the MCPH assay under the optimized conditions specified.

3.4. Comparison of Suggested Method with Some Literature Spectrophotometric Methods

The analytical performance of the suggested method was compared with some previously reported visible spectrophotometric methods for the determination of MCPH in terms of linear range, molar absorptivity, LOD, and other practical features.

The suggested method offers a linear dynamic range of 1.25–25.0 $\mu\text{g/mL}$, which is comparable to or broader than those of many reported methods [11, 13, 15, 28, 32, 33]. The LOD of the suggested method was of 0.40 $\mu\text{g/mL}$, demonstrating superior sensitivity compared to several previously reported visible spectrophotometric methods. For example, methods using diazotization reaction with 1-naphthol [23] reported an LOD of 0.5448 $\mu\text{g/mL}$, while condensation reaction with vanillin [15] gave an LOD of 0.51 $\mu\text{g/mL}$. The molar absorptivity of the suggested method (1.032×10^4 L/mol.cm) is higher than those reported in many visible spectrophotometric methods, including those based on an azo coupling reaction with 2-tert-Butyl-4-

methoxyphenol [33] (0.26×10^4 L/mol.cm), an oxidative coupling reaction of pyrocatechol with MCPH using ammonium ceric sulphate as the oxidizing agent [38] (3.01×10^3 L/mol.cm), and an oxidative coupling reaction of metoclopramide with 2,5-dihydroxybenzoic acid using potassium periodate as an oxidizing agent [40] (2.196×10^3 L/mol.cm). This indicates that the suggested method offers good sensitivity for the determination of MCPH.

Unlike many diazotization-based methods [13, 16, 28, 30, 32] that require low temperatures (0–5°C), the suggested method is carried out at room temperature. Similarly, compared to many reported methods [14, 19, 29, 32, 43] that often require organic solvent extraction or heating steps, the suggested method is simpler and faster. Furthermore, several reported visible spectrophotometric methods involve the use of toxic organic solvents such as methanol [13, 28]. The suggested method avoids such solvents, making it environmentally friendly and safer for laboratory personnel. The suggested method also eliminates the need for heating or lengthy extraction procedures, which are common in some reported methods, thereby reducing analysis time and energy consumption. From a green chemistry perspective, the suggested method employs a bromate-bromide mixture to generate bromine *in situ*, safely replacing the use of hazardous elemental bromine. This represents a significant advantage over methods that use toxic reagents.

Based on the comparisons above, the suggested method offers a simple, sensitive, cost-effective, and environmentally friendly alternative for the routine quality control analysis of MCPH in pharmaceutical tablets, with performance characteristics that are comparable to or better than those of many previously reported methods.

3.5. Analytical Applications

3.5.1. Determination of MCPH in Pharmaceutical Tablets

The suggested method was used to estimate MCPH in two tablet brands having the same concentration. The results of this study displayed in Table 2 were statistically compared using Student's *t*-test and the variance ratio *F*-test, with those obtained using the official British Pharmacopoeia method [47] in terms of accuracy and precision. The official

method involves an aqueous titration of the MCPH drug solution with 0.1 M sodium hydroxide, with the end point determined potentiometrically. At a 95% confidence level, the calculated *t*-values and *F*-values were compared to the tabulated values. No significant difference was observed between the suggested method and the official method in terms of accuracy and precision, as indicated by the calculated *t*- and *F*-values (shown in Table 2) which do not exceed the tabulated values.

Table 2. Comparison of assay outcomes using suggested and official methods

Commercial Tablets	Nominal quantity, mg	Found % (of nominal quantity $\pm$ SD) *	
		Official method	Suggested method
Metoclopramide	10	99.58 $\pm$ 1.14	98.36 $\pm$ 2.16 <i>t</i> = 1.17 <i>F</i> = 3.59
Plemazol	10	99.42 $\pm$ 1.09	98.22 $\pm$ 1.84 <i>t</i> = 1.29 <i>F</i> = 2.85

*Mean of five replicate measurements.

The 95% confidence level tabulated *t*-value is 2.776.

The 95% confidence level tabulated *F*-value is 6.39.

3.5.2. Recovery Study

A standard addition technique was used to confirm the accuracy of the method. Three levels of pure MCPH (50, 100, and 150% of the current quantity) were added to pre-analyzed tablet powder (10 mg each of metoclopramide and plemazol). Three

measurements were performed for each level. The recovery values in Table 3 ranged from 97.75 to 99.12%, with a standard deviation (SD) of 1.76 to 2.40%, suggesting that common excipients had no effect on the assay.

Table 3. Outcomes of a recovery investigation based on the standard addition technique

Tablet Used	MCPH in tablet, $\mu\text{g/mL}$	Pure MCPH added, $\mu\text{g/mL}$	Total found, $\mu\text{g/mL}$	Pure MCPH recovered, (Percent $\pm$ SD)
Metoclopramide 10	7.87	4.00	11.82	98.75 $\pm$ 1.83
	7.87	8.00	15.80	99.12 $\pm$ 1.91
	7.87	12.0	19.64	98.08 $\pm$ 1.76
Plemazol 10	7.86	4.00	11.79	98.25 $\pm$ 1.95
	7.86	8.00	15.68	97.75 $\pm$ 2.40
	7.86	12.0	19.66	98.33 $\pm$ 2.28

^aMean value of three measurements.

4. Conclusion

This study presents the first application of a BB mixture as an environmentally friendly brominating agent for the quantification of MCPH in pharmaceutical formulations. The suggested method is simple, rapid, and highly sensitive compared to many previously reported visible spectrophotometric methods. The suggested method involves the bromination of MCPH with a BB mixture in an acidic medium, which generates bromine *in situ*, thereby replacing the use of hazardous elemental bromine conventionally employed in such reactions. The residual bromine is then quantified through its reaction with MB dye, and the increase in MB absorbance is recorded. From a practical standpoint, the suggested method offers several distinct advantages for routine quality control applications: it eliminates the need for heating or extraction steps, avoids the use of toxic organic solvents, employs cost-effective and readily available reagents, and demonstrates good accuracy and precision. Furthermore, common excipients present in commercial tablet formulations do not interfere with the analysis, confirming the method's selectivity. These features make the suggested method a reliable, environmentally friendly, and practically viable alternative for the routine quality control analysis of MCPH in pharmaceutical tablets.

Acknowledgements

A pure metoclopramide hydrochloride sample was obtained from Shaphaco Pharmaceutical Industries in Sana'a, Yemen, for whom the authors express their gratitude. The authors also extend their appreciation to Al-Hikma University in Dhamar, Yemen, for providing the necessary facilities that allowed them to conduct this research.

Data Availability

The data are available from the corresponding author upon request.

Funding

This research received no external funding.

References

- [1] Shakeel F, Shazly GA, Haq N. Solubility of metoclopramide hydrochloride in six green solvents at (298.15 to 338.15) K. *Journal of Chemical and Engineering Data*. 2014;59(5):1700-3. <https://doi.org/10.1021/je500154k>
- [2] Aronson JK. Meyler's side effects of drugs: the international encyclopedia of adverse drug reactions and interactions. 16th ed. Amsterdam: Elsevier Science; 2016.
- [3] Demir I, Bulduk I, Darwish IA, Enginar H. A green approach for metoclopramide quantification in pharmaceutical products: new HPLC and spectrophotometric methods. *Scientific Reports*. 2024;14:8765. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59149-6>
- [4] Al-Sabha TN, Al-Hamody IA. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in bulk and in pharmaceutical preparations. *Iraqi National Journal of Chemistry*. 2006;6(24):561-70.
- [5] Wamorkar V, Manjunath SY, Varma MM. Development and validation of UV spectroscopic method for determination of metoclopramide hydrochloride in bulk and tablet formulation. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2011;3(3):171-4.
- [6] Thangamani A, Smith AA, Vedhapriya B. Development of analytical method for metoclopramide using UV-spectrophotometry. *International Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*. 2014;4(3):551-5.
- [7] Basheer MY, Kashif AA, Aljaily A, Ibrahim MM, Osman HM. Development and validation of UV-spectroscopic method for assay of metoclopramide hydrochloride in bulk and injectable dosage form. *American Journal of*

- Research Communication. 2017;5(3):22-33.
- [8] Ahmed NR, Essa MJ, Hamdoon AK. Ultraviolet assay of metoclopramide HCl in pharmaceutical formulations application to content uniformity testing. *European Journal of Biomedical and Pharmaceutical Sciences*. 2020;7(1):191-95.
- [9] Othman NS, Mahmood HS, Khaleel NA. Spectrophotometric and high performance liquid chromatographic methods for determination of metoclopramide in pharmaceutical preparations. *Rafidain Journal of Science*. 2011;22(3):39-56.
- [10] Khaleel AI, Amine ST, Salih SH. Comparative study for determination of metoclopramide hydrochloride drug by selective electrodes and spectrophotometric methods. *Tikrit Journal of Pure Science*. 2013;18(1):149-61.
- [11] Blazheyevskiy M, Alfred-Ugbenbo D, Mozgova OO, Moroz VP. Determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical formulations using N-oxidation caroate. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2022;19(5):589-94.
<https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2021.33733>
- [12] Moussa BA. Determination of some aminobenzoic acid derivatives: glafenine and metoclopramide. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2000;23(6):1045-55.
[https://doi.org/10.1016/S0731-7085\(00\)00384-8](https://doi.org/10.1016/S0731-7085(00)00384-8)
- [13] Patel SA, Patel CN, Patel MM. Visible spectrophotometric methods for the estimation of metoclopramide hydrochloride in tablets. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2006;68(3):397-9.
- [14] Al-Azzawi HAW, Al-Obadi FM, Al-Sabha, TN. Spectrophotometric assay of metoclopramide hydrochloride in bulk and in dosage form. *Iraqi National Journal of Chemistry*. 2015;15(1):59-76.
- [15] Devi OZ, Basavaiah K, Vinay KB, Revanasiddappa HD. Sensitive spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in dosage forms and spiked human urine using vanillin. *Arabian Journal of Chemistry*. 2016;9:S64-S72.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.02.017>
- [16] Naggar AH, Elnasr TAS, Sayed Ali AS, Kotb A, El Sayed AAY. Determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical formulations using three different spectrophotometric methods. *Pharmaceutica Analytica Acta*. 2017;8(2):1000538.
<https://doi.org/10.4172/2153-2435.1000538>
- [17] Ali R, Othman N. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations via Schiff's base reaction. In: *Advances in Health Sciences Research*, vol. 38: Proceedings of the 1st International Ninevah Conference on Medical Sciences (INCMS 2021). Atlantis Press; 2021. p. 63-69.
<https://doi.org/10.2991/ahsr.k.211012.011>
- [18] Thanoon ES, Saeed AMA. Development of green spectrophotometric method for determination of metoclopramide hydrochloride. *Egyptian Journal of Chemistry*. 2021;64(7):3451-6.
- [19] Shah J, Jan MR, Khan MA, Amin S. Spectrophotometric determination of metoclopramide in pharmaceutical preparations. *Journal of Analytical Chemistry*. 2005;60(7):633-35.
<https://doi.org/10.1007/s10809-005-0151-5>
- [20] Mahmood HS, Shaker ZT, Taha L. Spectrophotometric assay of metoclopramide in pharmaceutical preparations. *Tikrit Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2007;3(1):1-5.
<https://doi.org/10.25130/tjphs.2007.1.1.1.5>
- [21] Sinan R, Abed SS. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in tablets by diazotization

- and coupling reaction with phenol. Iraqi Journal of Science. 2009;50(2):136-43. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2009.50.2.%25g>
- [22] Sultan SH. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations by the diazotization-coupling method with phloroglucinol. Tikrit Journal of Pure Science. 2009;14(1):155-60.
- [23] Sinan R. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical tablets, by diazotization-coupling method with 1-naphthol as the coupling agent. Baghdad Science Journal. 2010;7(1):704-12. <https://doi.org/10.21123/bsj.2010.7.1.704-712>
- [24] Sarsam LA, Mohammed SA, Al-Abbasi KM. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations using diazotization reaction. Rafidain Journal of Science. 2011;22(3):76-88. <https://doi.org/10.33899/rjs.2011.6509>
- [25] Devi OZ, Basavaiah K, Vinay KB, Revanasiddappa HD. Determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceuticals and spiked human urine through diazotization reaction. Journal of Food and Drug Analysis. 2012;20(2):454-63. <https://doi.org/10.6227/jfda.2012200204>
- [26] Jawad AA, Kadhim KH. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in bulk and pharmaceutical preparations by diazotization-coupling reaction. International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2013;5(Suppl. 3):294-98.
- [27] Obedagha AN, Aljarah RN. Development of spectrophotometric method for the determination of metoclopramide HCl in a pharmaceutical preparations. Rafidain Journal of Science. 2014;25(2):10-21. <https://doi.org/10.33899/rjs.2014.88564>
- [28] Pratapareddy AJ. New spectrophotometric determination of metoclopramide in bulk and pharmaceutical dosage form. Journal of Drug Discovery and Therapeutics. 2015;3(35):01-04.
- [29] Taha HKA, Al-Rufaie MM, Motaweq ZY. Spectrophotometric determination of metoclopramide medicine in bulk form and in pharmaceuticals using orcinol as reagent. Ovidius University Annals of Chemistry. 2018;29(2):85-91. <https://doi.org/10.2478/auoc-2018-0012>
- [30] Abbas SM, Jamur JMS, Nasif AM. Spectrophotometric method for the determination of metoclopramide in pharmaceutical forms. Journal of Applied Spectroscopy. 2021;88(2):433-40. <https://doi.org/10.1007/s10812-021-01191-7>
- [31] Ganduh SH, Aljeboree AM, Mahdi MA, Jasim LS. Spectrophotometric determination of metoclopramide-HCl in the standard raw and it compared with pharmaceuticals. Journal of Pharmaceutical Negative Results. 2021;12(2):44-8.
- [32] Mubder NS, Kadhim EA, Ibraheem IH, Mahmood H, Dhahir SA, Al-Neshmi H. Micro spectrophotometric determination and cloud point extraction of metoclopramide with 4-nitro phenol in pure form and pharmaceutical drugs. Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021;25(4):12088-103.
- [33] Alhammadi GA, Sarsam LA. Novel green method for the spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical formulations. Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry. 2023;10(1):193-204. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.1158403>
- [34] Yassin RMA, Othman NS. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical formulations using diazotization coupling reaction. Iraqi Journal of Science. 2023;64(9):4312-28. <https://doi.org/10.24996/ij.s.2023.64.9.1>
- [35] Ahmad NR, Ali NM. Spectrophotometric determination of metoclopramide in some pharmaceutical preparations via oxidative

- coupling reaction. *Journal of Education and Science*. 2006;18(4):16-22.
- [36] Delfino MR, Monzón CM, Hernández SR, Sarno MDC. Metoclopramide–nitrite reaction. Validation of its application to the spectrophotometric analysis of generic tablets. *IOSR Journal of Pharmacy*. 2012;2(5):27-34.
<https://doi.org/10.9790/3013-25702734>
- [37] Salih ES, Mohamad IK, Al-Najafi SI. Spectrophotometric assay of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations via oxidative coupling reaction with promazine hydrochloride and N-Bromosuccinimide. *Journal of Education and Science*. 2006;18(3):10-9.
- [38] Othman NS, Mahmood HS, Khaleel NA. Spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations via oxidative coupling reaction. *Tikrit Journal of Pure Science*. 2011;16(4):89-95.
- [39] Al-Shaker YM. Spectrophotometric assay of metoclopramide hydrochloride in some pharmaceutical preparations via oxidation coupling reaction. *Iraqi Journal of Pharmacy*. 2013;13(1):41-50.
- [40] Yassin RMA, Othman NS. Using of oxidative-coupling reaction in spectrophotometric determination of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations. *Basrah Journal of Sciences*. 2022;40(2):465-85.
<https://doi.org/10.29072/basjs.20220215>
- [41] Devi OZ, Basavaiah K, Vinay KB. Application of potassium permanganate to spectrophotometric assay of metoclopramide hydrochloride in pharmaceuticals. *Journal of Applied Spectroscopy*. 2012;78(6):873-83.
<https://doi.org/10.1007/s10812-012-9547-9>
- [42] Shekho NH, Al-Sarraj TZ. Spectrophotometric assay of metoclopramide hydrochloride in pharmaceutical preparations via arsenazo III-cerium (III) reaction. *Rafidain Journal of Science*. 2013;24(1):70-83.
<https://doi.org/10.33899/rjs.2013.67502>
- [43] Abdulkareem HM, Al-Tameemi M, Ibraheem IH, Hadi MS. Surfactant cloud point extraction as a procedure of preconcentrating for metoclopramide determination using spectroanalytical technique. *Baghdad Science Journal*. 2020;17(1):57-65.
<https://doi.org/10.21123/bsj.2020.17.1.0057>
- [44] Ahmed NR, Saadallah NC, Ahmed AI. Estimation of metoclopramide HCl in pharmaceutical preparations and environmental water samples. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2020;9(1):151-59.
<https://doi.org/10.20959/wjpps20201-15283>
- [45] International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use. Validation of analytical procedures: text and methodology Q2(R1). London: International Conference on Harmonization; 2005.
- [46] Amin MM, El-Adl SM, Abdel-Aziz SA, Mostafa SM. Bromometric estimation of gliclazide and glibenclamide in bulk and in tablet formulation. *Zagazig Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2015;24(2):97-108.
<https://doi.org/10.21608/zjps.2015.38167>
- [47] British Pharmacopoeia. The British Pharmacopoeia, London: The Stationery Office on behalf of the Medicines and Healthcare products Regulatory Agency; 2020.

Evaluation of Renal Function Biomarkers in Yemeni Patients with Transfusion-Dependent β -Thalassemia

Boshra Al-absi^{*,1,2}, Elham Qateena¹, Nada Anam¹,
Rahma Noman¹, Raghad AL-shmahi¹, Amjed AL-asbahi¹

¹Department of Laboratory Medicine, Faculty of Medicine and Health Sciences, Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen

²Department of Hematology, Faculty of Medicine and Health Sciences, Sana'a University, Sana'a, Yemen

*Corresponding Author:

E-mail: b.alabsi@su.edu.ye

Received: 27 April 2026

Revised: 19 May 2026

Accepted: 12 June 2026

Abstract

β -thalassemia is an inherited blood disorder characterized by a reduction in β -globin chain synthesis. Renal biomarkers may change in patients with transfusion-dependent β -thalassemia (TDT), a severe form of β -thalassemia, due to iron overload and chelation therapy. This study aimed to evaluate the renal function biomarkers (urea, creatinine, and eGFR) in TDT Yemeni patients. Eighty subjects were enrolled in this study, aged 2-29 years. These subjects encompassed 40 TDT patients and 40 healthy controls. Blood samples were examined for urea, creatinine, complete blood count, and iron profile using automated analyzers. Results showed that urea and creatinine levels were significantly decreased in patients. In contrast, estimated glomerular filtration rate (eGFR) was significantly higher in TDT patients. Serum iron levels and transferrin saturation were significantly elevated in patients. Urea was negatively correlated with age ($r = -0.345$; $p = 0.03$) and positively correlated with RBC count ($r = 0.339$; $p = 0.01$), whereas creatinine was positively correlated with age ($r = 0.470$, $p = 0.002$) and negatively correlated with MCHC ($r = -0.405$, $p = 0.01$). Further studies, including early renal biomarkers such as urinary β_2 -microglobulin and the urine calcium-to-creatinine ratio, are required to confirm the presence of subclinical kidney injury in TDT patients.

Keywords: Thalassemia, transfusion-dependent, renal markers, iron overload, Yemen

تقييم المؤشرات الحيوية لوظائف الكلى لدى المرضى اليمنيين المصابين بثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم

بشرى العبيسي^{*,2,1}، إلهام قطينة¹، ندى أنعم¹،
رحمة نعمان¹، رغدة الشماحي¹، أمجد الأسبهي¹

¹قسم الطب المخبري، كلية الطب والعلوم الصحية، جامعة الرشيد الذكية، صنعاء، اليمن

²قسم أمراض الدم، كلية الطب والعلوم الصحية، جامعة صنعاء، صنعاء، اليمن

*المؤلف المراسل:

الإيميل: b.alabsi@su.edu.ye

تاريخ التقديم: 27 أبريل 2026 تاريخ إرسال التعديلات: 19 مايو 2026

تاريخ القبول: 12 يونيو 2026

الملخص

تُعد ثلاسيميا بيتا اضطراباً وراثياً في الدم يتميز بنقص في تخليق سلاسل بيتا جلوبين. وقد تتغير المؤشرات الحيوية الكلوية لدى المرضى المصابين بثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم (TDT) - وهي شكل حاد من ثلاسيميا بيتا - نتيجة لفرط حمل الحديد والعلاج بالاستخلاب. هدفت هذه الدراسة إلى تقييم المؤشرات الحيوية لوظائف الكلى (اليوريا، والكرياتينين، ومعدل الترشيح الكبيبي المقدّر [eGFR]) لدى المرضى اليمنيين المصابين بثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم. شملت الدراسة ثمانين مشاركاً تراوحت أعمارهم بين 2 و 29 عاماً، حيث ضمت 40 مريضاً بثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم و 40 شخصاً سليماً كمجموعة ضابطة. تم فحص عينات الدم لتحديد مستويات اليوريا، والكرياتينين، وتعداد الدم الكامل، ومؤشرات الحديد (Iron profile) باستخدام أجهزة تحليل آلية. أظهرت النتائج انخفاضاً معنوياً في مستويات اليوريا والكرياتينين لدى المرضى. وفي المقابل، كان معدل الترشيح الكبيبي المقدّر (eGFR) المحسوب أعلى بكثير لدى مرضى ثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم. كما ارتفعت مستويات حديد المصل وترشيح الترانسفيرين بشكل ملحوظ لدى المرضى. ارتبطت مستويات اليوريا ارتباطاً عكسياً (سلبياً) بالعمر ($r = -0.345$, $p = 0.03$) وطردياً (إيجابياً) مع تعداد خلايا الدم الحمراء ($r = 0.339$, $p = 0.01$)، في حين ارتبط الكرياتينين ارتباطاً طردياً بالعمر ($r = 0.470$, $p = 0.002$) وعكسياً مع تركيز الهيموجلوبين في الكرية (MCHC) ($r = -0.405$, $p = 0.01$). ثمة حاجة إلى إجراء المزيد من الدراسات، بما في ذلك تقييم المؤشرات الحيوية الكلوية المبكرة مثل الببتا 2-ميكروجلوبولين البولي ونسبة الكالسيوم إلى الكرياتينين في البول، لتأكيد وجود إصابة كلوية دون سريرية لدى مرضى ثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم.

الكلمات المفتاحية: ثلاسيميا، المعتمد على نقل الدم، علامات الكلى، زيادة الحديد، اليمن

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 3135-6842 | E-ISSN: 3135-6850 / © 2026 The Authors. Published by Ar-Rasheed Smart University, Yemen.

Journal website: <https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUJBAS/en>

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences 2026, 1(1), 14-23

<https://doi.org/10.67151/rujbas.v1i1.25>

1. Introduction

Thalassemia is a common inherited blood disorder marked by α - and β -globin chain imbalance. β -thalassemia (β -thal) results from mutations in the β -globin gene causing deficient β -chain production, which in turn results in excess α -chains that precipitate with red cells leading to hemolysis and ineffective erythropoiesis. β -thalassemia major (β -TM) is the severe type in which patient survival depends on regular blood transfusions, thus developing iron overload (every patient with β -TM is transfusion-dependent, but not every transfusion-dependent β -thalassemia (TDT) patient has β -TM) [1].

Although β -TM affects bone marrow, its impact extends to various organs, including kidneys. Chronic hemolytic anemia, iron overload, and chelation therapy may lead to kidney dysfunction in TDT patients [2]. In the first stages of renal disease, hyperfiltration of glomeruli may occur, which can develop into kidney damage and proteinuria. Oxidative stress and renal injury may arise from increased iron deposition [3]. Tubular dysfunction includes reduced urine-concentration, tubular acidosis, and losses of potassium, phosphate, and magnesium, which are caused by chronic hypoxia and iron overload in renal tubules [4]. Repeated transfusions worsen tissue iron accumulation, which is toxic to the kidneys. Moreover, iron chelators such as deferoxamine, deferasirox, and deferiprone may cause renal toxicity [5].

In Yemen, the prevalence of the β -thal trait is high (4.4%) suggesting this homozygous β -thal disease constitute a health burden in the country [6]. In low-income countries, like Yemen, TDT patients have difficulties obtaining adequate and suitable blood units, iron chelation therapy, and routine monitoring of their kidney functions. These challenges increase the risks of developing renal dysfunction [7]. Understanding risk factors and complications of kidney dysfunction will help

develop strategies for detection and prevention of renal disorders in these patients. Consequently, this study is designed to assess renal biomarkers by measuring urea and creatinine, and calculating eGFR in TDT patients.

2. Materials and Methods

This case-control study was conducted at the Yemen Society for Thalassemia and Genetic Blood Disorder (YSTH) Center in Sana'a City from October to November 2024. Eighty participants were included: 40 TDT patients and 40 age- and sex-matched healthy controls. The OpenEpi software, version 3 (CDC, Atlanta, USA) was used to calculate the sample size at a 95% confidence level and 80% power, according to a previous report by Tantawy et al. [8]. Body mass index (BMI) was calculated for each participant. Patients with kidney failure or those who had received a blood transfusion within the previous three weeks were excluded.

2.1. Sample Collection and Testing

Venous blood samples (10 mL) were collected from each individual by venipuncture. Samples were transferred into ethylenediaminetetra acetic acid (EDTA) tubes for hematological analysis and plain tubes for serum separation. Complete blood count (CBC) was examined by Sysmex KX-21N Hematology analyzer (Sysmex Corporation, Japan). Levels of urea, creatinine, iron, total iron-binding capacity (TIBC), and unsaturated iron-binding capacity (UIBC) were analyzed using a Beckman Coulter AU480 automated analyzer (Danaher Corporation, USA). The estimated glomerular filtration rate (eGFR) is a widely used measure of kidney function and it plays an important role in the detection and monitoring of chronic kidney disease (CKD). CKiD U25 Equation (2021) is used for individuals aged 1 to 25 years [9]. The 2021 CKD-EPI creatinine equation is used for individuals aged 26–29 [10].

Transferrin saturation was calculated using the following equation [11]:

$$\text{Transferrin saturation(\%)} = (\text{Serum iron} \div \text{TIBC}) \times 100$$

2.2. Statistical Analysis

Data were processed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS 25.0, LEAD Technologies, Inc., Chicago, USA). Normally distributed variables were presented as mean $\pm$ SD standard deviation, while geometric mean with 95% confidence intervals was used for non-normally distributed parameters. Independent-samples t-test was applied to compare mean differences. The relationship between kidney function biomarkers (urea and creatinine), iron profiles, and hematological parameters was evaluated using Pearson's correlation coefficient. Significant differences were considered if the p-value was <0.05 .

3. Results

This study enrolled a total of 80 subjects aged between 2 and 29 years old, of whom 40 had TDT and 40 controls. The cohort consisted of 52 males and 28 females.

Demographic and hematologic parameters for both TDT patients and controls are presented in Table 1. Hemoglobin (Hb), red blood cell (RBC) count, hematocrit (Hct), mean corpuscular hemoglobin (MCH), and mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC) were significantly lower in the patient group compared to controls ($p < 0.05$). Conversely, red cell distribution width-coefficient of variation (RDW-CV) was significantly higher in thalassemia patients ($p < 0.0001$). White blood cell (WBC) count was non-significantly higher in the patients than in the controls ($p = 0.08$). No significant differences were observed between patients and controls in terms of age, Body Mass Index (BMI), mean corpuscular volume (MCV), and platelets (PLT).

Table 1. Demographic and hematologic parameters of TDT patients and controls

Parameters	Thalassemia patients (n = 40)	Control (n = 40)	p-value
	Mean $\pm$ SD	Mean $\pm$ SD	
Age (Years)	10.8 $\pm$ 5.5	11.6 $\pm$ 6.1	0.51
BMI	17.6 $\pm$ 6.4	19.9 $\pm$ 6.5	0.12
Hb (g/dL)	7.8 $\pm$ 1.2	13.9 $\pm$ 1.4	$< 0.0001^+$
RBCs ($\times 10^{12}$ /L)	3.1 $\pm$ 0.5	5.2 $\pm$ 0.6	$< 0.0001^+$
Hct (%)	23.7 $\pm$ 3.6	40.6 $\pm$ 4.2	$< 0.0001^+$
MCV (fL)	77.4 $\pm$ 6.5	79 $\pm$ 6.6	0.29
MCH (pg)	25.6 $\pm$ 2.8	27.1 $\pm$ 2.6	0.02^+
MCHC (g/dL)	33.1 $\pm$ 1.5	34.3 $\pm$ 1	$< 0.0001^+$
RDW-CV (%)	20 $\pm$ 5.2	13.9 $\pm$ 0.9	$< 0.0001^+$
WBCs* ($\times 10^9$ /L)	8.1 (6.9–9.5)	6.9 (6.3–7.5)	0.08
PLTs* ($\times 10^9$ /L)	324 (269–389)	309 (295–331)	0.79

* Data are presented as geometric mean (95% confidence interval) evaluated by Independent-Samples t-test.

⁺ Significant level $p < 0.05$.

The comparison of the TDT patients with the healthy controls drawn in Table 2 revealed significantly higher serum iron levels and transferrin saturation in patients ($p < 0.0001$), while TIBC and UIBC were significantly higher in healthy controls ($p < 0.0001$ and $p < 0.0001$, respectively).

Furthermore, Table 2 showed that serum urea and creatinine levels were significantly lower in thalassemia patients compared to controls ($p = 0.003$ and $p < 0.0001$,

respectively). The eGFR was significantly higher in patients compared to controls ($p < 0.0001$).

Table 3 revealed that urea was negatively correlated with age ($r = -0.345$, $p = 0.03$) but positively correlated with RBC count ($r = 0.339$, $p = 0.01$). On the other hand, creatinine was positively correlated with age ($r = 0.470$, $p = 0.002$) and negatively correlated with MCHC ($r = -0.405$, $p = 0.01$). No correlation was found between eGFR and the other parameters.

Table 2. Iron profile and kidney function tests of TDT patients and controls

Parameters	Thalassemia patients (n = 40) (mean $\pm$ SD)	Control (n = 40) (mean $\pm$ SD)	p-value
Serum iron ($\mu\text{mol/L}$)	33.4 $\pm$ 15.6	13.7 $\pm$ 5.1	< 0.0001 ⁺
TIBC ($\mu\text{mol/L}$)	45.8 $\pm$ 16.3	64.1 $\pm$ 6.8	< 0.0001 ⁺
UIBC ($\mu\text{mol/L}$)	12.1 $\pm$ 7	50.4 $\pm$ 8.4	< 0.0001 ⁺
Transferrin saturation (%)	72 $\pm$ 15	22 $\pm$ 9	< 0.0001 ⁺
Urea (mmol/L)	3.71 $\pm$ 1.1	4.4 $\pm$ 1	0.003 ⁺
Creatinine ($\mu\text{mol/L}$)	22.7 $\pm$ 8	45 $\pm$ 17.8	< 0.0001 ⁺
eGFR (mL/min/1.73m ²)	197 $\pm$ 56	113 $\pm$ 26	< 0.0001 ⁺

Data are presented as mean $\pm$ SD evaluated by Independent-Samples t-test. ⁺ Significant level $p < 0.05$.

4. Discussion

β -thalassemia is an inherited disorder characterized by a deficiency in β -globin chain production, leading to microcytic hypochromic anemia [12, 13]. Extravascular hemolysis results from erythrocyte fragility, and both extravascular hemolysis and ineffective erythropoiesis can contribute to anemia in β -thalassemia patients [14, 15]. β -thalassemia is also associated with metabolic irregularities, excessive iron storage in various organs, chronic hypoxia, and cellular injury [16]. The current study aimed to investigate kidney function in TDT patients compared to healthy subjects.

This study showed that urea and creatinine levels were within the reference range but significantly decreased in the patients compared to the control. These findings align

with a previous study demonstrating significantly reduced plasma urea and creatinine in thalassemia patients compared to healthy subjects [17]. Conversely, other studies reported no significant differences in urea and creatinine levels within thalassemia patients [18, 19]. Patients' mean age in the current study was 10 years; however, mild dysfunction of renal tubules and reduced glomerular filtration rate have been observed in old patients suffering from β -thalassemia major, α -thalassemia, and hemoglobin E/ β -thalassemia [20, 21]. Tubular defect in β -thalassemia has been linked to several factors, including chronic anemia with hypoxemia, intravascular and extravascular destruction of RBCs, long-term blood transfusions, iron accumulation, and desferrioxamine toxicity [22–25]. Furthermore, the decrease in creatinine levels

may be associated with a lower BMI due to developmental delays and reduced muscle mass in β -thalassemia patients [26, 27]. The findings of the current study revealed that eGFR was significantly higher in the patient group. This result contradicts a 2023 meta-analysis of 15 studies, which found GFR was higher in healthy controls than in patients with β -thalassemia major [28]. On the other hand, Hassanein et al. [29] reported higher eGFR in thalassemia major cohorts. Hyperdynamic circulation in thalassemia, resulting from chronic anemia, increases renal plasma flow, leading to glomerular hyperfiltration [29]. The eGFR is overestimated by various serum creatinine-based equations due to low creatinine levels in TDT patients. This can be attributed to the fact that urinary excretion of creatinine is equal to creatinine production in healthy individuals, as most creatinine is produced by muscles, whereas the lower creatinine clearance in TDT patients indicates decreased production by their muscles [30].

In this study, Hb, RBCs, Hct, MCH, and MCHC were significantly lower in thalassemia patients. In contrast, RDW-CV was significantly higher in thalassemia patients compared to controls. These findings are consistent with previous studies reporting decreased Hb, RBCs, and RBC indices in thalassemia patients [31, 32]. These reductions can be attributed to the chronic hemolytic anemia characteristic of β -thalassemia, which leads to a constant drop in hemoglobin, erythrocyte count, and specific red blood cell indices [33]. The elevated RDW-CV indicates anisocytosis due to erythrocyte fragments, normoblasts, microspherocytes, and microcytic erythrocytes [34].

Conversely, platelet and white blood cell counts were non-significantly increased in patients; they remained within the normal reference range. This result is consistent with previous studies [32, 35]. Increased activity of the immune system in patients receiving

Table 3. Pearson Correlation Coefficient between renal biomarkers and hematological and iron profile parameters of TDT patients (n=40)

Parameter	Age	BMI	Hb	RBCs	Hct	MCV	MCH	MCHC	RDW-CV	WBCs	PLT	Serum iron	Transferrin saturation	TIBC	UIBC
Urea	-0.345*	0.147	0.313	0.339*	0.289	-0.227	-0.153	0.046	0.067	-0.062	-0.028	-0.144	-0.231	-0.023	0.21
Creatinine	0.470*	-0.162	-0.034	0.162	0.093	-0.143	-0.278	-0.405*	0.273	-0.031	-0.028	0.198	0.027	0.239	0.095
eGFR	0.171	-0.036	0.004	-0.162	-0.039	0.258	0.261	0.145	0.006	-0.048	0.043	0.048	0.109	-0.013	-0.102

*Correlation is significant at the level of less than 0.05.

frequent blood units from different donors, often accompanied by febrile reactions, may explain the elevations in WBC and platelet counts [36, 37]. Importantly, most thalassemia patients (n= 33) in the current study had not undergone splenectomy, leading to normal leukocyte and platelet counts. Increased susceptibility to infections and septic complications was associated with splenectomy, leading to higher morbidity and mortality compared to non-splenectomized patients [38, 39].

In the current study, UIBC and TIBC were significantly lower in β -thalassemia patients. This result is consistent with previous reports [40, 41]. Concurrently, an increase in serum iron levels and transferrin saturation has been observed in β -thalassemia patients, which is supported by several other studies [42–44]. In β -thalassemia, the reduction of β -globin chains leads to the deposition of α -globin chains. The excess amount of these α -globin chains is a main contributor to cellular oxidative stress and erythroid cell damage, and the resulting ineffective erythropoiesis stimulates iron overload [45, 46]. Moreover, iron overload is attributed to chronic blood transfusions in these patients [47]. TIBC and UIBC quantify the capacity of the body to bind and transport iron by transferrin [48]. In beta-thalassemia major, there is increased iron absorption in response to ineffective erythropoiesis, while the diminished production of beta-globin chains results in the ineffective utilization of absorbed iron, leading to accumulation of unbound iron in the blood [49]. This excess iron can induce tissue damage and other complications [50]. No previous studies have supported the findings of the present study regarding the negative relationship between urea and age or the positive association of urea with RBC count in transfusion-dependent β -thalassemia patients. Furthermore, no evidence was found for a positive correlation between creatinine level, age, and MCHC.

The limitations of the present study include a small sample size, the lack of serum ferritin measurement, and a short study duration. Further longitudinal research is recommended to evaluate renal function in patients with transfusion-dependent β -thalassemia.

5. Conclusion

This study revealed that kidney function markers (urea and creatinine) were low in TDT patients, while serum iron and transferrin saturation were significantly higher. TIBC and UIBC levels in TDT patients were lower than those in healthy controls were. Further studies including investigation of early renal biomarkers such as urinary β 2 microglobulin and urine calcium to creatinine ratio are required to confirm the presence of subclinical kidney injury in TDT patients.

Ethical Approval

The study protocol was reviewed and approved by the Research Ethics Committee of the Faculty of Medicine and Health Sciences, Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen (Approval No. REC-ARSU-001).

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge all study participants.

Data Availability

The data are available from the corresponding author upon request.

Funding

This research received no external funding.

References

- [1] Farmakis D, Porter J, Taher A, Cappellini MD, Angastiniotis M, Eleftheriou A, et al. 2021 thalassaemia international federation guidelines for the management of transfusion-dependent thalassemia. *HemaSphere*. 2022;6(8):e732. <http://dx.doi.org/10.1097/HS9.00000000000000732>

- [2] Demosthenous C, Vlachaki E, Apostolou C, Eleftheriou P, Kotsiafti A, Vetsiou E, et al. Beta-thalassemia: renal complications and mechanisms: a narrative review. *Hematology*. 2019;24(1):426–38.
<https://doi.org/10.1080/16078454.2019.1599096>
- [3] Arian M, Oghazian MB, Nour El dine MH, Valinejad A, Badiie Z, Soleimani M, Sahebkar A. Biochemical markers of early renal dysfunction in patients with β -thalassemia major: a systematic review and meta-analysis. *Current Medicinal Chemistry*. 2025;32(13):2572-97.
<https://doi.org/10.2174/0109298673250805230922054406>
- [4] Hashemieh M. Early detection of renal dysfunction in β thalassemia with focus on novel biomarkers. *Iranian Journal of Pediatric Hematology & Oncology*. 2020;10(1):57–68.
- [5] Musallam KM, Barella S, Origa R, Ferrero GB, Lisi R, Pasanisi A, et al. Differential effects of iron chelators on iron burden and long-term morbidity and mortality outcomes in a large cohort of transfusion-dependent β -thalassemia patients who remained on the same monotherapy over 10 years. *Blood Cells, Molecules, and Diseases*. 2024;107:102859.
<https://doi.org/10.1016/j.bcmd.2024.102859>
- [6] Al-Nood H. Thalassemia trait in outpatient clinics of Sana'a city, Yemen. *Hemoglobin*. 2009;33(3-4):242-46.
<https://doi.org/10.1080/03630260903039594>
- [7] Banafa AM, Al-Awar MS, Ahmed AAY, Edrees WH, Alyafrosi OAH, Y. Haemosiderosis, liver and renal diseases among thalassemia patients in Sana'a city – Yemen. *Al-Razi University Journal of Medical Sciences*. 2022;6(2):1–10.
<https://doi.org/10.51610/rujms6.2.2022.142>
- [8] Tantawy AAG, El Bablawy N, Adly AAM, Ebeid FSE. Early predictors of renal dysfunction in Egyptian patients with β -thalassemia major and intermedia. *Mediterranean Journal of Hematology and Infectious Diseases*. 2014;6(1):e2014057.
- [9] Pierce CB, Muñoz A, Ng DK, Warady BA, Furth SL, Schwartz GJ. Age-and sex-dependent clinical equations to estimate glomerular filtration rates in children and young adults with chronic kidney disease. *Kidney International*. 2021;99(4):948-56.
<https://doi.org/10.1016/j.kint.2020.10.047>
- [10] Inker LA, Eneanya ND, Coresh J, Tighiouart H, Wang D, Sang Y, Crews DC, et al. New creatinine-and cystatin C–based equations to estimate GFR without race. *The New England Journal of Medicine*. 2021;385(19):1737-49.
<https://doi.org/10.1056/NEJMoa2102953>
- [11] Elsayed ME, Sharif MU, Stack AG. Chapter four - transferrin saturation: a body iron biomarker. *Advances in Clinical Chemistry*. 2016;75:71-97.
<https://doi.org/10.1016/bs.acc.2016.03.002>
- [12] Cao A, Galanello R. Beta-thalassemia. *Genetics in Medicine*. 2010;12(2):61–76.
<https://doi.org/10.1097/GIM.0b013e3181cd68ed>
- [13] Sadiq IZ, Abubakar FS, Usman HS, Abdullahi AD, Ibrahim B, Kastayal BS, Ibrahim M, Hassan HA. Thalassemia: pathophysiology, diagnosis, and advances in treatment. *Thalassemia Reports*. 2024;14(4):81–102.
<https://doi.org/10.3390/thalassrep14040010>
- [14] Cazzola M. Ineffective erythropoiesis and its treatment. *Blood*. 2022;139(16):2460–70.
<https://doi.org/10.1182/blood.2021011045>
- [15] Lin S, Zheng Y, Chen M, Xu L, Huang H. The interactions between ineffective erythropoiesis and ferroptosis in β -thalassemia. *Frontiers in Physiology*. 2024;15:1–10.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2024.1346173>

- [16] Basu S, Rahaman M, Dolai TK, Shukla PC, Chakravorty N. Understanding the intricacies of iron overload associated with β -thalassemia: a comprehensive review. *Thalassemia Reports*. 2023;13(3):179-94. <https://doi.org/10.3390/thalassrep13030017>
- [17] Karim MF, Ismail M, Hasan AKMM, Shekhar HU. Hematological and biochemical status of beta-thalassemia major patients in Bangladesh: a comparative analysis. *International Journal of Hematology-Oncology and Stem Cell Research*. 2016;10(1):7-12.
- [18] Smolkin V, Halevy R, Levin C, Mines M, Sakran W, Ilia K, Koren A. Renal function in children with β -thalassemia major and thalassemia intermedia. *Pediatric Nephrology*. 2008;23(10):1847-51. <https://doi.org/10.1007/s00467-008-0897-8>
- [19] El-Hawy MA, Allam ET, Shashin HAEM, El-Haroun MS. Urinary biomarkers of early kidney injury in children with beta-thalassemia. *Pediatric Hematology/Oncology and Immunopathology*. 2023;22(4):90-5. <https://doi.org/10.24287/1726-1708-2023-22-4-90-95>
- [20] Deveci B, Kurtoglu A, Kurtoglu E, Salim O, Toptas T. Documentation of renal glomerular and tubular impairment and glomerular hyperfiltration in multitransfused patients with beta thalassemia. *Annals of Hematology*. 2016;95(3):375-81. <https://doi.org/10.1007/s00277-015-2561-2>
- [21] Thongsan P, Tonsawan P, Wanitpongpan C, Lanamtieng T, Phiphitaporn P, Teawtrakul N. Clinical features and risk factors of renal dysfunctions in thalassemic patients. *International Urology and Nephrology*. 2023;55(7):1779-85. <https://doi.org/10.1007/s11255-023-03506-3>
- [22] Hashemieh M. Comparative evaluation of glomerular and tubular function abnormalities in patients with different forms of β -thalassemia, an emerging concern. *Journal of Pediatric Nephrology*. 2019;7(2):1-7. <https://doi.org/10.22037/jpn.v7i2.27833>
- [23] Naderi M, Sadeghi-Bojd S, Valeshabad AK, Jahantigh A, Alizadeh S, Dorgalaleh A, Tabibian S, Bamedi T. A prospective study of tubular dysfunction in pediatric patients with beta thalassemia major receiving deferasirox. *Pediatric Hematology and Oncology*. 2013;30(8):748-54. <https://doi.org/10.3109/08880018.2013.823470>
- [24] Musallam KM, Taher AT. Mechanisms of renal disease in β -thalassemia. *Journal of the American Society of Nephrology*. 2012;23(8):1299-302. <http://doi.org/10.1681/ASN.2011111070>
- [25] Ponticelli C, Musallam KM, Cianciulli P, Cappellini MD. Renal complications in transfusion-dependent beta thalassaemia. *Blood Reviews*. 2010;24(6):239-44. <https://doi.org/10.1016/j.blre.2010.08.004>
- [26] Al-kenany RK, Al-Janabi GG, Al-Saedi SR. Biochemical study of some parameters in patients with b-thalassemia in Karbala city. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology*. 2021;15(2):3353-8.
- [27] Tellioglu AM, Karadas S, Bilgin MD, Caliskan SO. Assessment of body composition with bioelectrical impedance analysis in thalassemia major patients. *Journal of Experimental and Clinical Medicine*. 2017;34(2):93-7.
- [28] Khandker SS, Jannat N, Sarkar D, Pranto AH, Hoque IA, Zaman J, Nizam Uddin M, Suez E. Association between glomerular filtration rate and β -thalassemia major: a systematic review and meta-analysis. *Thalassemia Reports*. 2023;13(3):195-205. <https://doi.org/10.3390/thalassrep13030018>
- [29] Hassanein N, Thabet MAE, Maarouf D, Mikhail N. Study of uric acid excretion in children with beta-thalassemia major

- attending Alexandria University Children's Hospital. *Alexandria Journal of Pediatrics*. 2022;35(1):33-9. https://doi.org/10.4103/ajop.ajop_6_22
- [30] Milo G, Nevo RFG, Pazgal I, Gafter-Gvili A, Shpilberg O, Gafter U, Erman A, Stark P. GFR in patients with β -thalassemia major. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*. 2015;10(8):1350-6. <https://doi.org/10.2215/CJN.12181214>
- [31] Khawaji MM, Hazzazi AA, Ageeli MH, Mawkili YH, Darbashi AH, Kathiyah AMAA, Humedi RA. Clinical and hematological features among β -thalassemia major patients in Jazan region: A hospital-based study. *Journal of Family Medicine and Primary Care*. 2020;9(1):412-17. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_100_7_19
- [32] Saleh KK, Kakey ES. Hematological and biochemical status of β -thalassemia major patients in Koya city. *ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences*. 2021;33(5):76-84. <http://dx.doi.org/10.21271/ZJPAS.33.5.9>
- [33] Yadgarova N. Thalassemia. Etiology, pathogenesis, clinical picture, diagnosis, treatment. *The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research*. 2026;8(2):194-99. https://doi.org/10.37547/tajmspr/Volume_08Issue02-29
- [34] Gowda RY, Gudi JG, Mandolika RY, Srevatsa K, Kangle RP, Jali SM. A laboratory approach consideration for thrombotic risk assessment in transfusion-dependent β -thalassemia major utilizing complete blood count cell population data and basic screening hemostatic parameters. *Journal of the Scientific Society*. 2024;51(3):388-92. https://doi.org/10.4103/jss.jss_464_23
- [35] Mohammed MR, Hamoode RH, Al-Mahdawi FKI. Hypoparathyroidism due to iron overload in β -thalassemia patients. *Biomedicine*. 2022;42(6):1305-8. <https://doi.org/10.51248/v42i6.2394>
- [36] Javad G, Saeid A, Mohammadmehdi N. Thalassemia and immune system dysfunction-review article. *International Journal of Current Research*. 2011;3(12):105-8.
- [37] Bazi A, Shahramian I, Yaghoobi H, Naderi M, Azizi H. The role of immune system in thalassemia major: a narrative review. *Journal of Pediatrics Review*. 2018;6(2):29-36. <https://doi.org/10.5812/jpr.14508>
- [38] Aisyi M, Tumbelaka AR, Munthe BG, Madiyono B. Splenectomy and its relation to non-transfusion-transmitted infection in thalassemic patients. *Paediatrica Indonesiana*. 2006;46(5-6):134-8.
- [39] Zarina AL, Norazlin KN, Hamidah A, Aziz DA, Zulkifli SZS, Jamal R. Spectrum of infections in splenectomised thalassaemia patients. *Medical Journal of Malaysia*. 2010;65(4):284-286.
- [40] Awadallah S, Al Arrayed K, Bahareth E, Saeed Z. Total antioxidant capacity and ischemia modified albumin in β -thalassemia. *Clinical Laboratory*. 2013;59(5-6):687-91. <https://doi.org/10.7754/clin.lab.2012.120907>
- [41] Nahi SM, Jabir FA. The correlation of hepcidin with hemoglobin and iron parameters in Iraqi patients with β -thalassemia majors. *Al-Qadisiyah Medical Journal*. 2023;19(1):9-14. <https://doi.org/10.28922/qmj.2023.19.1.9-14>
- [42] Jumaah DA. A Practical study on the relationship between serum iron elevation and liver enzymes plus other factors in patients with β -thalassemia. *SAR Journal of Anatomy and Physiology*. 2024;5(3):50-7. <https://doi.org/10.36346/sarjap.2024.v05i03.003>
- [43] Choudhary F, Rani P, Kotru M, Gomber S, Dewan P, Gupta R, Sikka M, More S. Correlation of T-regulatory cells and iron status in β -thalassemia major patients. *Cureus*. 2023;15(2):e35084. <https://doi.org/10.7759/cureus.35084>

- [44] Ahmad T, Jahanzaib A, Baloch T, Imtiaz H, Iqbal M, Shaban MN, Ali ZZ, Zeshan M, Jahangir A, Mughal FA. Evaluation of serum iron profile in beta thalassemia patients. *Insights-Journal of Health and Rehabilitation*. 2025;3(4):369-76.
- [45] Sposi NM. Oxidative stress and iron overload in β -thalassemia: an overview. London: IntechOpen Limited; 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90492>
- [46] Fibach E, Dana M. Oxidative stress in β -thalassemia. *Molecular Diagnosis & Therapy*. 2019;23(2):245-61. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40291-018-0373-5>
- [47] Bayanzay K, Alzoebe L. Reducing the iron burden and improving survival in transfusion-dependent β -thalassemia patients: current perspectives. *Journal of Blood Medicine*. 2016;2016(7):159-69. <https://doi.org/10.2147/JBM.S61540>
- [48] Blanck HM, Pfeiffer CM, Caudill SP, Reyes M, Gunter EW, Imperatore G, van Assendelft OW, Strider S, Dearth T. Serum iron and iron-binding capacity: a round-robin interlaboratory comparison study. *Clinical Chemistry*. 2003;49(10):1672-75. <https://doi.org/10.1373/49.10.1672>
- [49] Rivella S. Iron metabolism under conditions of ineffective erythropoiesis in β -thalassemia. *Blood*. 2019;133(1):51-8. <https://doi.org/10.1182/blood-2018-07-815928>
- [50] Vlachaki E, Venou TM. Iron overload: The achilles heel of β -thalassemia. *Transfusion Clinique et Biologique*. 2024;31(3):167-73. <https://doi.org/10.1016/j.tracli.2024.06.001>

Learning Analytics of Timing-Based Enrollment Behaviors for Early Academic Attrition Prediction

Anwar Ali Yahya 

Department of Artificial Intelligence, Faculty of Engineering and Technology, Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen

E-mail: anwar.althari@ar-rasheed.edu.ye

Received: 17 May 2026

Revised: 18 June 2026

Accepted: 21 June 2026

تحليلات التعلم لسلوكيات التسجيل القائمة على التوقيت للتنبؤ المبكر بالتسرب الأكاديمي

أنور علي يحيى 

قسم الذكاء الاصطناعي، كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة الرشيد الذكية، صنعاء، اليمن

الإيميل: anwar.althari@ar-rasheed.edu.ye

تاريخ التقديم: 17 مايو 2026 تاريخ إرسال التعديلات: 18 يونيو 2026 تاريخ القبول: 21 يونيو 2026

Abstract

This paper investigates the predictive power of timing-based enrollment behaviors in response to a practical institutional need for an early warning system aimed at reducing academic attrition associated with late course drops. A learning analytics methodology has been adopted to examine three timing-based behavioral indicators: late enrollment, academic planning regularity, and enrollment procrastination, as early predictors of late course drop across three analytical levels, micro (course-level), meso (semester-level), and macro (program-level). More specifically, the three timing-based enrollment behaviors have been extracted from students' transactional enrollment logs of 13 semesters, and logistic regression analysis between each indicator and late course drop, at each level, has been conducted. The findings indicate that both late enrollment and enrollment procrastination are robust positive predictors of academic risk across all analytical scales ($p < 0.001$), with effect sizes becoming most pronounced at the programmatic level (Odds ratio=34.54 for late enrollment). In contrast, academic planning regularity emerged as a protective indicator (Odds ratio=0.404 at the meso level) associated with improved preparedness for semester workload demands. The findings support the transferability of timing-based behavioral indicators analytics while providing actionable intelligence for institutional early warning systems to enable earlier and more targeted student interventions before critical academic loss occurs.

Keywords: Learning analytics, transferability, academic attrition, late course drops, enrollment behaviors, transactional logs, early warning systems

المخلص

هدفت هذه الورقة إلى تقصي القدرة التنبؤية لسلوكيات التسجيل القائمة على التوقيت، والتي تأتي استجابةً لحاجة مؤسسية لعمل كنظام إنذار مبكر يهدف إلى الحد من التسرب الأكاديمي المرتبط بالانسحاب المتأخر من المقررات الدراسية. وقد تم اعتماد منهجية تحليل التعلم لدراسة ثلاثة مؤشرات سلوكية قائمة على التوقيت، وهي: التسجيل المتأخر، وانتظام التخطيط الأكاديمي، والمطالبة في التسجيل، باعتبارها مؤشرات تنبؤية مبكرة للانسحاب المتأخر من المقررات الدراسية عبر ثلاثة مستويات تحليلية: المستوى الجزئي (مستوى المقرر الدراسي)، والمستوى المتوسط (مستوى الفصل الدراسي)، والمستوى الكلي (مستوى البرنامج). وعلى وجه الدقة، تم استخلاص سلوكيات التسجيل الثلاثة المرتبطة بالتوقيت من سجلات الطلاب خلال 13 فصلاً دراسياً، ثم أُجري تحليل الانحدار اللوجستي بين كل مؤشر والانسحاب المتأخر من المقررات الدراسية على كل مستوى. تشير النتائج إلى أن كلا من التسجيل المتأخر والمطالبة في التسجيل مؤشران تنبؤيان إيجابيان قويان للمخاطر الأكاديمية عبر جميع المقاييس التحليلية ($p < 0.001$)، مع بروز تأثيرهما بشكل أوضح على مستوى البرنامج (نسبة الأرجحية = 34.54 للتسجيل المتأخر). في المقابل، برز انتظام التخطيط الأكاديمي كمؤشر وقائي (نسبة الأرجحية = 0.404 على المستوى المتوسط)، وارتبط بتحسين الاستعداد لمتطلبات عبء العمل الفصلي. تدعم هذه النتائج إمكانية تطبيق تحليلات المؤشرات السلوكية القائمة على التوقيت، مع توفير معلومات قابلة للتنفيذ لأنظمة الإنذار المبكر المؤسسية؛ مما يتيح تدخلات طلابية مبكرة وأكثر استهدافاً قبل حدوث خسائر أكاديمية جسيمة.

الكلمات المفتاحية: تحليلات التعلم، قابلية التعميم، التسرب الأكاديمي، الانسحاب المتأخر من المقررات، سلوكيات التسجيل، سجلات المعاملات، أنظمة الإنذار المبكر.

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 3135-6842 | E-ISSN: 3135-6850 / © 2026 The Author. Published by Ar-Rasheed Smart University, Yemen.

Journal website: <https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUJBAS/en>

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences 2026, 1(1), 24-48

<https://doi.org/10.67151/rujbas.v1i1.38>

1. Introduction

In response to the rapid growth of digital transformation in higher education, the two interdisciplinary fields of educational data mining (EDM) and learning analytics (LA) continue to develop computational methods for the effective analysis of large-scale educational datasets, which are being generated in increasing volumes and at an accelerating pace [1]. In achieving this common aim, researchers in both fields utilize various types of data on learners and their learning environments. A fundamental distinction among educational data is whether they reflect static or dynamic aspects of learners [2]. While static data provide a fixed historical profile, dynamic data, often termed 'digital trails' [3], capture the evolving nature of students' academic journeys as they interact with the learning environment.

Recent years have witnessed a growing shift in research focus toward the utilization of these dynamic behavioral data streams [4, 5], owing to their inherent ability to capture learners' behavioral characteristics and reveal their continuously evolving academic journeys—rather than fixed historical profiles [2]. This growth has been driven by the recognition that longitudinal behavioral data enable the construction of more accurate student models. In this respect, various types of dynamic educational data have been accumulated, including high-granularity interaction logs from learning management systems (LMSs) (e.g., login frequencies and resource access patterns), digital records of campus activities obtained through smart card check-ins (e.g., library entries and clinic visits), and Wi-Fi-based spatiotemporal trajectories that track students' movements across different study and recreational areas on campus.

A potent source of dynamic data capable of reflecting the behavioral traces of students' decision-making processes can be found in

transactional enrollment data. These data provide a process-oriented view of the meso-level enrollment trajectories that students navigate during the initial registration period before arriving at their finalized schedules [6]. In contrast to learning management system (LMS) activity logs, which primarily capture students' engagement and interactions after a course has commenced, transactional enrollment data reveal the sequence of enrollment decisions made before instruction begins. This level of granularity enables the identification of complex behaviors, such as course shopping and enrollment procrastination (EP), which remain largely invisible in other dynamic data streams [6]. Furthermore, as these records are extracted directly from administrative student information systems, they provide complete cohort coverage and are not subject to the self-reporting and non-response biases commonly associated with survey-based dynamic data [6].

A critical challenge facing higher education institutions, resulting in significant credit loss and financial penalties, is student attrition. In response to this problem, researchers have increasingly focused on developing early warning models capable of identifying at-risk students during the initial weeks of study [6, 7]. Fine-grained transactional enrollment data, in the form of timestamped records of course add and drop actions, have emerged as a valuable source of predictive indicators [6, 8]. The advantages of these data lie in their ability to provide timely and continuous predictors of student academic performance by revealing temporal decision-making processes weeks before official academic deadlines [8, 9]. This capability is of paramount importance for identifying and mitigating student attrition, particularly late course drops (LDs), which result in substantial yet often overlooked credit loss and financial penalties [6, 7, 10]. The identification of these digital trails during the enrollment phase enables institutions to detect at-risk students

early enough to implement pedagogical interventions and personalized support before academic loss occurs [5, 11, 12].

While existing literature has explored the impact of enrollment timing as an early predictor of student academic performance in diverse settings, a significant challenge in adopting reported findings persists due to the inherent and specific nature of LA as a heavily context-dependent field [1, 11]. More precisely, most research in LA originates from problems encountered at a specific institution and relies on data specific to that institution. Therefore, predictive models often lack external validity, generalizability, and practical utility when applied to diverse educational environments [11, 13]. For example, most research in enrollment-based analytics has been conducted at large US public institutions or online-only universities, which motivate the need for transferability research to investigate whether the established findings in these specific institutional contexts, remain valid and robust across different institutional settings [5, 4].

At Ar-Rasheed Smart University (RSU), to deal with the academic attrition problem, an early warning system (EWS) has been proposed, based on converting raw administrative logs into actionable intelligence required for effective decision-making [3]. This enables RSU to provide proactive support and intervention, such as targeted academic advising and workload awareness dashboards, before students reach a critical academic loss point [4, 12]. With this motivation, the present research seeks to examine the external validity of three timing-based student enrollment behaviors, specifically late enrollment (LE), academic planning regularity (APR), and EP, within the unique administrative context and student enrollment patterns of RSU [4, 12].

Despite the documented predictive power of enrollment timing in large US public universities, a significant research gap remains

regarding the transferability of these indicators to the unique administrative and cultural contexts of smart universities in the Middle East, such as RSU. While previous research often focuses on single-semester snapshots, this research establishes timing-based behaviors as objective behavioral proxies for unobserved psychometric traits like self-regulation and conscientiousness. Furthermore, the research introduces a novel multi-scale (micro–meso–macro) analytical framework that utilizes fine-grained transactional administrative logs to generate longitudinally updated behavioral profiles. This approach transforms routinely collected enrollment data into actionable intelligence for institutional EWS, enabling proactive pedagogical interventions before critical academic loss occurs.

2. Literature Review

Student academic performance has long been regarded as one of the key indicators of quality in higher education, around which institutional policies, teaching practices, and student support services are organized [14]. In this respect, academic performance reflects both the effectiveness of educational institutions in achieving their intended learning outcomes and the extent to which students successfully attain these outcomes [15]. Consequently, predicting future academic performance has become an important research objective, enabling institutions to move from reactive educational practices toward proactive intervention strategies. Such predictive capabilities allow timely implementation of academic advising, personalized feedback, and other support mechanisms that improve student success, enhance retention, and reduce academic failure [12]. Nevertheless, accurate prediction remains a challenging task because learning is inherently dynamic, cumulative, and influenced by a wide range of heterogeneous

factors that evolve throughout a student's academic journey [16].

To address this challenge, previous research has investigated numerous factors associated with student academic performance [4]. In general, these factors can be classified into four broad categories. The first category comprises demographic characteristics, including age, gender, ethnicity, and disability status. The second category includes prior academic records, such as high school grade point average (GPA), national examination scores, and university admission results. The third category encompasses psychometric characteristics, including self-efficacy, motivation, self-regulation, learning strategies, and personality traits such as the Big Five. Finally, socio-economic and environmental factors, including family income, parental education, and institutional support, constitute another important category of predictors [11, 17, 18]. Although these factors have demonstrated considerable predictive capability for traditional student populations, their effectiveness is often reduced when applied to non-traditional, mature, or socioeconomically diverse student groups, motivating researchers to investigate additional sources of predictive information [2]. In this respect, psychometric measures have received considerable attention because they capture non-cognitive dimensions of learning that are not reflected in conventional academic records. Previous studies have shown that variables such as conscientiousness, self-efficacy, and learning strategies explain a substantial proportion of the variation in academic performance. However, the dependence of these measures on self-reported questionnaires introduces several practical limitations, including response bias, limited scalability, and the difficulty of collecting such information continuously throughout students' academic progression [7].

More recently, research has increasingly shifted toward the utilization of dynamic

behavioral data, which consist of continuously evolving digital trails generated as students interact with institutional systems throughout their academic activities [3, 5]. Unlike static demographic or historical academic records, these data provide a real-time representation of students' behavioral patterns and learning activities. In this respect, various forms of dynamic behavioral data have been utilized, including high-granularity interaction logs collected from LMSs [4, 12, 19] and intelligent tutoring systems [20]. These systems capture detailed information regarding students' engagement, such as login frequency, resource access patterns, clickstream events, and system-specific activities, including saving, simulating, or modifying learning artifacts. Beyond instructional platforms, researchers have also utilized behavioral information derived from smart ID card transactions [21, 22] and Wi-Fi access logs [21] to characterize students' broader campus activities, including library utilization, consumption habits, and spatiotemporal movement across university facilities. Another important source of dynamic behavioral information is represented by transactional enrollment records, which provide fine-grained histories of students' administrative interactions during course registration [8, 9]. Unlike conventional learning activity logs, these records provide a process-oriented representation of enrollment behavior by capturing the sequence of course additions, drops, and waitlist actions that students perform before finalizing their semester schedules [6, 8]. Consequently, mining these transactional records enables the identification of complex enrollment behaviors, such as course shopping, through which students repeatedly modify their schedules in an attempt to optimize workload, course selection, and personal preferences [6, 10].

An interesting utilization of transactional logs is the detection of early behavioral signs, such as schedule mismanagement or

enrollment uncertainty, that remain entirely invisible in other forms of dynamic behavioral data [7-9]. A specific group derived from fine-grained transactional enrollment logs has emerged as a potent early signal of student attrition [6, 7]. One of the most extensively researched indicators is LE, typically defined as enrolling in a course on or after the first day of instruction [12, 23]. Extensive research across diverse institutional settings confirms a statistically significant negative correlation between registration timing and final academic marks, with LE students frequently earning as much as a full GPA point lower than their on-time peers [12, 23]. This delay is often interpreted as a behavioral proxy for student diligence and self-regulation; students who register late often begin the term already at a disadvantage, having missed foundational syllabus overviews and essential initial assignments [7, 12]. Closely linked to these temporal patterns is the construct of EP, which measures the relative time point at which a student initiates administrative actions in relation to institutional deadlines [6, 23]. Research indicates that high EP often triggers a vicious cycle of self-regulatory failure, where students inadvertently take on higher effective workloads and more difficult course sets that they are ultimately unprepared to manage [9, 24]. Conversely, APR, defined as the even spacing of enrollment actions throughout the registration window, serves as a critical protective indicator [6, 9]. Students who exhibit regular planning habits are statistically less likely to experience the schedule

mismanagement that leads to LDs and institutional credit loss [9, 10]. By mining these timing-based "digital trails" during the enrollment phase, institutions can develop proactive EWS that provide support at the point of registration rather than waiting for semester-end assessment failures [4, 12].

Despite the predictive power of enrollment behavioral indicators, a fundamental limitation often encountered in the existing models is their lack of external validity. More precisely, most existing LA models are heavily dependent on private, institution-specific datasets, which make them context-dependent models. Such models are trained on specific populations and frequently fail when applied to diverse educational environments [4]. Consequently, the existing LA models are restricted in their practical utility due to their inability to link their results to local educational policies and draw actionable insights required for practitioners, such as advisors and administrators, to make better decisions [4]. These inherent problems motivate transferability research that validates established enrollment behavioral indicators within specific institutional contexts to ensure that institutional EWS are both reliable and precisely tuned [6, 12].

To provide a clear overview of how the current study relates to and extends previous research in timing-based behavioral analytics, Table 1 summarizes the key dimensions of relevant prior studies in comparison to our multi-scale approach.

Table 1. Comparison of relevant timing-based predictive research

Ref.	Data source	Analytical level	Main outcome	Behavioral proxy
[6]	Transactional enrollment logs	Meso	Late course drops	Procrastination
[12]	Registration timestamps	Micro	Final course score	Registration timing
[7]	Transactional student records	Meso / Macro	Student attrition	Schedule changes
[25]	LMS activity logs	Micro	Course achievement	Learning persistence
This research	Transactional enrollment logs	Micro, Meso, Macro	Late course drops	Timing-based behaviors

3. Methodology

The primary objective of this research is to implement an LA framework using the transactional logs of RSU to investigate timing-based behavioral indicators as early predictors of student attrition, specifically LDs. Since an LA methodology has been adopted, the methodology of this research is viewed as a specialized adaptation of a knowledge discovery process that involves the following four steps [4, 6]: data acquisition; data processing and integration, feature engineering, correlation analysis, and actionable insights synthesis.

3.1. Data Acquisition

To achieve the objectives of this research, transactional enrollment records were extracted from the RSU Student Information System, which serves as the official repository of students' academic and administrative records. The study considers students enrolled in five undergraduate programs offered by the Faculty of Engineering and Technology (FET), namely Information Technology, Cybersecurity, Interior Design, Graphics and Multimedia, and Mechatronics. The dataset covers a period of 13 consecutive academic

semesters, providing a comprehensive longitudinal view of students' enrollment trajectories and enabling the analysis of behavioral patterns over an extended period.

The collected data comprise two primary categories. The first category consists of transactional course enrollment logs generated during the registration period of each academic semester. These records capture the complete sequence of enrollment activities through which students progressively construct their final semester schedules, thereby providing a process-oriented representation of enrollment behavior at the meso level. For each enrollment transaction, several fine-grained attributes are recorded. These include the transaction type documenting every course add and drop action initiated by the students; precise timestamps associated with each transaction, enabling the derivation of temporal behavioral indicators such as enrollment delay and procrastination; and administrative audit records, which preserve both the initial departmental decision and the final institutional approval, thereby distinguishing students' enrollment intentions from subsequent administrative adjustments. Figure 1 presents a sample of the raw transactional enrollment data.

Program Name	Student ID	Student Name	Course ID	Course Name	Entrance Semester	Semester No	Application Type	Department Approval	Application Status	Application Date	Final Approval date
تقنية المعلومات	202210101212		101244	تصميم وتطوير الويب	20221	20231	حذف	مرفوض	غير مسجل	14/07/2023	10/08/2023
الأن السياري	202210100106		101244	تصميم وتطوير الويب	20221	20231	حذف	معتد	غير مسجل	14/07/2023	
الأن السياري	202210100237		101244	تصميم وتطوير الويب	20221	20231	حذف	معتد	غير مسجل	14/07/2023	
تقنية المعلومات	202210101212		101247	أمن المعلومات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	08/08/2023
تقنية المعلومات	202210101193		101247	أمن المعلومات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023
تقنية المعلومات	202210100385		101247	أمن المعلومات	20221	20231	حذف	معتد	غير مسجل	14/07/2023	
تقنية المعلومات	202210101212		101248	تحليل وتصميم النظم	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	08/08/2023
تقنية المعلومات	202210101193		101248	تحليل وتصميم النظم	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023
تقنية المعلومات	202210101212		101253	إدارة الشبكات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	20/09/2023
تقنية المعلومات	202210101193		101253	إدارة الشبكات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023
تقنية المعلومات	202210101212		101254	مشاريع تكنولوجيا المعلومات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	08/08/2023
تقنية المعلومات	202210100074		101254	مشاريع تكنولوجيا المعلومات	20221	20231	حذف	معتد	غير مسجل	14/07/2023	
هندسة ميكاترونكس	202210100056		101264	أساسيات البرمجة	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	12/08/2023
هندسة ميكاترونكس	202210101262		101264	أساسيات البرمجة	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	12/08/2023
جرافيكس وميديا	202210100819		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	12/08/2023
جرافيكس وميديا	202210100974		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	12/08/2023
الأن السياري	202210100897		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023
الأن السياري	202210100106		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023
جرافيكس وميديا	202210100387		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	12/08/2023
تقنية المعلومات	202210100385		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023
الأن السياري	202210100237		101266	الإحصاء والاحتمالات	20221	20231	إضافة	معتد	مسجل	14/07/2023	10/08/2023

20221 refers to the first semester of the academic year 2022.

Figure 1. Snapshot of RSU-FET transactional logs data.

The second form of raw data is a recording of student academic performance. This involves granular performance indicators

for every student-course pair: the course grade point, the raw mark standardized on a 4-scale point, and course status, which is the final

administrative status of the enrolled course, with categorical labels such as passed, fail, and late course drop (LD). The specific status "LD" (withdrawals after the official penalty-free deadline) is identified in literature as a key indicator of academic planning mismanagement. Figure 2 is a snapshot of the academic performance data.

As will be described in the subsequent subsections, the two forms of raw data are integrated into one record for each student-pair and serves as the foundation for the subsequent preprocessing and feature engineering stages (Figure 3). A summary of the dataset's scale is provided in Table 2.

Besides the forms of student data mentioned above, data on official study plans

for each of the five programs have been collected. These study plans serve as the normative baseline for optimal university curricula, defining the prescribed sequence of courses students are expected to pursue to achieve on-time graduation. For every academic program, the study plan dataset includes: curricular classification, detailed markers indicating whether a course is compulsory, university elective, or a program elective; academic prerequisites, the specific pre-requisite courses required for enrollment in a particular course; and course metadata including course hours, max score, and min score, which provide the necessary context for interpreting the Grade Point data.

Program Name	Student ID	Student Name	Course ID	Course Name	Entrance Semester	Semester No	Score	Grade Point	Relative Score	Course Status	Final Approval	Credit Hours	Modification Date
جرافيكس وماتريديا	202210100841		101590	اللغة الإنجليزية (102)	20221	20223	0	0	0	راسب	موافقة	4	2023/07/20
جرافيكس وماتريديا	202210100849		101590	اللغة الإنجليزية (102)	20221	20223	0	0	0	راسب	موافقة	4	2023/07/20
تقنية المعلومات	202210101229		101005	الرياضيات (101)	20221	20223	92	3.7	92	ناجح	موافقة	2	2023/07/23
الأن سيبراني	202210100860		101589	اللغة الإنجليزية (101)	20221	20223	148	2.3	74	ناجح	موافقة	4	2023/07/25
تقنية المعلومات	202210100353		101263	رياضيات (2)	20211	20223	79	1	53	ناجح	موافقة	3	2023/07/26
تقنية المعلومات	202210100969		101589	اللغة الإنجليزية (101)	20221	20223	190	4	95	ناجح	موافقة	4	2023/07/27
التصميم الداخلي	202210101001		101589	اللغة الإنجليزية (101)	20221	20223	200	4	100	ناجح	موافقة	4	2023/07/27
التصميم الداخلي	202210100422		101590	اللغة الإنجليزية (102)	20221	20223	0	0	0	راسب	موافقة	4	2023/07/27
الأن سيبراني	202210100897		101590	اللغة الإنجليزية (102)	20221	20223	0	0	0	راسب	موافقة	4	2023/07/27
الأن سيبراني	202210100858		101262	رياضيات (1)	20221	20223	81	1	54	ناجح	موافقة	3	2023/07/27
التصميم الداخلي	202210100422		101002	لغة عربية (1)	20221	20223	0	0	0	طالب عن النهائي	موافقة	2	2024/01/22
التصميم الداخلي	202210100422		101262	رياضيات (1)	20221	20223	20	0	13	راسب	موافقة	3	2024/01/22
التصميم الداخلي	202210100999		101263	رياضيات (2)	20221	20223	84	1.3	56	ناجح	موافقة	3	2024/01/22
تقنية المعلومات	202210100152		101262	رياضيات (1)	20221	20223	0	0	0	طالب عن النهائي	موافقة	3	2024/01/22
جرافيكس وماتريديا	202210100796		101589	اللغة الإنجليزية (101)	20221	20223	0	0	0	طالب عن النهائي	موافقة	4	2024/01/24
جرافيكس وماتريديا	202210100805		101589	اللغة الإنجليزية (101)	20221	20223	158	2.7	80	ناجح	موافقة	4	2024/01/27
جرافيكس وماتريديا	202210101178		101589	اللغة الإنجليزية (101)	20221	20223	162	3	81	ناجح	موافقة	4	2024/01/27
هندسة ميكاترونكس	202210100193		101264	أساسيات البرمجة	20211	20223	90	1.7	60	ناجح	موافقة	3	2024/01/27
تقنية المعلومات	202210100311		101019	لغة الإنجليزية للتخصص 3	20221	20223	0	0	0	طالب عن النهائي	موافقة	2	2024/01/27
تقنية المعلومات	202210100311		101243	نظم قواعد البيانات	20221	20223	0	0	0	طالب عن النهائي	موافقة	3	2024/01/27
تقنية المعلومات	202210100762		101243	نظم قواعد البيانات	20221	20223	0	0	0	طالب عن النهائي	موافقة	3	2024/01/27

Figure 2. Snapshot of the RSU-FET student academic performance.

Table 2. Quantitative summary of the collected RSU-FET data

Data aspect	Magnitude / Details
Institutional context	FET, RSU
Observation period	13 Semesters
Academic programs	Information Technology, Cybersecurity, Interior Design, Graphics and Multimedia, Mechatronics)
Primary data source	RSU student information system
Transaction types	Add, Drop, Department decision, Final approval
Performance identifiers	Grade point (GP), Course status (Pass/Fail/LD)
Data format	Student-Period (one row per student-course-semester)
Size of enrollment data	52890 records
Size of academic data	51771 records

Program Name	Study Plan Semester	Course Semester	Course ID	Course Code	Course Name - Arabic	Course Name - English	Course Hours	Pre-requisite IDs	Max Score	Min Score	Course Type-I	Course Type-II	# Required Electives	# Electives	Compulsory	University Elective	Program Elective
تقنية المعلومات	20241	3	101266	FET201	الإحصاء والاحتمالات	Probability & Statistics	3	[]	150	75	3	1	3	9	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20231	3	101570	INTD234	التصميم الداخلي بواسطة الكمبيوتر	Computer Aided Interior Design	3	[]	150	75	1	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20241	3	101570	INTD234	التصميم الداخلي بواسطة الكمبيوتر	Computer Aided Interior Design	3	[]	150	75	1	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
جرافيكس وملتيميديا	20211	3	101274	BMG261	التصوير الفوتوغرافي	Digital Photography	3	['101270']	150	75	1	1	3	8	TRUE	FALSE	FALSE
جرافيكس وملتيميديا	20231	3	101274	BMG261	التصوير الفوتوغرافي	Digital Photography	3	['101270']	150	75	1	1	3	8	TRUE	FALSE	FALSE
جرافيكس وملتيميديا	20241	3	101274	BMG261	التصوير الفوتوغرافي	Digital Photography	3	['101637']	150	75	1	1	3	8	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20222	3	101274	INTD415	التصوير الفوتوغرافي	Digital Photography	3	[]	150	75	1	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
جرافيكس وملتيميديا	20241	3	101469	BMG249	التفكير التصميمي والابتكار	Design Thinking & Innovation	2	['101637']	100	50	1	1	3	8	TRUE	FALSE	FALSE
جرافيكس وملتيميديا	20211	3	101001	UNR101	الثقافة الإسلامية	Islamic Culture	2	[]	100	50	2	1	3	8	TRUE	FALSE	FALSE
جرافيكس وملتيميديا	20231	3	101001	UNR101	الثقافة الإسلامية	Islamic Culture	2	[]	100	50	2	1	3	8	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20231	3	101001	UNR101	الثقافة الإسلامية	Islamic Culture	2	[]	100	50	2	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20241	3	101001	UNR101	الثقافة الإسلامية	Islamic Culture	2	[]	100	50	2	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20231	3	101008	UNR108	التقانة الوطنية	National Education	2	[]	100	50	2	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20241	3	101008	UNR108	التقانة الوطنية	National Education	2	[]	100	50	2	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
تقنية المعلومات	20231	3	101266	FET201	الإحصاء والاحتمالات	Probability & Statistics	3	[]	150	75	3	1	3	9	TRUE	FALSE	FALSE
تقنية المعلومات	20241	3	101266	FET201	الإحصاء والاحتمالات	Probability & Statistics	3	[]	150	75	3	1	3	9	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20231	3	101570	INTD234	التصميم الداخلي بواسطة الكمبيوتر	Computer Aided Interior Design	3	[]	150	75	1	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
التصميم الداخلي	20241	3	101570	INTD234	التصميم الداخلي بواسطة الكمبيوتر	Computer Aided Interior Design	3	[]	150	75	1	1	1	1	TRUE	FALSE	FALSE
الآمن الصناعي	20231	3	101019	FET202	اللغة الإنجليزية للتخصص	English for Specific Purposes	2	[]	100	50	3	1	3	12	TRUE	FALSE	FALSE
الآمن الصناعي	20241	3	101019	FET202	اللغة الإنجليزية للتخصص	English for Specific Purposes	2	[]	100	50	3	1	3	12	TRUE	FALSE	FALSE

Figure 3. Snapshot of the RSU-FET programs study plans.

3.2. Data Preprocessing and Integration

The raw data extracted from the RSU student information system constitute a large repository of administrative digital trails that require extensive preprocessing before they can be utilized for predictive modeling. This stage is essential for ensuring that the information collected from the three primary data sources—transactional enrollment records, academic performance records, and study plans—is complete, consistent, and suitable for subsequent analysis. In this respect, preprocessing establishes a reliable representation of students' academic behavior by resolving inconsistencies across the different data sources while preserving the integrity of the original administrative records. Consequently, the resulting dataset provides an objective basis for behavioral analysis without the response and recall biases commonly associated with self-reported data.

Each data source was subjected to a series of preprocessing operations to improve data quality prior to integration. Student privacy was preserved through the anonymization of all personally identifiable information, including the removal of student names, thereby ensuring compliance with institutional requirements for research ethics. Temporal attributes, including application dates, modification dates, and final approval dates, were subsequently standardized into a unified date format to ensure consistency across all transactional records. Missing values were

handled according to the availability of historical information; records with sufficient academic history were completed where possible, whereas observations with insufficient information were excluded to preserve the reliability of the subsequent analysis. In addition, abnormal temporal values that fell outside the official registration period were identified and corrected according to institutional registration rules. Categorical variables, including program name, entrance semester, and semester number, were encoded into numerical representations to facilitate computational processing, while duplicate records were identified and removed to ensure that repeated administrative transactions did not distort the derived behavioral indicators.

Following the preprocessing stage, the three cleaned datasets were systematically integrated into a single longitudinal dataset representing each student's academic trajectory throughout the study period. This integration process established a unified analytical repository that combines enrollment behavior, academic performance, and curriculum information, thereby providing the foundation for subsequent feature engineering and predictive modeling. This phase began by unifying column nomenclature across the sources, such as reconciling 'Course Hours' from the program study plans with 'Course Credit Hours' from the academic performance records. The enrollment data was then linked with the academic performance data using unique combinations of 'Program ID', 'Student

ID', 'Entrance Semester', 'Semester No', and 'Course ID'. This combined data source was further integrated with the program study plan data using the 'Program ID', 'Study Plan Semester', and 'Course ID' columns as relational keys. To enhance the granularity of the longitudinal analysis, a new feature, 'Student Sem No', was derived by calculating

the student's relative semester standing based on their entry point ('Entrance Semester') and the current 'Semester No'. In summary, the preprocessing stage transformed raw, fragmented administrative records into a unified longitudinal student-period format as illustrated in Figure 4.

Program ID	Student ID	Entrance Semester	Semester No	Student Sem No	Study Plan Semester	Course ID	Application Type	Department Approval	Application Status	Application Date	Approval Date	Score	Grade Point	Relative Score	Course Status	Final Approval	Course Semester #	Credit Hours	Modification Date	Course Code	Pre-requisite IDs	Max Score	Min Score	Compulsory	University Elective	Program Elective
2	202210100892	4	5	2	4	101006	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/11/2023	80	3	80	ناجح	موافقة	2	2	3/28/2023	UNR105	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
4	202210100898	4	5	2	4	101006	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/25/2023	84	3	84	ناجح	موافقة	2	2	1/25/2023	UNR105	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
4	202210100905	4	5	2	4	101006	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/16/2023	97	4	97	ناجح	موافقة	2	2	1/16/2023	UNR105	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
5	202110100200	1	5	5	1	101010	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/15/2023	61	1.7	61	ناجح	موافقة	4	2	4/5/2023	UNR202	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
5	202110100201	1	5	5	1	101010	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/11/2023	100	4	100	ناجح	موافقة	4	2	4/5/2023	UNR202	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
5	202110100215	1	5	5	1	101010	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/11/2023	94	3.7	94	ناجح	موافقة	4	2	4/5/2023	UNR202	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
5	202110100218	1	5	5	1	101010	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/11/2023	69	2	69	ناجح	موافقة	4	2	4/5/2023	UNR202	["101002"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
1	202110100527	1	5	5	1	101010	حرف	مهند	مستج	1/9/2023	2/8/2023						4			UNR202	["101003"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
1	202110100546	1	5	5	1	101010	حرف	مهند	مستج	1/9/2023							4			UNR202	["101003"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
1	202110100592	1	5	5	1	101010	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/11/2023	82	3	82	ناجح	موافقة	4	2	4/4/2023	UNR202	["101003"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE
5	202110100480	1	5	5	1	101010	إدارة	مهند	مستج	1/9/2023	1/11/2023	95	4	95	ناجح	موافقة	4	2	4/5/2023	UNR202	["101003"]	100	50	TRUE	FALSE	FALSE

Figure 4. Snapshot of the integrated RSU-FET dataset.

3.3. Feature Engineering

In this phase, the three timing-based enrollment behavioral indicators, as manifestations of underlying student traits of conscientiousness, decisional procrastination, and academic self-efficacy are quantified to investigate their prevalence within RSU-FET dataset, across three hierarchical levels: micro (course), meso (semester), and macro (program) levels.

3.3.1. Late Enrollment

LE is formally defined as the act of enrolling in an academic course on or after the first day of the instructional term. However, for the RSU context, LE is defined as the act of enrolling in an academic course after the deadline of the allowed enrollment period, which span two weeks for course add and four weeks for course drop. Within LAs literature, LE indicator is widely utilized as a behavioral proxy for a student's academic diligence and momentum, with longitudinal research consistently linking registration delay to a decline of approximately one full GPA point in performance. In this research, the quantification of LE is extended across three hierarchical levels—micro (course), meso (semester), and macro (program)—to

differentiate between situational course-level delays and a longitudinal trait of chronic administrative procrastination. At the micro level, the indicator is defined relative to the specific enrollment window of an individual course. This metric identifies students at risk of "Syllabus Shock," as they may miss critical introductory material, orientation sessions, or early assignment deadlines for a specific subject. To ensure comparability across courses with varying enrollment periods, the behavior is quantified using the following formula:

$$micro_LE_c = \frac{T_{add} - T_{enroll_start}}{N_{enroll_days}}$$

Where T_{add} is the date the student applied to enroll in a specific course C , T_{enroll_start} is the opening date of the enrollment period, and N_{enroll_days} represents the total number of days in the enrollment window.

At meso level, the metric evaluates a student's overall diligence in navigating the institutional registration system for an entire semester. This captures the student's ability to secure a preferred schedule before sections become impacted or closed. The indicator for a student at semester S is quantified by averaging $micro_LE$ across all courses in

which the student enrolled during that semester:

$$meso_LE_S = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C micro_LE_i$$

Finally, at macro level, the indicator represents the longitudinal behavioral consistency of the student across their entire academic study at RSU. This level is designed to isolate LE students for whom administrative delay is a stable behavioral trait rather than a one-time incident. The macro indicator for a particular student is computed as the average of all semester-level meso-indicators:

$$macro_LE_x = \frac{1}{CS} \sum_{s=1}^{CS} meso_LE_{x,s}$$

3.3.2. Academic Planning Regularity

APR is defined as the degree to which a student exhibits a consistent and even distribution of registration activities throughout the enrollment window, rather than frantic or sporadic bursts of action. First introduced by Borchers [9], this index serves as a behavioral proxy for a student's conscientiousness and organizational self-regulation. Students with high regularity scores demonstrate a deliberate and sustained engagement with their academic trajectory, which the literature links to higher academic performance and a lower incidence of late-term course withdrawals. Conversely, irregular or episodic planning behavior often signals a lack of preparedness or decisional anxiety, which can lead to suboptimal course selection.

As established in the hierarchical framework of this report, APR is conceptually and mathematically restricted to the meso and macro levels, because it requires a longitudinal distribution of multiple timestamped actions to establish a tendency or spread of activity, making it impossible to derive from a single course interaction.

At the meso level, the regularity index captures how a student manages their registration tasks within a single academic term's enrollment window. The metric is calculated as the standard deviation (*SD*) of the difference in days (Δ_i) between consecutive enrollment actions (Adds and Drops), normalized by the total duration of the enrollment period (N_{enroll_days}):

$$meso_APR_S = \frac{SD(\Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n)}{N_{enroll_days}}$$

Where $\Delta_i = T_i - T_{i-1}$ denotes the time gap in days between the i -th and $(i-1)$ -th enrollment action, and n represents the total number of actions. In RSU-FET dataset, it is derived by isolating all application dates for a specific student within a semester. The day-gaps between these sequential dates are calculated, and the standard deviation formula is applied to produce a semester-based regularity score.

At the macro level, the indicator evaluates the longitudinal stability of a student's planning behavior over their entire semesters at RSU. This level distinguishes between students who may have had one frantic semester due to external life stressors and those for whom irregular planning is a persistent behavioral trait. The macro regularity indicator of a student x is quantified by calculating the longitudinal mean and variance of the student's semester-based APR scores:

$$macro_APR_x = \frac{1}{CS} \sum_{s=1}^{CS} meso_APR_{x,s}$$

3.3.3. Enrollment Procrastination

Procrastination in the context of course enrollment is defined as a student's tendency to wait until the final stages of the registration window to complete course enrollment. While procrastination has traditionally been measured using subjective, self-reported survey scales,

recent advancements by Borchers [6] pioneered the use of fine-grained transaction logs to operationalize this behavior objectively. Within the LA literature, EP serves as a behavioral proxy for decisional procrastination and task avoidance, traits frequently linked to lower academic self-efficacy and a higher probability of experiencing adverse outcomes, such as LDs. Research indicates that students with high procrastination indices are more likely to mismanage their course selection, often enrolling in higher overall workloads—particularly more difficult courses—than their earlier-registering peers.

It is essential to distinguish the EP from the closely related indicator of LE. While both metrics describe the timing of student actions, they capture different dimensions of the registration process. LE focuses on the delay from the opening of the enrollment window to a student's first successful enrollment action, serving as a measure of academic diligence and initial momentum. In contrast, EP focuses on the proximity of a student's actions (including adds, drops, and swaps) to the final administrative deadline. Under this framework, a student might enroll on time (at the start of their window) but still be identified as a procrastinator if they wait until the final hours of the add-drop period to finalize their schedule or make critical changes.

At micro level, the EP index quantifies the relative timing of a student's action for enrolling a single course. The micro EP for a course C , $micro_EP_C$ is normalized to a scale of 0 to 1 using the following formula:

$$micro_EP_C = \frac{T_{action} - T_{enroll_start}}{T_{enroll_end} - T_{enroll_start}}$$

Where T_{action} is the timestamp of course add or drop action, T_{enroll_start} is the opening date of the registration phase, and T_{enroll_end} is the institutional add-drop deadline. The final semester-based index is derived by computing

the median of these relative values for all actions initiated by the student. In the RSU-FET dataset, this is derived by comparing the application date of every transaction against the start and end dates of enrollment window.

At meso level, the metric for a student at semester S is quantified by averaging $micro_EP$ across all courses the student enrolled in during that semester:

$$meso_EP_S = \frac{1}{C} \sum_{i=1}^C micro_EP_i$$

At macro level, the indicator evaluates longitudinal behavioral consistency across the student's entire semesters or degree path to identify chronic procrastination. This distal view distinguishes between students who may procrastinate in a single semester due to external life stressors and those for whom task avoidance is a stable, persistent trait. The macro procrastination indicator for student x is computed as the mean of their semester-based procrastination scores across all semesters observation window:

$$macro_EP_x = \frac{1}{CS} \sum_{s=1}^{CS} meso_EP_{x,s}$$

3.4. Statistical Modeling

In this phase of the methodology, a statistical modeling is performed to examine the correlation between each one of the three timing-based enrollment behavior indicators, LE, APR, and EP, and student attrition, represented by the LD [6, 12]. In this statistical model, a behavior indicator is the independent variable, which is a continuous variable and the LD is the dependent variable, which is a binary variable indicating whether a student withdrew from a course after the permitted withdrawal deadline [6]. Therefore, logistic regression (LR) is employed for statistical modeling [18, 19]. LR is particularly appropriate for this research because the

dependent variable, the LD, is binary in nature [4, 18]. This approach enables quantitative enrollment timing indicators to be transformed into actionable predictive insights by estimating the likelihood of attrition before critical academic withdrawal points are reached [4, 19]. Moreover, unlike advanced machine learning approaches such as Random Forest, XGBoost, or Support Vector Machines, functioning as 'black boxes' that lack the theoretical transparency required for pedagogical application, LR belongs to the category of 'white-box' models, providing interpretable coefficients and odds ratios (OR) that clarify both the direction and magnitude of the relationship between behavioral predictors and academic risk.

It is worth mentioning the statistical modeling is applied at the micro, meso, and macro levels for LE and EP, whereas it is applied at meso and macro levels only for APR. As mentioned above, the computation of the APR requires a sequence of enrollment-related actions over time [6]. At micro level, the analysis focuses on individual student-course interactions to assess whether a specific enrollment behavior of a course can serve as immediate indicators of risk associated with that course. At meso level, student behavior is aggregated at the student-semester level, to capture broader enrollment patterns and identify behaviors across an academic semester. At macro level, the analysis extends longitudinally across multiple academic semesters and student cohorts.

3.5. Actionable Insights Synthesis

The findings derived from the statistical modeling are interpreted in light of the RSU contextual specifications, allowing for the synthesis of actionable insights that can be directly integrated into institutional EWS to enhance student success and retention [4, 26]. In this manner, the point of intervention can be

shifted to the very beginning of the semester, in many forms such as proactive academic advising focused on workload management [4, 12]. Additionally, the actionable insights can be integrated for the development of course recommender systems or workload awareness dashboards to assist students in selecting course sets that align with their realistic credit-hour capacity [9, 27].

4. Results and Discussion

In this section, the results obtained from the application of LA approach to the enrollment logs of RSU are presented and the drawn findings are discussed.

RSU-FET Dataset Statistics

A quantitative overview of the population in the RSU-dataset is illustrated in Figure 5(a), where 2,065 unique students are distributed across the five programs in the FET. The largest share of students is enrolled in Information Technology, representing 28.6% (591 students) of the total population, followed by Cybersecurity with 23.1% (478 students) and Graphics and Multimedia with 23.0% (475 students). Mechatronics accounts for 16.0% (330 students), while Interior Design represents the smallest proportion at 9.2% (191 students).

The temporal distribution of unique students across the 12 academic semesters, Figure 5(b) further reveals noticeable fluctuations in student volume between university semesters, which can be attributed to the university's structure of the academic year that consists of two regular semesters and an optional summer semester. Moreover, according to the institutional admission and enrollment system, new student intake occurs primarily during the first regular semester of each academic year. That is why the highest numbers of unique students are observed during these semesters, whereas substantially lower counts appear during the summer semesters.

In addition, Figure 5(c) shows the distribution of unique students by student semester number (i.e., progression through the degree pathway), which demonstrates a clear concentration of students in the early stages of study, particularly in Student Semester No. 1

across all programs. The number of unique students then progressively declines in the higher student semesters, indicating a gradual reduction in cohort size as students advance toward the later stages of their programs.

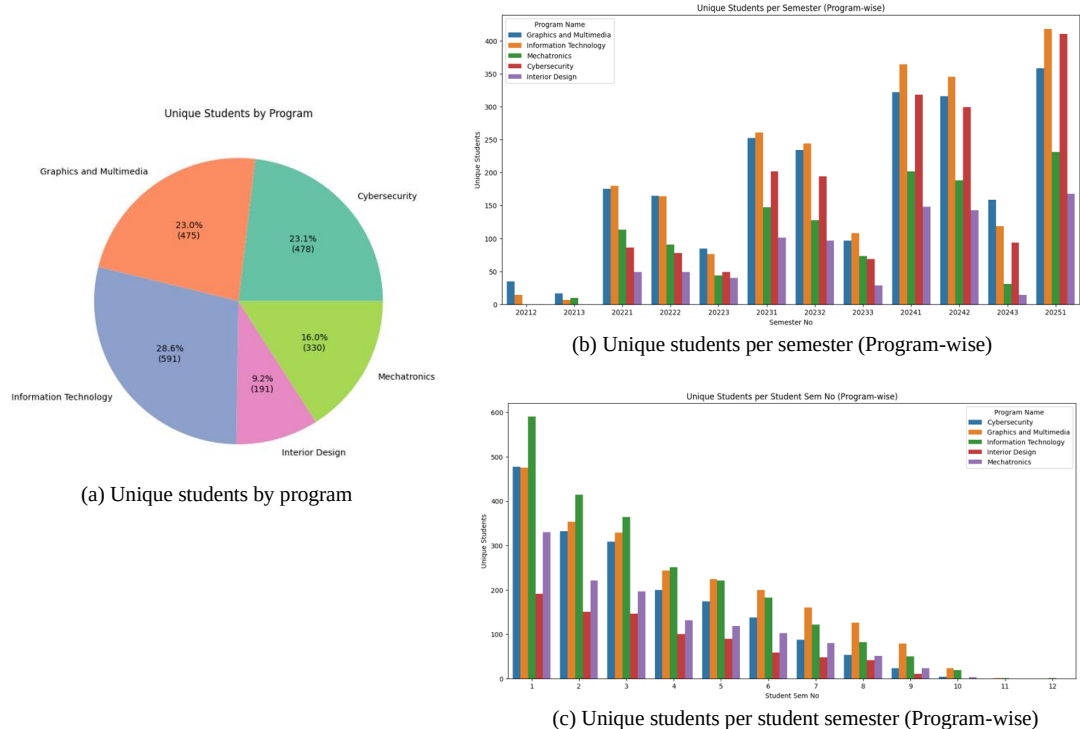


Figure 5. Statistics of RSU-FET dataset.

Similarly, Figure 6(a) presents the distribution of LD cases across the five academic programs. Graphics and Multimedia records the highest proportion of LDs, accounting for 32.3% (367 cases), followed by Information Technology with 28.5% (324 cases). Mechatronics contributes 17.8% (202 cases), whereas Cybersecurity and Interior Design account for 11.4% (130 cases) and 9.9% (114 cases), respectively. Further insight is obtained by examining the temporal distribution of LD cases across university semesters and student semesters, as illustrated in Figures 6(b) and 6(c). Across university semesters, the frequency of LDs exhibits noticeable fluctuations that closely follow the

university's academic calendar. Higher numbers of LDs are generally observed during the first regular semester of each academic year, coinciding with periods of maximum student enrollment following the admission of new cohorts, while substantially fewer cases occur during the summer semester. This pattern indicates that institutional enrollment cycles have a direct influence on the overall incidence of late course withdrawals. From the perspective of student progression, Figure 6(c) shows that LDs are concentrated predominantly during the early stages of study, particularly within Student Semester Nos. 1–4, after which their frequency gradually decreases as they progress through their academic

programs. This trend suggests that students in the initial stages of their university education are more likely to encounter challenges associated with academic adjustment, course selection, workload management, and familiarity with program requirements, increasing their likelihood of withdrawing from courses after the official drop deadline. Although the overall distribution of LD cases broadly follows the distribution of student enrollment across the five programs, several program-specific differences are evident. In

particular, Graphics and Multimedia exhibits a disproportionately higher proportion of LD cases relative to its student population, whereas Cybersecurity demonstrates a comparatively lower proportion. These observations suggest that factors specific to individual academic programs, including curriculum structure, course difficulty, workload intensity, and students' adaptation to program requirements, may contribute to differences in late course withdrawal behavior.

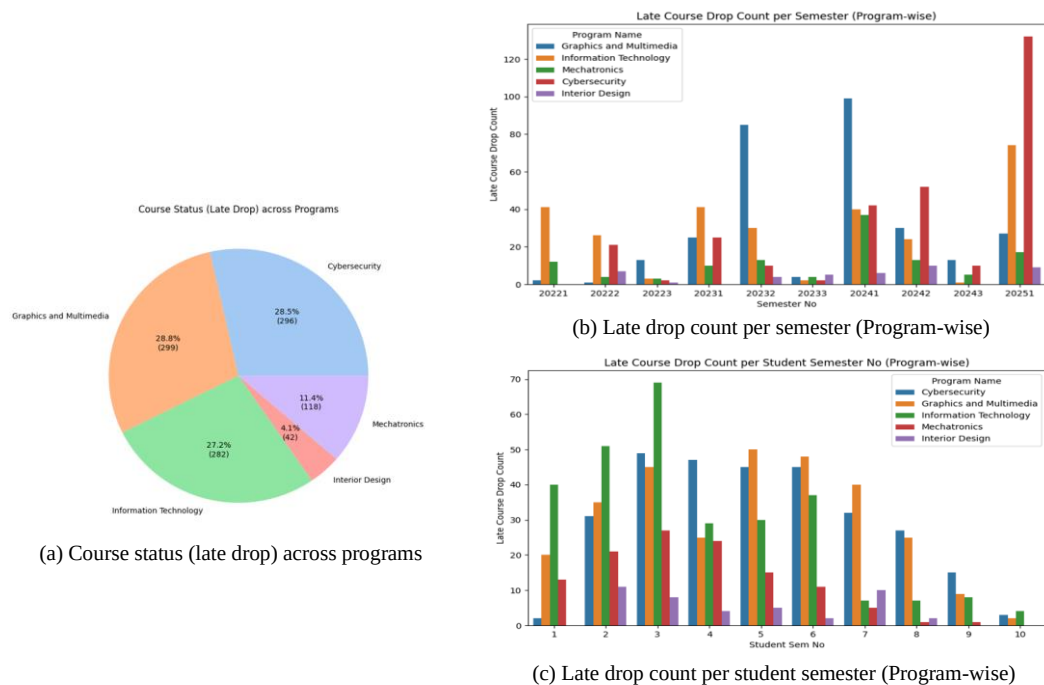


Figure 6. Statistics of RSU-FET dataset.

4.1. Results of Statistical Modeling

This section reports the findings of LR applications to test the correlation between each timing-based enrollment behavior and the LD at micro, meso, and macro levels.

4.1.1. Late Enrollment

LR is used for modeling the association between the LE behavioral indicator and the LD at micro, meso and macro levels. The

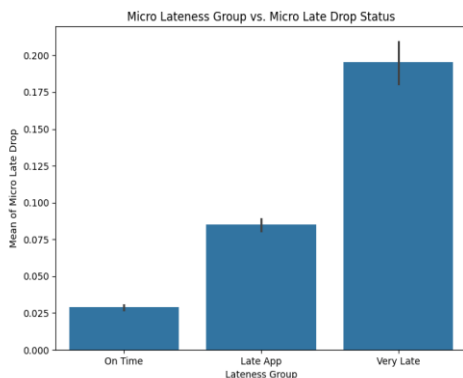
corresponding regression estimates across all levels are summarized in Table 3.

At the micro level, Relative Lateness is significantly associated with LD outcomes ($\beta = 1.4174$, $p < 0.001$, $OR = 4.13$, 95% CI [1.330, 1.505], Pseudo $R^2 = 0.04315$). As illustrated in Figure 7(a), course-level patterns show a clear monotonic increase in late-drop frequency across enrollment categories, ranging from On-Time (0.03) to

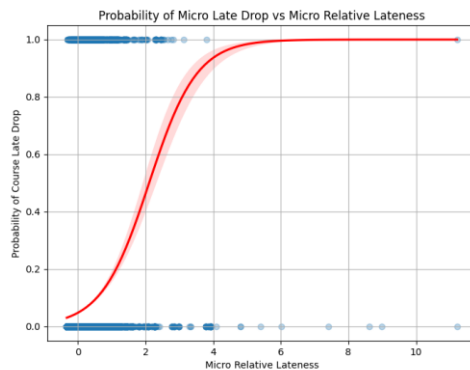
Late (0.085) and Very late (0.20). The LR curve in Figure 7(b) further confirms a nonlinear relationship, where the probability of a LD increases sharply with rising Relative Lateness, approaching near certainty at extreme values.

Table 3. LR parameters for LE and LD associations

Analysis level	No. of Obs. (N)	Coefficient (β)	Std. error	Z-score	p-value	Odds ratio ($\text{Exp}(\beta)$)	95% CI	Pseudo R ²
micro LE	56,102	1.4174	0.045	31.76 < 0.001		4.13 [1.330, 1.505]		0.04315
meso LE	7,799	1.6128	0.119	13.61 < 0.001		5.02 [1.380, 1.845]		0.02647
macro LE	2,065	3.542	0.362	9.79 < 0.001		34.54 [2.833, 4.251]		0.07482



(a) Micro late course drop frequency across enrollment categories

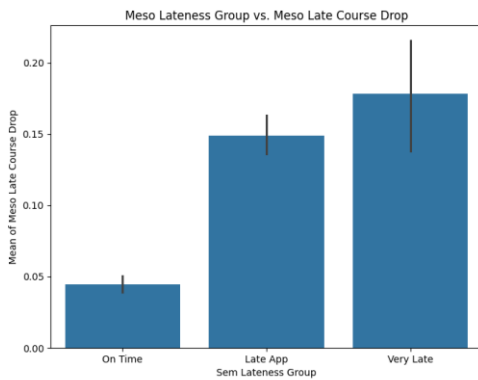


(b) Micro LE logistic regression curve

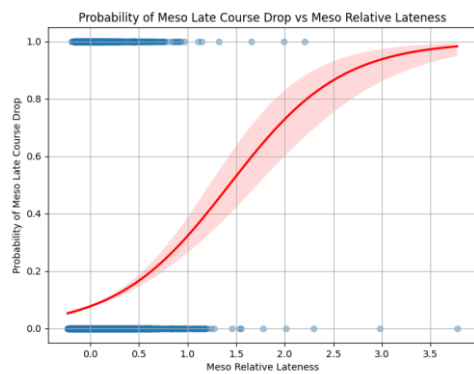
Figure 7. Results of micro LE analysis.

As shown in Figure 8, longitudinal semester trends indicate that increases in mean lateness are frequently accompanied by corresponding increases in late-drop incidence, with pronounced spikes observed in specific terms (e.g., semester 20221). Figure 8(a) shows that students classified as “Very late” at the semester level exhibit a mean late-drop probability of 0.29, compared to 0.11 for “On-Time” students. The corresponding LR curve Figure 8(b) confirms a consistent upward shift in late-drop probability as semester-level lateness increases, reinforcing the predictive value of aggregated enrollment behavior.

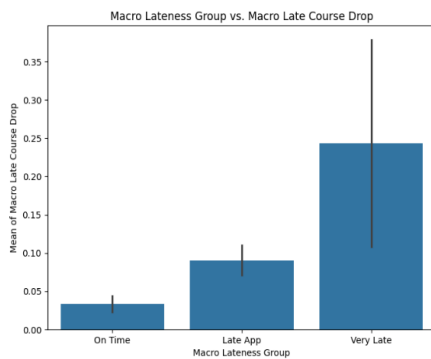
At macro level, LE demonstrates a strong and highly significant association with LD outcomes ($\beta = 3.542$, $p < 0.001$, OR = 34.54, 95% CI [2.833, 4.251], Pseudo R² = 0.07482). Figure 9 (a) further highlights this stratification, where programs characterized by chronic “Very late” registration exhibit an average late-drop probability of 0.38, compared to 0.06 for “On-Time” groups. The program-level LR curve in Figure 9(b) confirms a strong nonlinear increase in institutional risk as aggregate lateness increases.



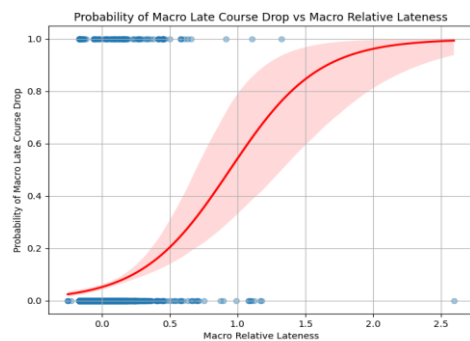
(a) Meso late-drop frequency across enrollment categories



(b) Meso LE logistic regression curve

Figure 8. Results of meso LE analysis.

(a) Macro late-drop frequency across enrollment categories



(b) Macro LE logistic regression curve

Figure 9. Results of macro LE analysis.

Across the three analytical levels, LE demonstrates a statistically significant association with LD outcomes ($p < 0.001$). As shown in Table 3, the magnitude of the relationship increases progressively from the micro level ($OR = 4.13$) to the meso level ($OR = 5.02$), reaching its highest value at the macro level ($OR = 34.54$). This trend suggests that the influence of enrollment timing becomes more pronounced as students' behavioral patterns accumulate over successive semesters. Although the pseudo R^2 values are relatively modest, they are comparable to those reported in behavioral prediction studies within

Educational Data Mining, with the highest explanatory power observed at the macro level (Pseudo $R^2 = 0.0748$). Collectively, these findings indicate that enrollment timing represents an informative behavioral indicator for predicting academic attrition and highlight its potential value as a component of institutional Early Warning Systems.

The findings obtained from the RSU FET dataset are consistent with previous studies that identify enrollment timing as an important behavioral predictor of academic performance and student attrition. In particular, the

progressive increase in LD frequency from the "On-Time" to the "Very late" enrollment categories is consistent with the findings reported by Bohler [12], who observed that students registering after the commencement of classes were more likely to experience academic difficulties and lower course performance. Similar observations have been reported in [6, 9], where fine-grained transactional enrollment records were used to demonstrate that delayed registration is positively associated with late course withdrawals, possibly reflecting ineffective workload planning and greater uncertainty during course selection. Furthermore, the substantially larger effect observed at the macro level ($\beta = 3.542$, $OR = 34.54$) supports the view that enrollment timing may serve as a

behavioral proxy for latent characteristics, including diligence, motivation, and self-regulation, as suggested by Lenchner [7] and Siefken [23]. Taken together, these findings provide additional evidence that behavioral digital trails derived from transactional enrollment data can contribute to the early identification of students at risk of academic attrition, thereby enabling institutions to implement timely academic support before significant academic loss occurs [4, 6, 12].

4.1.2. Academic Planning Regularity

LR is used for modeling the association between APR behavioral indicator and the LD at meso and macro levels. The corresponding regression estimates across all levels are summarized in Table 4.

Table 4. LR parameters for APR and LD associations

Analysis level	No. of Obs. (N)	Coefficient (β)	Std. error	Z-score	p-value	Odds ratio ($Exp(\beta)$)	95% CI	Pseudo R ²
Meso APR	6,391	-0.9071	0.093	-9.772	< 0.001	0.404	[-1.089, -0.725]	0.0056
Macro APR	1,991	-1.6947	0.227	-7.474	< 0.001	0.184	[-2.139, -1.250]	0.0890

At the meso level, APR demonstrates a statistically significant negative association with LD ($\beta = -0.9071$, $SE = 0.093$, $z = -9.772$, $p < 0.001$, $OR = 0.404$, 95% CI [-1.089, -0.725]). The LR results indicate that students exhibiting more regular and evenly spaced enrollment actions have lower odds of being classified into LD (Figure 10). This finding suggests that consistent academic planning and systematic enrollment behavior may function as a protective behavioral indicator against subsequent late course withdrawal and associated credit loss.

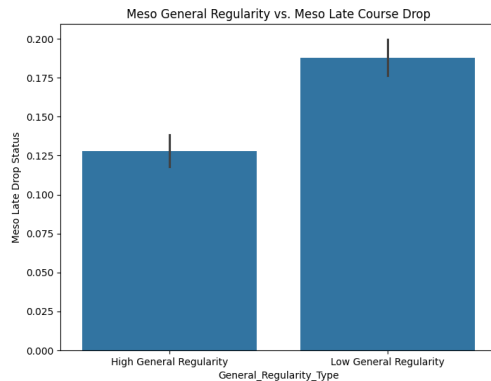
At the macro level, the negative association between APR and LD remains statistically significant and is stronger in

magnitude ($\beta = -1.6947$, $SE = 0.227$, $z = -7.474$, $p < 0.001$, $OR = 0.184$, 95% CI [-2.139, -1.250]). The corresponding ordinal regression results indicate that students with higher aggregate planning regularity have lower odds of experiencing LD status.

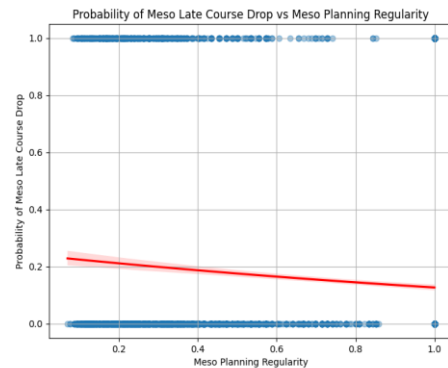
Across both analytical levels, APR demonstrates a statistically significant negative association with LD behavior. As shown in Table 4, higher APR values—representing greater regularity in the temporal spacing of enrollment actions—are associated with lower odds of occupying a more LD status category at both the semester (meso) and program/student longitudinal (macro) levels. The stronger coefficient at the macro level

suggests that accumulated planning regularity may provide a more pronounced representation

of students' longer-term enrollment behavior than semester-specific regularity.



(a) Meso APR frequency across enrollment categories



(b) Meso APR logistic regression curve

Figure 10. Results of meso APR analysis.

The APR findings are consistent with previous research in enrollment-based LA, which identifies planning regularity as a protective behavioral indicator associated with reduced academic risk [6]. The negative relationship observed at both analytical levels suggests that students who maintain consistent enrollment planning behaviors may be less likely to experience the schedule instability and repeated enrollment adjustments that can ultimately contribute to late course withdrawals and credit loss [6]. This observation is also consistent with previous studies that regard timing-based digital traces as behavioral proxies for latent characteristics such as conscientiousness, self-regulation, and effective planning skills, which have been associated with student persistence and academic success [4, 6, 23]. Furthermore, the presence of a significant negative association at both the meso and macro levels suggests that longitudinal enrollment behavior provides meaningful information about students' academic risk beyond individual semester-level behavior. These findings support the use of longitudinal administrative enrollment records as a potential source of predictive information for the early identification of

students who may be at risk of late course withdrawal and subsequent academic attrition [4, 7].

4.1.3. Enrollment Procrastination

As for EP, LR modeling its association with the LD at micro, meso and macro levels and the corresponding regression estimates across all levels are summarized in Table 5.

At micro level, EP is a significant predictor of LD outcomes ($\beta = 0.6863$, $p < 0.001$, OR = 1.986, 95% CI [0.650, 0.723], Pseudo $R^2 = 0.0602$). As shown in Figure 11, disciplinary variation is evident during semester 20241, where technical programs such as Mechatronics and Graphics and Multimedia exhibit both higher mean procrastination and higher mean late-drop frequencies across several courses (e.g., Course IDs 101019 and 101600). The LR curve in Figure 12 demonstrates that as the procrastination index increases, the probability of a LD rises sharply toward 1.0. These findings suggest that delays in finalizing course enrollment actions function as an immediate behavioral indicator of course-level academic risk.

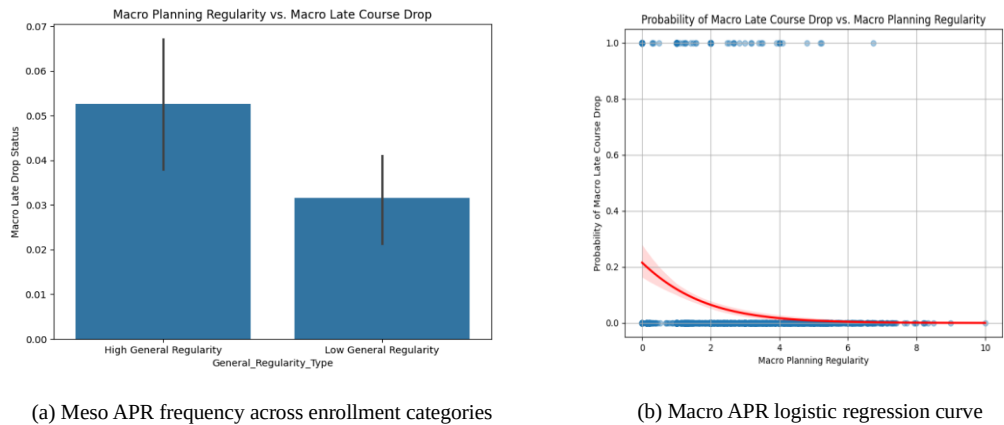


Figure 11. Results of macro APR analysis.

Table 5. LR parameters for modeling EP and LD associations

Analysis Level	No. of Obs. (N)	Coefficient (β)	Std. Error	Z-score	p-value	Odds Ratio ($Exp(\beta)$)	95% CI	Pseudo R ²
Micro (Course)	56,104	0.6863	0.019	37.06	< 0.001	1.986	[0.650, 0.723]	0.0602
Meso (Semester)	7,799	0.6216	0.089	6.95	< 0.001	1.862	[0.446, 0.797]	0.0267
Macro (Program)	2,065	0.8549	0.190	4.49	< 0.001	2.351	[0.482, 1.228]	0.0337

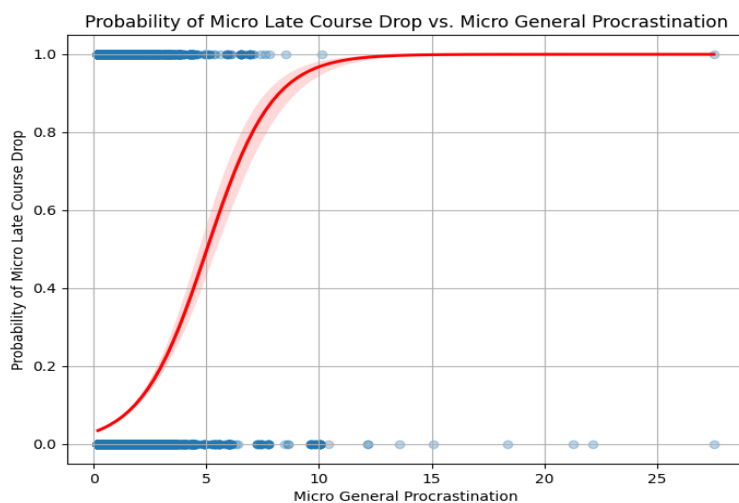
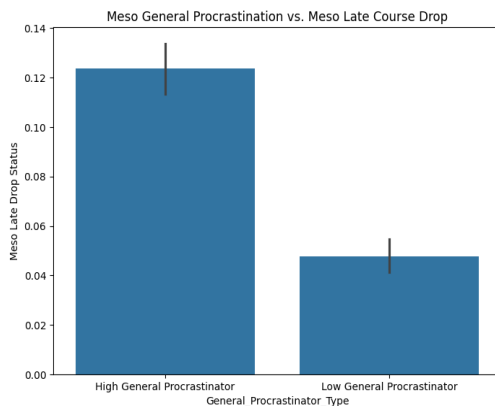


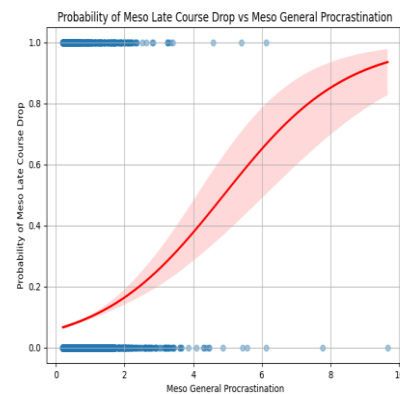
Figure 12. Logistic regression of micro EP.

At the meso level, meso EP remains a statistically significant predictor of LD behavior ($\beta = 0.6216$, $p < 0.001$, $OR = 1.862$, 95% confidence interval (CI) [0.446, 0.797], Pseudo $R^2 = 0.0267$). Figure 13 identifies notable longitudinal fluctuations in procrastination behavior across semesters, including a substantial institutional spike during semester 20221, particularly within Information Technology and Mechatronics programs. As illustrated in Figure 13, students

classified as “high general procrastinators” exhibit a late-drop probability of approximately 0.029, compared to 0.009 among “low general procrastinators.” The logistic probability curve in Figure 13 further confirms that increasing aggregate procrastination across a student’s semester schedule is associated with a higher probability of experiencing at least one LD during the term.



(a) Meso EP frequency across enrollment categories



(b) Meso EP logistic regression curve

Figure 13. Results of meso EP analysis.

At macro level, EP demonstrates a strong and statistically significant association with LD outcomes ($\beta = 0.8549$, $p < 0.001$, $OR = 2.351$, 95% CI [0.482, 1.228], Pseudo $R^2 = 0.0337$). Figure 14(a) shows that student groups characterized by persistently high procrastination maintain consistently higher probabilities of late-drop outcomes compared to lower procrastination groups. The LR curve in Figure 14(b) confirms a strong positive relationship between aggregate procrastination behavior and institutional-level attrition risk.

Across the three analytical levels, EP demonstrates a statistically significant positive association with LD outcomes ($p < 0.001$). As summarized in Table 5, the observed effect is consistent across the micro ($OR = 1.986$), meso ($OR = 1.862$), and macro ($OR = 2.351$)

levels, indicating that delayed enrollment decision-making is associated with an increased likelihood of late course withdrawal at both the individual and institutional levels. Although the pseudo R^2 values are relatively modest, they are comparable to those reported in previous behavioral prediction studies within Educational Data Mining. Among the three analytical levels, the micro-level model exhibits the highest explanatory power (Pseudo $R^2 = 0.0602$), suggesting that procrastination behaviors observed during individual course enrollment provide stronger predictive information than aggregated behavioral patterns. Overall, these findings indicate that EP represents a meaningful behavioral indicator that can contribute to the early identification of students who may be at risk of late course withdrawal.

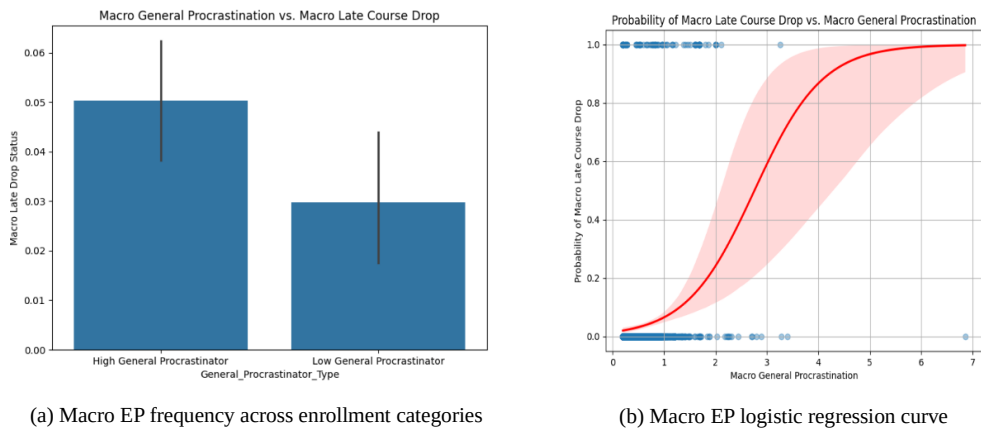


Figure 14. Results of macro EP analysis.

The findings obtained from the RSU FET dataset are consistent with previous studies that identify EP as an important behavioral predictor of academic attrition. In particular, the positive association observed across all analytical levels agrees with the findings reported by Borchers [6], who demonstrated, using fine-grained transactional enrollment records, that students who postpone course add and drop decisions are more likely to encounter schedule instability and course selection difficulties that subsequently lead to late course withdrawals. Previous research has also suggested that repeated delays in enrollment decision-making may contribute to a cycle of ineffective academic planning and reduced self-efficacy, thereby increasing the likelihood of unfavorable academic outcomes [24]. Furthermore, the consistency of the EP indicator across the three analytical levels supports the interpretation of timing-based digital trails as behavioral proxies for latent characteristics, including diligence and self-regulation, which have previously been associated with academic achievement and successful course completion by Siefken [23] and You [25]. Collectively, these findings provide further evidence that transactional enrollment behavior contains valuable

predictive information that can support institutional Early Warning Systems by enabling earlier identification of students who may require academic intervention.

4.2. Synthesis for Early Warning Application

The significant relationships identified across the micro, meso, and macro analytical levels demonstrate the potential of administrative transactional enrollment records as a valuable source of information for RSU EWS. By utilizing timing-based behavioral indicators, particularly LE, institutions can identify students who exhibit delayed enrollment behaviors during the initial weeks of the semester and implement timely monitoring strategies. Such a process-oriented approach enables academic advisors to detect early patterns of enrollment behavior and provide appropriate interventions, including academic advising, workload planning support, and personalized reminders, before students are more likely to experience late course withdrawal.

The practical contribution of this research lies in transforming routinely collected administrative records into actionable information that can assist universities in

addressing student attrition, credit loss, and the associated financial consequences [4, 12]. Evaluating these timing-based behavioral indicators within the RSU context also addresses the context-dependent nature of LA by examining whether predictive methodologies developed in other educational settings remain applicable under the university's administrative policies and student enrollment practices [11, 13]. Furthermore, as these behavioral indicators are generated during the registration period, they enable institutions to identify students who may require additional academic support before conventional performance indicators, such as assessment results or course grades, become available [12, 23].

Integrating these behavioral indicators into an automated Early Warning System provides a practical framework for supporting evidence-based academic decision-making [6, 9]. Early identification of students who exhibit high-risk enrollment behaviors enables universities to implement timely interventions that may reduce the likelihood of late course withdrawal while improving student persistence and academic success. Consequently, the findings of this study provide empirical support for incorporating transactional enrollment behavior into institutional Early Warning Systems as an additional source of predictive information available at the beginning of the academic semester [6, 26].

While this study provides robust evidence for the predictive power of timing-based enrollment behaviors, several limitations must be acknowledged. First, the data utilized in this research are derived from a single institution (Ar-Rasheed Smart University), which may limit the direct applicability of the results to institutions with significantly different administrative structures or cultural contexts. Second, the analysis focused exclusively on five undergraduate programs within the FET. Consequently, the behavioral signatures

identified here may reflect the unique workload demands of engineering, computing, and applied design disciplines, and might not be fully generalizable to the humanities or pure social sciences. Third, this study considered a limited set of behavioral predictors (LE, APR, and EP). Future research should incorporate additional variables, such as student interactions within LMS or socio-economic indicators, to provide a more holistic view of student risk. Fourth, at the micro and meso levels, the models treat repeated observations from the same student as independent behavior, which does not account for the individual-level variance typically captured by mixed-effects modeling. Finally, the current model does not account for differences in course difficulty or curriculum structure across programs. Future iterations of this Early Warning System would benefit from weighting behaviors against program-specific academic rigors to further enhance classification accuracy.

5. Conclusion

This study employed a LA approach to evaluate the effectiveness of timing-based enrollment behaviors as early predictors of academic attrition, with particular emphasis on LDs at RSU. Using fine-grained transactional enrollment records extracted from the university's administrative systems, three behavioral indicators - LE, APR, and EP - were examined across the micro, meso, and macro analytical levels. The results demonstrate that both LE and EP are positively associated with LD behavior, whereas APR exhibits a significant negative association, indicating that students with more consistent enrollment planning practices are less likely to withdraw from courses after the official drop period. The findings also suggest that timing-based enrollment behaviors capture aspects of students' self-regulatory practices that are not directly observable through conventional academic records. In particular, the stronger

predictive relationships observed at the macro level indicate that long-term enrollment behavior provides a more stable representation of students' academic planning than semester-specific enrollment activities. These results further demonstrate the value of longitudinal transactional enrollment records as a complementary source of behavioral information for identifying students who may be at risk of academic attrition. From a practical perspective, this research demonstrates that routinely collected administrative enrollment records can support the development of institutional Early Warning Systems by enabling the identification of at-risk students during the registration period, before traditional academic performance indicators become available. Such an approach allows universities to implement timely academic support and advising interventions at the beginning of the semester, thereby contributing to improved student retention and greater effectiveness in using institutional support resources.

Acknowledgment

The authors gratefully acknowledge Ar-Rasheed Smart University for providing the data used in this study.

Data Availability

The data are available from the corresponding author upon request.

Funding

This research received no external funding.

AI-tools Declaration

AI-assisted tools were used to improve the grammar, spelling, clarity, and overall readability of this manuscript.

References

- [1] Papamitsiou Z, Economides AA. Learning analytics and educational data mining in practice: a systematic literature review of empirical evidence. *Educational Technology & Society*. 2014;17(4):49-64.
- [2] Gray G, McGuinness C, Owende P, Carthy A. A review of psychometric data analysis and applications in modelling of academic achievement in tertiary education. *Journal of Learning Analytics*. 2014;1(1):75-106.
- [3] Albreiki B, Zaki N, Alashwal H. A systematic literature review of student' performance prediction using machine learning techniques. *Education Sciences*. 2021;11(9):552.
<https://doi.org/10.3390/educsci11090552>
- [4] Alyahyan E, Düşteğör D. Predicting academic success in higher education: literature review and best practices. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2020;17(1):3.
<https://doi.org/10.1186/s41239-020-0177-7>
- [5] López-Zambrano J, Torralbo JAL, Romero C. Early prediction of student learning performance through data mining: a systematic review. *Psicothema*. 2021;33(3):456-65.
<https://doi.org/10.7334/psicothema2021.62>
- [6] Borchers C, Xu Y, Pardos ZA. Are you an early dropper or late shopper? Mining enrollment transaction data to study procrastination in higher education. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2024)*; 2024 Jul 14-17; Atlanta, GA. 2024. p. 426-33.
<https://doi.org/10.35542/osf.io/zud7q>
- [7] Lenchner E. Mining transactional student-level data to predict community college student outcomes [PhD Thesis]. New York, NY: Columbia University; 2017.

- [8] Xu Y, Pardos ZA. Mining detailed course transaction records for semantic information. In: Feng M, Käser T, Talukdar P, editors. Proceedings of the 16th International Conference on Educational Data Mining (EDM 2023); 2023 Jul; Bengaluru, India. International Educational Data Mining Society; 2023. p. 388-395. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8115794>
- [9] Borchers C, Xu Y, Pardos ZA. Workload overload? late enrollment leads to course dropout. Journal of Educational Data Mining. 2025;17(1):126-156. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14907388>
- [10] Hagedorn LS, Maxwell WE, Cypers S, Moon HS, Lester J. Course shopping in urban community colleges: an analysis of student drop and add activities. The Journal of Higher Education. 2007;78(4):464-85. <https://doi.org/10.1080/00221546.2007.11772324>
- [11] Hellas A, Ihtantola P, Petersen A, Ajanovski VV, Gutica M, Hynninen T, et al. Predicting academic performance: a systematic literature review. In: Proceedings Companion of the 23rd Annual ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE 2018 Companion); 2018 Jul 2-4; Larnaca, Cyprus. New York, NY: ACM; 2018. p. 175–199. <https://doi.org/10.1145/3293881.3295783>
- [12] Bohler J, Sherman S, Larson B, Mills H. Using registration timing as an early indicator of at-risk students in an online stem course. In: Proceedings of the Informing Science and Information Technology Education Conference (InSITE 2023); 2023 Jul 5-6. Santa Rosa (CA): Informing Science Institute; 2023. Article 12. <https://doi.org/10.28945/5151>
- [13] Namoun A, Alshantiti A. Predicting student performance using data mining and learning analytics techniques: a systematic literature review. Applied Sciences. 2021;11(1):237. <https://doi.org/10.3390/app11010237>
- [14] Admass WS. Review on predicting student academic performance using data mining classification algorithm. Journal of Computer Engineering & Information Technology. 2021;10(11).
- [15] Summers MD. Enrollment and registration behaviors as predictors of academic outcomes for full-time students in a rural community college [PhD Thesis]. Urbana, IL: University of Illinois at Urbana-Champaign; 2000.
- [16] Deeva G, Snoeck M, De Weerd J. Discovering the impact of students' modeling behavior on their final performance. In: Buchmann R, Karagiannis D, Kirikova M, editors. The Practice of Enterprise Modeling. PoEM 2018. Lecture Notes in Business Information Processing. Cham: Springer; 2018. p. 335-50. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02302-7_21
- [17] Shahiri AM, Husain W, Rashid NA. A review on predicting student's performance using data mining techniques. Procedia Computer Science. 2015;72:414–22. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.157>
- [18] Ameen AO, Alarape MA, Adewole KS. Students' academic performance and dropout predictions: a review. Malaysian Journal of Computing. 2019;4(2):278–303. <https://doi.org/10.24191/mjoc.v4i2.6701>

- [19] Macfadyen LP, Dawson S. Mining LMS data to develop an “early warning system” for educators: a proof of concept. *Computers & Education*. 2010;54(2):588–99.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2009.09.008>
- [20] Baker RSJD, Yacef K. The state of educational data mining in 2009: a review and future visions. *Journal of Educational Data Mining*. 2009;1(1):3–17.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.3554657>
- [21] Wang X, Yu X, Guo L, Liu F, Xu L. Student performance prediction with short-term sequential campus behaviors. *Information*. 2020;11(4):201.
<https://doi.org/10.3390/info11040201>
- [22] Sun H, He S, Esho O. Students performance prediction by mining behavioural pattern. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1881:042051.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1881/4/042051>
- [23] Siefken J. Registration delay and student performance. *Journal of the Scholarship of Teaching and Learning*. 2017;17(2):45–52.
<https://doi.org/10.14434/josotl.v17i2.20754>
- [24] Wäschle K, Allgaier A, Lachner A, Fink S, Nückles M. Procrastination and self-efficacy: tracing vicious and virtuous circles in self-regulated learning. *Learning and Instruction*. 2014;29:103–14.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.09.005>
- [25] You JW. Examining the effect of academic procrastination on achievement using LMS data in e-learning. *Educational Technology & Society*. 2015;18(3):64-74.
- [26] Cui Y, Chen F, Shiri A, Fan Y. Predictive analytic models of student success in higher education: a review of methodology. *Information and Learning Sciences*. 2019;120(3-4):208–27.
<https://doi.org/10.1108/ILS-10-2018-0104>
- [27] Tan FZ, Chan WH. Interpreting student performance through predictive learning analytics. *International Journal of Innovative Computing*. 2024;14(2):1–13.
<https://doi.org/10.11113/ijic.v14n2.434>

Analysis and Tuning of PID and Fuzzy Logic Controllers for a DC Motor-Driven Quadcopter Drone Altitude Control System

Adel Rawea* , Mohammed Almodhwah

Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen.

*Corresponding Author:

E-mail: adel.rawea@ar-rasheed.edu.ye

Received: 18 May 2026

Revised: 14 June 2026

Accepted: 23 June 2026

تحليل وضبط متحكمات PID & FLC لنظام التحكم بارتفاع طائرة رباعية المرواح المدفوعة بمحركات التيار المستمر

عادل راع* , محمد المصواحي

قسم هندسة الميكاترونكس، كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة الرشيد الذكية، صنعاء، اليمن

*المؤلف المراسل:

الإيميل: adel.rawea@ar-rasheed.edu.ye

تاريخ التقديم: 18 مايو 2026

تاريخ إرسال التعديلات: 14 يونيو 2026

تاريخ القبول: 23 يونيو 2026

Abstract

Quadcopter drones require precise and robust control systems to maintain stable flight under varying operating conditions. This article presented a modeling, design, tuning, and comparative evaluation of proportional-integrator-derivative (PID) and fuzzy logic controllers (FLC) for a DC-powered quadcopter altitude control system. Unlike simplified models that only consider altitude, the proposed approach integrated the entire control chain, including DC motor dynamics, propeller thrust generation, and the drone's vertical movement. The mathematical model of the motor was derived from electrical and mechanical principles, while the nonlinear thrust generation process was linearized around the hovering point. The PID controller was tuned for fast response, low over-oscillation, and zero steady-state error. To enhance robustness against nonlinear effects and distortions, a Mamdani-type fuzzy logic controller with two inputs and seven membership functions per variable was developed. MATLAB simulations were performed to compare transient response, frequency response, tracking accuracy, and interference rejection performance. The results found that the PID controller provided faster response (0.96 sec versus 1.53 sec for FLC), but exhibited higher overshoot (23.35% versus 12.81% for FLC). Both controllers achieved near-zero steady-state error (PID: 1.00001 rad/s, FLC: 0.9842 rad/s), while the fuzzy logic controller provided superior robustness and more stable operation against external interferences.

Keywords: Quadcopter drone; PID controller; FLC controller; altitude control; DC motor modeling; MATLAB/simulink.

الملخص

تتطلب طائرات الدرون رباعية المرواح أنظمة تحكم دقيقة، ومتينة للحفاظ على أنظمة طيران مستقرة في ظل ظروف تشغيل متغيرة. تقدم هذه الدراسة نهجاً لنمذجة وتصميم المتحكم التقليدي التناسبي التكاملي التفاضلي (PID)، والمتحكم المنطقي الضبابي (FLC) لنظام التحكم وضبطها، كما تقدم تقبلاً مقارناً لتأثيرهما على ارتفاع طائرة الدرون رباعية المرواح التي تعمل بنظام التيار المستمر. وعلى عكس النماذج المبسطة التي تأخذ الارتفاع فقط بعين الاعتبار، يقدم هذا النهج المقترح سلسلة تحكم كاملة، بما في ذلك ديناميكيات محرك التيار المستمر، وتوليد قوة دفع المروحة، والحركة الرأسية لطائرة الدرون. تم اشتقاق النموذج الرياضي للمحرك الكهربائي من المبادئ الكهربائية والميكانيكية، بينما يتم تحويل عملية توليد قوة الدفع غير الخطية إلى الشكل الخطي حول نقطة التحليق (Hovering Point). بعد ذلك تم ضبط بارامترات المتحكم PID لتحقيق استجابة سريعة، وتذبذب زائد منخفض، وخطأ صفري في الحالة المستقرة. ولتعزيز متانة نظام التحكم ضد التأثيرات والتشوهات غير الخطية، تم تطوير متحكم منطقي ضبابي يعتمد خوارزمية مامداني (Mamdani) بمدخلين وسبع دوال عضوية لكل متغير. أُجريت المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB لمقارنة الاستجابة العابرة، ودقة التتبع، وأداء رفض التداخلات الخارجية. وتوضح النتائج أن المتحكم التقليدي PID يوفر استجابة أسرع (0.96 ثانية مقابل 1.53 ثانية لمتحكم المنطق الضبابي FLC)، لكنها تظهر تجاوزاً أكبر (23.35٪ مقابل 12.81٪ لمتحكم المنطق الضبابي FLC). وقد حققت كلتا وحدتي التحكم خطأً شبه معدوم في الحالة المستقرة (PID: 1.00001 راديان/ثانية، FLC: 0.9842 راديان/ثانية)، في حين توفر وحدة تحكم المنطق الضبابي متانة فائقة وتشغيلاً أكثر استقراراً في مواجهة التداخلات الخارجية.

الكلمات المفتاحية: الطائرات رباعية المرواح، المتحكم التقليدي PID، المتحكم الضبابي FLC، التحكم في الارتفاع، نمذجة محرك التيار المستمر.

This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ISSN: 3135-6842 | E-ISSN: 3135-6850 / © 2026 The Authors. Published by Ar-Rasheed Smart University, Yemen.

Journal website: <https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUJBAS/en>

Ar-Rasheed University Journal of Basic and Applied Sciences 2026, 1(1), 49-60

<https://doi.org/10.67151/rujbas.v1i1.40>

1. Introduction

Drones play a vital role in numerous fields, including monitoring, surveillance, environmental tracking, agricultural applications, and autonomous transportation, etc. [1]. Despite the variety of available drones, quadcopters are the most widespread owing to their many advantages, such as the ability to take off and land vertically, simple design, and high flight and maneuvering performance [2].

All these features and performance characteristics depend largely on the selection of appropriate control systems. Operating in highly dynamic environments, and being subject to disturbances caused by wind, load variations, and modeling uncertainties, such systems require robust control strategies to achieve stable flight.

Traditional proportional-integrator-derivative (PID) controllers are the most commonly used control methods in industrial applications for their simplicity and ease of implementation [3]. However, their performance may decrease when nonlinear effects and uncertainties become significant [4]. To improve robustness and adaptability, intelligent control techniques such as fuzzy logic controllers have been proposed.

This research article presents a comparison between the performance of PID controller and fuzzy logic controllers (FLC), which are the most common controllers in various control systems. It utilizes the features of each type to improve the performance of a quadcopter's altitude control system, taking into account the actual dynamics of DC motors, to generate thrust for each propeller. The objectives of this study are as follows [5]:

1. To develop a complete mathematical model of a DC motor-propeller-drone system.
2. To design a PID controller that meets the specified performance requirements.
3. To develop a FLC based on system expert knowledge.

4. To compare the two controllers through simulation.
5. To evaluate their effectiveness for drone altitude control.

2. Literature Review

2.1. PID-Controlled Drones

Several studies have demonstrated the effectiveness of PID controllers for stabilizing and controlling the altitude of quadcopters. Bouhabza and Kara [6] developed a control system based on a PID controller for quadcopter attitude and altitude, which provided satisfactory performance under regular operating conditions. Their work confirmed stable control of roll, pitch, yaw, and altitude, while maintaining a relatively simple controller structure.

Similarly, Castillo et al. [7] used PID controllers for self-directed drone navigation and reported reliable altitude tracking in hover and at low speeds.

Despite its widespread adoption, PID control has some limitations. Controller performance is highly dependent on the tuning of proportional, integral, and derivative constants. Inappropriate tuning may cause excessive overshoot, slow response, or even instability [8, 9]. Moreover, the nonlinear aerodynamic characteristics of quadcopters, combined with variations in environmental conditions and load, can significantly affect controller performance [10, 11]. In practice, a set of PID gains that perform well under specific operating conditions, may not offer the same level of performance under others. Hence, achieving optimal and consistent control remains a challenge, especially in dynamic and uncertain environments.

2.2. FLC-Based Drone Control Systems

To overcome the limitations of PID controllers, researchers have increasingly turned to intelligent control techniques, among which fuzzy logic controller has appeared as a

promising type. Unlike traditional controllers that rely heavily on mathematical models, fuzzy logic controllers rely on linguistic rules and expertise. This characteristic allows them to more effectively manage nonlinearities and uncertainties without requiring a precise representation of the system's dynamics.

One of the initial motivations for applying FLC to drone systems was the observation that experienced human operators are often able to stabilize and maneuver drones using qualitative reasoning rather than precise mathematical calculations. FLC aims to replicate this reasoning process by translating expertise into a set of IF-THEN control rules [12].

Several studies have demonstrated the effectiveness of FLC in drone applications. Coza and Macnab [13] proposed a FLC for quadcopter attitude stabilization, and found increased robustness compared to PID controllers. Their results showed smoother responses, and reduced oscillations during aggressive flight maneuvers. Similarly, Amrouche et al. [14] used a Mamdani-type FLC for altitude control and observed improved disturbance rejection performance when the drone was subjected to wind disturbances.

An important advantage of FLC lies in its ability to represent system behavior, using linguistic variables such as Negative Big (NB), Little Negative (LS), Zero (ZE), Little Positive, and Big Positive. By using these linguistic descriptions rather than exact numerical models, FLC can adjust more naturally to nonlinear operating conditions and parameter variations [12].

However, FLC presents several design challenges. The selection of membership functions, scaling factors, and rule bases often relies on engineering experience and iterative tuning. As the number of controller inputs and outputs increases, the rule base can grow rapidly, leading to increased computational

complexity. Furthermore, because the performance of FLC controllers is highly dependent on the quality of their rule set, developing effective FLC controllers may require considerable effort and specialized expertise.

In general, previous studies indicate that FLC offer greater robustness and smoother response than conventional PID controllers, particularly in nonlinear and uncertain systems.

2.3. Research Gaps and Motivation

Studies demonstrate that PID controllers remain the dominant solution for drone applications, given their simplicity and low computational requirements [15]. On the other hand, fuzzy logic controllers offer enhanced robustness and better disturbance rejection capabilities in nonlinear environments [16]. While advanced intelligent controllers, such as FLC and reinforcement learning, have shown promising results, their implementation complexities often limit their adoption in low-cost drone platforms [17, 18].

Therefore, a comprehensive comparison between conventional PID control and FLC is essential, especially for quadcopter drone altitude control systems that incorporate realistic motor dynamics, thrust generation mechanisms, and vertical motion dynamics. While most recent studies focus on either simplified altitude models or attitude control systems, research addressing the entire motor-propeller-altitude control chain is relatively scarce.

This study, therefore, develops a complete altitude model for a quadcopter powered by a DC motor and performs a detailed comparative evaluation of PID and FLC under the same operating conditions. The aim is to identify the advantages and limitations of each type in terms of transient response, steady-state accuracy, robustness, and disturbance rejection performance.

3. System Modeling

3.1. DC Motor Dynamics

A quadcopter's propulsion system uses electric motors to convert electrical energy into mechanical rotational motion, which produces propeller thrust. Therefore, an accurate mathematical model of the DC motor is crucial for the design and evaluation of control strategies. In this study, motor dynamics are represented by interconnected electrical and mechanical subsystems [19].

1) Electrical Subsystem

Kirchhoff's voltage law describes the electrical behavior of armature circuit. The voltage applied to the armature is distributed between the armature resistance and inductance and the back electromotive force (EMF) generated by the motor's rotation. The equation governing the operation of the motor is expressed as follows [20]:

$$V(t) = L \frac{d}{dt} i(t) + R \cdot i(t) + K_b \cdot \omega(t) \quad (1)$$

where:

$V(t)$ is the armature voltage (V),

$i(t)$ is the armature current (A),

R is the armature resistance (Ω),

L is the armature inductance (H),

K_b is the back electromotive constant (V·s/rad),

$\omega(t)$ is the angular velocity (rad/s).

The first term on the right side represents the voltage drop across the armature inductance, the second term represents the resistive voltage drop, and the third term represents the back electromotive force induced by the motor rotation.

Applying the Laplace transform to equation (1) with zero initial conditions, we obtain:

$$V(s) = (Ls + R)I(s) + K_b\Omega(s) \quad (2)$$

where $I(s)$ and $\Omega(s)$ represent the Laplace transforms of the armature current and angular velocity, respectively.

2) Mechanical Subsystem

The mechanical dynamics of the motor are governed by Newton's second law for rotating systems. The generated electromagnetic torque accelerates the rotor by compensating for friction losses. The equation governing this event is [20]:

$$J \left(\frac{d}{dt} \omega(t) \right) + B \cdot \omega(t) = K_t \cdot i(t) \quad (3)$$

where:

J is the moment of inertia of the rotor ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$),

B is the viscous friction coefficient ($\text{N}\cdot\text{m}\cdot\text{s}/\text{rad}$),

K_t is the torque constant of the motor ($\text{N}\cdot\text{m}/\text{A}$).

The first term represents the inertia torque required for the acceleration of the rotor, while the second term models mechanical friction. The right side corresponds to the electromagnetic torque produced by the motor. The Laplace transform of (3) gives:

$$(J \cdot s + B) \cdot \Omega(s) = K_t \cdot I(s) \quad (4)$$

Solving this equation for the armature current, we get:

$$I(s) = \frac{(J \cdot s + B) \cdot \Omega(s)}{K_t} \quad (5)$$

3) Motor Transfer Function

By substituting (5) into (2), we eliminate the armature current and obtain:

$$V(s) = \left[\frac{(L \cdot s + R) \cdot (J \cdot s + B)}{K_t} + K_b \right] \cdot \Omega(s) \quad (6)$$

Multiplying both sides by K_t , we obtain:

$$K_t \cdot V(s) = [(L \cdot s + R) \cdot (J \cdot s + B) + K_t K_b] \cdot \Omega(s) \quad (7)$$

Therefore, the transfer function relating the angular velocity of the motor to the applied voltage is:

$$G_{motor}(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{K_t}{(L \cdot s + R)(J \cdot s + B) + (K_t K_b)} \quad (8)$$

Equation (8) represents a second-order electromechanical system that describes the

electrical and mechanical dynamics of the motor.

4) Numerical Model of the Motor

The motor parameters used in this study are listed in Table 1.

Substituting these values into (8), we obtain:

$$G_{motor}(s) = \frac{0.01}{[(10^{-4}s + 0.1)(10^{-5}s + 10^{-4}) + 0.0001]} \quad (9)$$

By expanding the denominator, we obtain:

$$G_{motor}(s) = \frac{0.01}{10^{-9}s^2 + 1.01 \times 10^{-6}s + 1.1 \times 10^{-4}} \quad (10)$$

Equation (10) represents the final transfer function of the DC motor, which will be used in the controller design and simulations presented in this paper. This transfer function forms the first block of the quadcopter's complete altitude control model, where the motor speed is then converted into propeller thrust and vertical motion.

Table 1. DC motor parameters

No.	Parameter	Description	Value
1	J	Rotor inertia	10^{-5} kg.m^2
2	B	Viscous friction coefficient	$10^{-4} \text{ N.m.s/rad}$
3	K_t	Torque constant	0.01 N.m/A
4	K_b	Back emf constant	0.01 V.s/rad
5	R	Armature resistance	0.1Ω
6	L	Armature inductance	10^{-4} H

3.2. Propeller Thrust Model

The thrust force produced by a propeller is proportional to the square of its angular velocity [21]:

$$T = K_f \omega^2 \quad (11)$$

where:

T is the thrust force,

K_f is the thrust coefficient.

This model is not linear. For controller design, a linearization is performed around hover speed point $\omega = \omega_0 + \Delta\omega$, and using Taylor expansion, $T \approx T_0 + 2K_f \omega_0 \Delta\omega$; where $T_0 = K_f \omega_0^2$.

By neglecting the constant hovering component, we obtain: $\Delta T = K_T \Delta\omega$, where $K_T = 2K_f \omega_0$ is the equivalent linearized thrust gain.

3.3. Hover Condition

The mass of a four-propeller drone is assumed to equal [22], $m = 4 \text{ kg}$, then the total hover thrust is given by $T_{hover} = m \cdot g$. By substituting $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, the total hover thrust is evaluated as $T_{hover} = 39.24 \text{ N}$

Then the drone force by four motors will equal $T_{motor} = \frac{39.24}{4} = 9.81 \text{ N}$.

Assuming the hovering speed $\omega_0 = 500 \text{ rad/s}$, the thrust coefficient becomes $K_f = \frac{9.81}{500^2} = 3.924 \times 10^{-5}$ and the linearized thrust gain is defined as follows [9].

$$K_T = 2K_f \omega_0 = 0.03924$$

3.4. Altitude Dynamics

The vertical axis of the drone's motion follows Newton's second law $m\ddot{z} = T - m \cdot g$. By linearizing around the altitude [23], $m\ddot{z} = \Delta T$, and applying the Laplace transform, the transfer function is as follows:

$$G_{altitude}(s) = \frac{Z(s)}{\Delta T(s)} = \frac{1}{m s^2}, \text{ for } m = 4 \text{ kg, then } G_{altitude}(s) = \frac{1}{4 s^2}$$

3.4. Complete Drone Model

By combining all blocks, the total drone model becomes $G_{Drone}(s) = G_{motor}(s) \times K_T \times G_{altitude}(s)$ where: $G_{motor}(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)}$, $K_T = \frac{\Delta T(s)}{\Delta \Omega(s)}$, and $G_{altitude}(s) = \frac{Z(s)}{\Delta T(s)}$. Therefore, the complete transfer function will be:

$$\begin{aligned} G_{Drone}(s) &= \frac{Z(s)}{V(s)} \\ &= \frac{0.01}{10^{-9}s^2 + 1.01 \times 10^{-6}s + 1.1 \times 10^{-4}} \\ &\quad \times 0.03924 \times \frac{1}{4 s^2} \\ &= \frac{9.81 \times 10^{-5}}{s^2(10^{-9}s^2 + 1.01 \times 10^{-6}s + 1.1 \times 10^{-4})} \end{aligned}$$

4. Designing of PID Controller

PID controllers are one of the most widely used feedback control strategies in numerous engineering applications and systems. They are used in a wide range of applications, from simple control systems to very complex ones, in automobiles and industrial process automation.

The PID controller continuously estimates an error according to the equation [24]:

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

Where:

$r(t)$ = setpoint value (reference input).

$y(t)$ = actual output.

$e(t)$ = control error

4.1. PID Controller Structure

The PID controller then gives the control signal $u(t)$, which is represented by the equation:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t)$$

$$U(s) = K_p \cdot E(s) + K_i \cdot \frac{E(s)}{s} + K_d \cdot s \cdot E(s)$$

Where:

K_p = proportional gain.

K_i = integral gain.

K_d = derivative gain.

4.2. Design Objectives

The altitude control loop is designed to achieve:

- Rise time ≤ 0.3 s;
- Overshoot $\leq 13\%$;
- Steady-state error ≈ 0 .

These system specifications are realistic for 4 kg drone altitude controller.

4.3. PID Controller Tuning

MATLAB PID Tuner is employed to regulate and select optimal PID gains. The final tuned gains values are [12, 13]:

$$K_p = 161.4 \text{ [V/(rad/s)]};$$

$$K_i = 50 \text{ [V. s/rad]};$$

$$K_d = 21.52 \text{ [V. s/rad]}.$$

The PID controller transfer function is:

$$\begin{aligned} C_{PID} &= \frac{(K_d \cdot s^2 + K_p \cdot s + K_i)}{s} \\ &= \frac{(21.52s^2 + 161.4s + 50)}{s} \end{aligned}$$

The open loop PID transfer function is:

$$\begin{aligned} OL_{PID} &= C_{PID} * G_{Drone} \\ &= \frac{(21.52s^2 + 161.4s + 50)}{s} \\ &\quad \times \frac{9.81 \times 10^{-5}}{s^2(10^{-9}s^2 + 1.01 \times 10^{-6}s + 1.1 \times 10^{-4})} \end{aligned}$$

The closed loop PID transfer function is:

$$CL_{PID} = \frac{OL_{PID}}{1 + OL_{PID}} = \frac{0.00211 s^2 + 0.01583s + 0.004905}{10^{-9}s^5 + 1.01 \times 10^{-6}s^4 + 1.1 \times 10^{-4}s^3 + 0.00211 s^2 + 0.01583s + 0.004905}$$

5. Design of FLC Controller

5.1. FLC Controller Structure

The fuzzy logic controller contains [25, 26]:

- Fuzzification
- Rule Base
- Inference Engine
- Defuzzification

5.2. FLC Inputs and Output

- Inputs:
 - $e(t) = r(t) - y(t)$
 - $\Delta e(t) = \frac{d}{dt}e(t)$
- Output is $u(t)$.

5.3. Membership Functions

In this paper, seven linguistic variables are employed:

- NB (Negative Big)
- NM (Negative Medium)
- NS (Negative Small)
- ZE (Zero)
- PS (Positive Small)
- PM (Positive Medium)
- PB (Positive Big)

Input and output variables are linked to a standard discourse domain, ranging within the intervals $[-1, 1]$, using the following measurement factors, as shown in Table 2.

Table 2. Normalization parameters for FLC variables (error, delta error, and output)

Variable	Symbol	Physics range	Scaling factor	Normalized range
Error	e	$[-10, +10]$ m	$G_e = 0.1$	$[-1, +1]$
Delta error	Δe	$[-50, +50]$ m/s	$G_{de} = 0.02$	$[-1, +1]$
Output	U	$[-5, +5]$	$G_u = 5.0$	$[-1, +1]$

Triangular membership functions are selected for all inputs and output, as shown in Figure 1 from the MATLAB simulation:

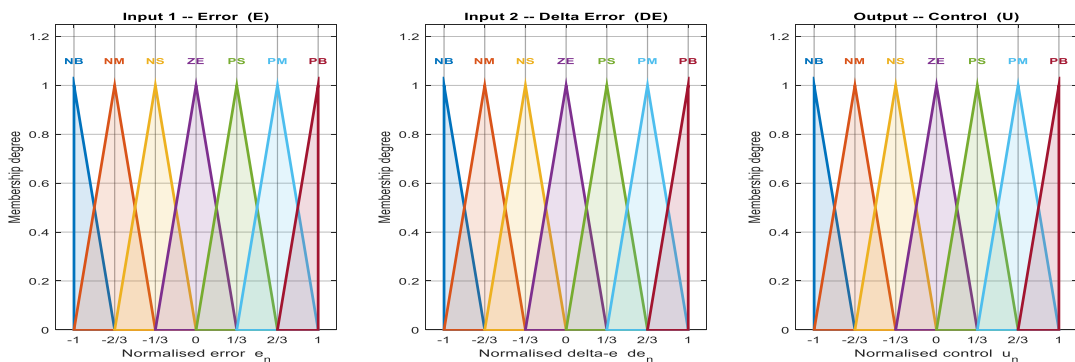


Figure 1. Fuzzy logic controller membership functions (inputs/output).

5.4. Base Rules

A 49-rule (7×7) matrix is developed, as shown in Table 3, where:

- Row = E index (1=NB ... 7=PB);
- Col = DE index (1=NB ... 7=PB);
- Cell = Output MF index (1=NB ... 7=PB).

The Mamdani inference mechanism and centroid defuzzification method are applied.

Table 3. Rule table (rows=Error MF, cols=Delta Error MF, cell=Output MF)

DE E	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	1	1	1	2	3	4	4
NM	1	1	2	3	4	5	5
NS	1	2	3	4	5	6	6
ZE	2	3	4	4	4	5	6
PS	3	4	5	5	6	7	7
PM	4	5	5	6	7	7	7
PB	4	5	6	6	7	7	7

6. Simulation for Results and Discussion

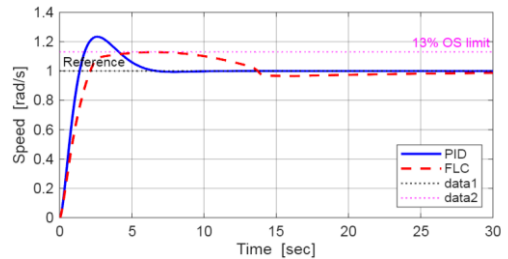
6.1. Time Response

The step response is obtained for both controllers (PID & FLC), and the performance metrics as shown in Table 4 include Rise Time, Overshoot and Steady-State Error [27, 28]:

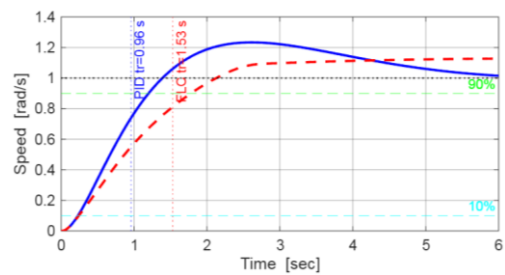
Table 4. Performance comparison table: PID vs FLC

No.	Metric	PID controller	FLC Controller
1	Rise Time [sec]	0.96	1.53
2	Overshoot [%]	23.348	12.812
3	Steady-State [rad/s]	1.00001	0.9842
4	ISE [$\times 10^{-6}$]	595.561	754.397
5	ITAE [$\times 10^{-6}$]	2.410	13.625

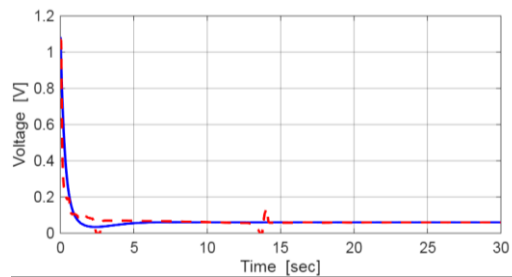
The step speed response of both controllers, as well as rise transient, control effort and disturbance rejection from MATLAB simulation are shown in Figure 2 (a–d):



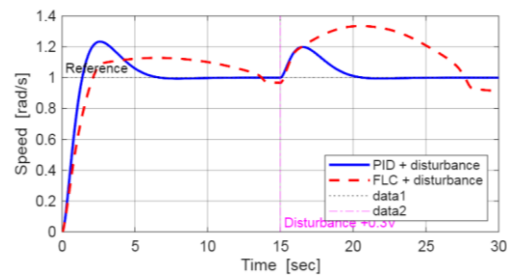
(a) Step speed response -- Full view



(b) Zoom: rise transient (0 - 6 sec)



(c) Control effort $u(t)$



(d) Disturbance rejection (d injected at plant input)

Figure 2. Time response: PID vs. FLC.

6.2. Error Analysis

The tracking error is computed as $e(t) = r(t) - y(t)$, and the convergence

characteristics of both controllers (PID & FLC) are analyzed. Figure 3 shows the results [29-31]:

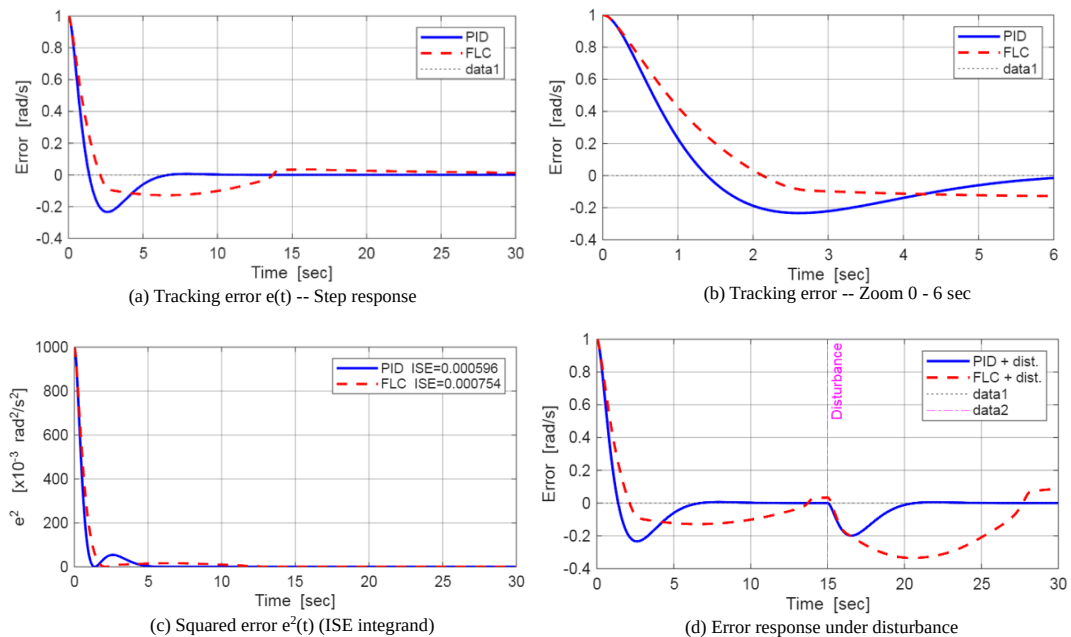


Figure 3. Error analysis: PID vs. FLC.

7. Conclusion

The paper presented a complete integration of motor dynamics and height control through a comprehensive comparative analysis under identical conditions. It demonstrated that, while a PID controller provides fast response and simple implementation, its performance might degrade under significant parameter changes and nonlinear operating conditions. In contrast, a FLC controller exhibits smoother responses and better robustness against distortions and model uncertainties. However, these results are limited because the study is based on simulations, as well as assumptions regarding the linearity of the drive model and idealized motor parameters. Therefore, recommendations for future work could include a hybrid architecture of (PID) and (FLC) controllers, optimization of FLC

parameters using a genetic algorithm, and advanced perturbation modeling.

Data Availability

The data are available from the corresponding author upon request.

Funding

This research received no external funding.

References

- [1] Mohsan SAH, Othman NQH, Li Y, Alsharif MH, Khan MA. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. *Intelligent Service Robotics*. 2023;16(1):109-137. <https://doi.org/10.1007/s11370-022-00452-4>

- [2] Zulu A, John S. A review of control algorithms for autonomous quadrotors. *Open Journal of Applied Sciences*. 2014;4(14):547-556.
<http://dx.doi.org/10.4236/ojapps.2014.414053>
- [3] Ang KH, Chong G, Li Y. PID control system analysis, design, and technology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2005;13(4):559-576.
<https://doi.org/10.1109/TCST.2005.847331>
- [4] Hu N. The limitations of traditional PID controllers and modern optimization methods. *Proceedings of the 3rd International Conference on Mechatronics and Smart Systems*. 2025:238-244.
<https://doi.org/10.54254/2755-2721/2025.22912>
- [5] Isdaryani F, Shidiq MN, Wicaksono Y. Flight controller design for altitude control of a quadcopter using PID and fuzzy methods. *Jurnal Teknologi Rekayasa*. 2022;7(2):251-258.
<https://doi.org/10.31544/jtera.v7.i2.2022.251-258>
- [6] Bouhabza N, Kara K. Optimized sliding mode based PID controller for a quadrotor system. 2022 2nd International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE); 2022 Oct 29-31. Constantine, Algeria: IEEE; 2022. p. 1-6.
<https://doi.org/10.1109/ICAEE53772.2022.9962024>
- [7] Castillo P, Lozano R, Dzul AE. *Modelling and control of mini-flying machines*. London: Springer-Verlag; 2015. <https://doi.org/10.1007/1-84628-179-2>
- [8] Åström KJ, Hägglund T. *Advanced PID Control*. Research Triangle Park, NC: ISA – Instrumentation, Systems, and Automation Society; 2006.
- [9] O'Dwyer A. *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. 3rd ed. London: Imperial College Press; 2009.
- [10] Hoffmann GM, Huang H, Waslander SL, Tomlin CJ. Quadrotor helicopter flight dynamics and control: theory and experiment. In: *AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit*; 2007 Aug 20-23. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics; 2007.
<https://doi.org/10.2514/6.2007-6461>
- [11] Waslander SL, Wang C. Wind disturbance estimation and rejection for quadrotor position control. In: *AIAA Infotech@Aerospace Conference*; 2009 Apr 6-9. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics; 2009. <https://doi.org/10.2514/6.2009-1983>
- [12] Zadeh LA. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*. 1973;SMC-3(1):28-44.
<https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.5408575>
- [13] Coza C, Macnab CJB. A new robust adaptive-fuzzy control method applied to quadrotor helicopter stabilization. In: *NAFIPS 2006 – 2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*; 2006 Jun 3-6. Montreal, QC, Canada: IEEE; 2006. p. 454-8.
<https://doi.org/10.1109/NAFIPS.2006.365452>
- [14] Amrouche R, Fas ML, Benrabah M, Ghoul A. Adaptive TLBO-based fuzzy logic controller for quadrotor trajectory tracking. *IEEE Access*. 2026;14:66711-66727.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2026.3688552>

- [15] Abbas NH, Sami AR. Tuning of PID controllers for quadcopter system using hybrid memory based gravitational search algorithm - particle swarm optimization. *International Journal of Computer Applications*. 2017;172(4):9-18.
- [16] Ojo KE, Adegbola OA, Aborisade DO. Comparative of Ziegler Nichols, fuzzy logic and extremum seeking based proportional integral derivative controller for quadcopter unmanned aerial vehicle stability control. *Journal of Electrical, Control and Technological Research*. 2021;3:1-10.
- [17] Koch W, Mancuso R, West R, Bestavros A. Reinforcement learning for UAV attitude control. *Transactions on Cyber-Physical Systems*. 2019;3(2):22. <https://doi.org/10.1145/3301273>
- [18] Bou-Ammar H, Voos H, Ertel W. Controller design for quadrotor UAVs using reinforcement learning. In: 2010 IEEE International Conference on Control Applications; 2010 Sep 8-10. Yokohama, Japan: IEEE; 2010. p. 2130-5. <https://doi.org/10.1109/CCA.2010.5611206>
- [19] Xia CL. Permanent magnet brushless DC motor drives and controls. John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.; 2012.
- [20] Kose O, Oktay T. Dynamic modeling and simulation of quadrotor for different flight conditions. *European Journal of Science and Technology*. 2019;15:132-42. <https://doi.org/10.31590/ejosat.507222>
- [21] Mustapa MZ. Altitude controller design for quadcopter UAV. *Jurnal Teknologi (Science & engineering)*. 2015;74(1):181-8.
- [22] Ahmad F, Kumar P, Bhandari A, Patil PP. Simulation of the quadcopter dynamics with LQR based control. *Materials Today Proceedings*. 2020; 25(part 2): 326-32. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.282>
- [23] Priyambodo TK, Dhewa OA, Susanto T. Model of linear quadratic regulator (LQR) control system in waypoint flight mission of flying wing UAV. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*. 2020;12(4):43-9.
- [24] Abbas NH, Sami AR. Tuning of PID controllers for quadcopter system using cultural exchange imperialist competitive algorithm. *Journal of Engineering*. 2018;24(2):80-99. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2018.02.06>
- [25] Indrawati V, Prayitno A, Kusuma TA. Waypoint navigation of AR.Drone quadrotor using fuzzy logic controller. *Telkomnika*. 2015;13(3):381-91.
- [26] Fnu VS, Cohen K. Intelligent fuzzy flight control of an autonomous quadrotor UAV. In: 52nd Aerospace Sciences Meeting; 2014 Jan 13-17. National Harbor, Maryland: AIAA; 2014. <https://doi.org/10.2514/6.2014-0992>
- [27] Rodríguez-Abreo O, Rodríguez-Reséndiz J, García-Cerezo A, García-Martínez JR. Fuzzy logic controller for UAV with gains optimized via genetic algorithm. *Heliyon*. 2024;10(4):e26363. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26363>
- [28] Beloglazov DA, Kobersi IS, Kosenko EY, Solovyev VV, Shadrina VV. Analysis of application aspects of regulators in quadrotor automatic control. *Engineering Journal of Don*. 2015;3:3078.
- [29] Indrawati V, Prayitno A, Utomo G. Comparison of two fuzzy logic controller schemes for position control of AR.Drone. In: 2015 7th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE); 2015 Oct 29-30. Chiang Mai, Thailand:

- IEEE; 2015. p. 360-3.
<https://doi.org/10.1109/ICITEED.2015.7408972>
- [30] Polat O, Sezgin A. Position control of a quadcopter with PID and fuzzy-PID controller. *Journal of Engineering Sciences and Design*. 2024;12(1):34-48.
<https://doi.org/10.21923/jesd.1223998>
- [31] Vadakkepat P, Chong TC, Arokiasami WA, Weinan X. Fuzzy logic controllers for navigation and control of AR.Drone using Microsoft Kinect. In: 2016 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE); 2016 Jul 24-29. Vancouver, BC, Canada: IEEE; 2016. p. 856-63. <https://doi.org/10.1109/FUZZ-IEEE.2016.7737778>

- https://doi.org/10.1007/978-981-15-1910-9_3
- [35] UN DESA, UNITAR. Stakeholder engagement and the 2030 agenda: a practical guide. United Nations; 2020.
- [36] Moore T, Horne R, Morrissey J. Zero emission housing: policy development in Australia and comparisons with the EU, UK, USA and California. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2014;11:25–45.
<https://doi.org/10.1016/j.eist.2013.12.003>
- [37] Doyon A, Moore T. The role of mandatory and voluntary approaches for a sustainable housing transition: evidence from vancouver and melbourne. *Urban Policy and Research*. 2020; 38(3):213–29.
<https://doi.org/10.1080/08111146.2020.1768841>
- [38] Reddy PS. Localising the sustainable development goals (SDGs): The role of Local Government in context. *African Journal of Public Affairs*. 2016;9(2):1-15.
- [39] Jonga M. The roles of local and regional governments in achieving the sustainable development goals. *International Social Sciences and Humanities*. 2022;1(1):130-32. <https://doi.org/10.32528/issn.v1i1.20>
- [40] Pahl-Wostl C. The role of governance modes and meta-governance in the transformation towards sustainable water governance. *Environmental Science and Policy*. 2019;91:6-16.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.10.008>
- [41] Golubchikov O, Badyina A. Sustainable housing for sustainable cities: a policy framework for developing countries. Nairobi, Kenya: UN-Habitat; 2012.
- [42] Ansell C, Sørensen E, Torfing J. The key role of local governance in achieving the SDGs. Co-creation for sustainability: The UN SDGs and the Power of Local Partnership; 2022.
<https://doi.org/10.1108/978-1-80043-798-220220002>

- of climate change adaptation. *Journal of Environmental Planning and Management*. 2019;62(3):374-98. <https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1510767>
- [28] United Nations. Global sustainable development report. Department of Economic and Social Affairs, New York; 2016.
- [29] Følstad A, Kvale K, Halvorsrud R. Customer journey measures – state of the art research and best practice. Report A24488. Oslo, Norway: SINTEF; 2013.
- [30] Følstad A, Kvale K, Halvorsrud R. Customer journeys: involving customers and internal resources in the design and management of services. In: Sangiorgi D, Hands D, Murphy E (eds.), *ServDes 2014: Service Future*, 9-11 April. Lancaster; 2014. p. 412-417.
- [31] Wilde MD, Spaargaren G. Designing trust: how strategic intermediaries choreograph homeowners' low-carbon retrofit experience. *Building Research & Information*. 2019; 47(4):362-74. <https://doi.org/10.1080/09613218.2018.1443256>
- [32] Nieboer N, Straub A. How do customer journeys regarding energy investments look like? In Conference papers of the European Network for Housing Research (ENHR 2018): More together, more apart: Migration, densification, segregation. ENHR; 2018.
- [33] Howarth C, Roberts BM. The role of the UK green deal in shaping pro-environmental behaviours: insights from two case studies. *Sustainability*. 2018;10(6):2107. <https://doi.org/10.3390/su10062107>
- [34] Shibeika A, Hittini B, Abdel Raheem T. The adoption of building environmental performance assessment methods in the UAE built environment. In: Panuwatwanich, K, Ko, CH (eds) *The 10th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Singapore; 2020. p. 33-41.
- [17] Derkx B, Glasbergen P. Elaborating global private meta-governance: an inventory in the realm of voluntary sustainability standards. *Global Environmental Change*. 2014;27:41-50. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.016>.
- [18] Birch J. Housing and poverty. York: Joseph Rowntree Foundation. 2015.
- [19] International Council for Science. A guide to SDG interactions: from science to implementation, Paris; 2017.
- [20] UNEP. Sustainable housing – A must, not a luxury. Paris; 2011.
- [21] باهمام ع س (محرر). الإسكان التنموي أمل من لا مسكن لهم. الرياض: مركز البحوث والمعلومات، كلية العمارة والتخطيط، جامعة الملك سعود؛ 2008.
- [22] Wachter S, Hoek-Smit M, Kim KH. Housing challenges and the new urban agenda. Philadelphia: Penn Institute for Urban Research; 2018.
- [23] UN Habitat. Housing and slum upgrading. Retrieved March 16, 2026, from <https://unhabitat.org/5-housing-and-slum-upgrading>
- [24] Iyer D, Rubian R, Pizarro G. UN-Habitat. Institutional and coordination mechanisms: guidance note on facilitating integration and coherence for SDG implementation. New York: United Nations Development Programme; 2017.
- [25] Daamen R. The identification of the multi-actor governance system in the sustainable housing policy. A case study in the city of Wroclaw: Poland. [Master thesis]. Nijmegen: Radboud University; 2016.
- [26] Wittmayer JM, Avelino F, Steenbergen FV, Loorbach D. Actor roles in transition: insights from sociological perspectives. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. 2017;24:45-56. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2016.10.003>
- [27] Patterson JJ, Huitema D. Institutional innovation in urban governance: the case

المراجع

تنموية، المعهد العربي للتخطيط بالكويت.
2022؛ 1(75):1-40.

[9] حيدر ع، الغامدي م س ع، باهمام ع س. نحو الانتقال إلى مساكن ميسرة ومستدامة: مقترح لتكييف الإطار المؤسسي في المرحلة الانتقالية في المملكة العربية السعودية. مجلة الإمارات للبحوث الهندسية. 2021؛ 26(4):1.

[10] Housing Europe. How housing Europe members deliver on the sustainable development goals. Investing in affordable housing is investing in sustainable development; 2017.

[11] مصعب م، القصار أ. الحوكمة وأهداف التنمية المستدامة: دراسة تطبيقية في الدول العربية. مجلة التنمية والسياسات الاقتصادية. 2024؛ 26(3):49-77.

[12] Meuleman, L. Metagovernance for sustainability: a framework for implementing the sustainable development goals. London: Routledge; 2019. <https://doi.org/10.3326/pse.43.1.7>

[13] Fischer LB, Newig J. Importance of actors and agency in sustainability transitions: a systematic exploration of the literature. Sustainability. 2016;8(5):476. <https://doi.org/10.3390/su8050476>

[14] Geels FW. The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms. Environmental Innovation and Societal Transitions. 2011;1(1):24-40. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2011.02.002>

[15] Eionet. European Environment Information and Observation Network. Sustainability transitions: now for the long term. Eionet Report | No 1/2016. European environment agency; 2016.

[16] Andrews-Speed P. Applying institutional theory to the low-carbon energy transition. Energy Research & Social Science. 2016;13:216-25. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.011>

[1] Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA). Progress towards the sustainable development goals in the Arab region. Beirut: United Nations; 2024.

[2] UCLG. The localization of the global agendas: how local action is transforming territories and communities. The GOLD V Regional Report on Middle East and West Asia; 2019.

[3] Ben Hassen T, El Bilali H. Sustainable development goals in the middle east and North Africa (MENA) region: policy and governance. In: Abubakar IR, da Silva I, Pretorius R, Tarabieh K (eds) SDGs in Africa and the Middle East Region. Implementing the UN Sustainable Development Goals – Regional Perspectives. Springer, Cham; 2024. p. 283-98. https://doi.org/10.1007/978-3-031-17465-0_20

[4] Habitat for humanity: housing and the sustainable development goals. The transformational impact of housing. Atlanta: Habitat for Humanity International. 2021.

[5] Dahman A. Orchestrating sustainability: meta-governance as a catalyst for cross-sectoral collaboration on the SDGs. Journal of Contemporary Business and Economic Studies. 2026;9(1):99-116.

[6] أبو شاله ن. عرض تقرير التنمية العربية 2025: مستقبل أسواق العمل العربية في ظل التحول الأخضر والذكاء الاصطناعي. مجلة التنمية والسياسات الاقتصادية. 2026؛ 28(1):41-93. <https://doi.org/10.34066/jodep.26.28.1.3>

[7] وزارة الاقتصاد والتخطيط. أهداف التنمية المستدامة: الاستعراض الطوعي الوطني الأول للمملكة العربية السعودية. المنتدى السياسي الرفيع المستوى لعام 2018، لتحول نحو مجتمعات مستدامة ومرنة. نيويورك؛ 2018.

[8] عبد مولا و. أهداف التنمية المستدامة في الدول العربية: فجوة التخطيط والتمويل والبيانات. سلسلة دراسات

جدول 2. توصيات الدراسة مقسمة على مراحل زمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل

المدة الزمنية	التوصيات	الجهة المسؤولة عن التنفيذ
قصيرة المدى (1-3) سنوات	إنشاء وحدة تنسيقية وطنية للإسكان الميسر والمستدام عقد ورش عمل توعوية للجهات الحكومية حول مفهوم الحوكمة الفوقية	رئاسة الوزراء / المجلس الأعلى للتخطيط المجلس الوطني للاستدامة
	توريد وتصنيع مواد بناء مستدامة	وزارة الإسكان / وزارة التجارة / هيئة المواصفات والمقاييس
	تطوير بدائل تصميمية مساكن ميسرة ومستدامة	القطاع الخاص / المكاتب الهندسية
	توريد وتصنيع الأنظمة الكهربائية والميكانيكية	القطاع الخاص / المكاتب الهندسية
	استحداث تقنيات تنفيذ مستدامة	القطاع الخاص / المكاتب الهندسية
متوسطة المدى (3-5) سنوات	الرفع من مستوى التوعية المجتمعية بأهداف التنمية المستدامة والإسكان الميسر والمستدام	المجلس الوطني للاستدامة
	التغيير في التشريعات والاشتراطات الحكومية ذات العلاقة بتطوير المساكن الميسرة والمستدامة	وزارة الإسكان
	إطلاق منصة وطنية لمشاركة أصحاب المصلحة في مراجعة سياسات الإسكان وتقييمها	المجلس الوطني للاستدامة
	صدور قرارات حكومية إلزامية بتطوير مساكن ميسرة ومستدامة	وزارة الإسكان
	تنفيذ مبادرات حكومية أو خاصة لتخفيض أسعار قطع الأراضي	وزارة الإسكان
	تنفيذ مبادرات حكومية أو خاصة لتخفيض تكاليف تنفيذ المساكن	وزارة الإسكان
طويلة المدى (5-10) سنوات	إعادة هيكلة الحوكمة المؤسسية لقطاع الإسكان على وفق نموذج الحوكمة الفوقية متعدد المستويات	رئاسة الوزراء
	إدراج مؤشرات الأداء المرتبطة بأهداف التنمية المستدامة في تقييم أداء الجهات الحكومية سنوياً	ديوان الرقابة / الجهاز المركزي للرقابة
	إنشاء صندوق وطني لتمويل الإسكان المستدام بشراكة بين القطاعين العام والخاص	رئاسة الوزراء / وزارة المالية

7. الاستنتاجات والتوصيات

والهياكل الشبكية، وتجمع بين الجهات الفاعلة التي تعمل عبر مختلف الأنظمة. كما يمكن من تحقيق التنسيق الأفقي بين الوزارات والتوافق الرأسي مع الكيانات الإقليمية والمحلية، ويمنع تشتت السياسات من خلال تمكين التخطيط المنسق الذي يُراعي المفاضلات ويستفيد من المزايا المتبادلة، ويعتمد على أربع مراحل هي: الإبلاغ، والاستشارة، والمشاركة، والتعاون.

وبناء على ذلك، توصي الدراسة بمجموعة من التوصيات التي يجب تنفيذها على مراحل زمنية قصيرة ومتوسطة وطويلة الأجل كما هو موضح في الجدول (2). كما توصي الدراسة بإجراء أبحاث مستقبلية لتطبيق النموذج المقترح في دراسة حالة مقارنة بين دولتين عربيتين باستخدام منهجيات مختلطة (كمية ونوعية) لقياس فعاليته وتحديد العقبات السياسية والإدارية التي قد تواجه تطبيقه مع اقتراح آليات للتغلب عليها.

8. حدود الدراسة

عمدت الدراسة إلى تطوير نموذج مفاهيمي للحكومة الفوقية استناداً إلى تحليل الأدبيات والتقارير الوطنية والتجارب الدولية، دون إجراء تطبيق ميداني أو اختبار تجريبي للنموذج المقترح. كما أن اختلاف السياقات المؤسسية والتشريعية والاقتصادية بين الدول العربية قد يحد من إمكانية تعميم النتائج بصورة كاملة مما يزيد الحاجة إلى دراسات مستقبلية لدراسة مواءمة النموذج المقترح وتكييفه مع الخصوصيات الوطنية لكل دولة.

توفر البيانات

لم يتم إنشاء أو تحليل أي بيانات في هذه الدراسة.

التمويل

لم يتلق هذا البحث أي تمويل خارجي.

قدمت الدراسة رابطاً تكاملياً وثيقاً بين تنفيذ أهداف التنمية المستدامة 2030 وقطاع الإسكان، تمثل في وجود ترابط بين تنفيذ الإسكان الميسر والمستدام مع 15 هدفاً من أهداف التنمية المستدامة مما يستلزم تقديم مقترح حوكمة فوقية بوصفه إطاراً تنسيقياً يمكن مختلف الجهات الفاعلة من العمل معاً لتحقيق أهداف التنمية المستدامة في قطاع الإسكان، وذلك بسبب وجود تشتت مؤسسي، وضعف تنسيق أفقي ورأسي، ومركزية مفرطة. كما أن ضعف مشاركة القطاع الخاص والمجتمع المدني الذي تعاني منه المؤسسات الحكومية في بعض الدول العربية يعمل على إضعاف القدرة على تلبية متطلبات عملية الانتقال.

وقد أظهرت الدراسة أن مقترح الحوكمة الفوقية يعمل بوصفه إطاراً يحقق تنسيقاً فعالاً بين القطاعات ومستويات الحوكمة عند تطبيقها بشكل سليم، ويسهم في تكييف الإطار المؤسسي الذي يربط الجهات الأكثر فاعلية في عملية الانتقال إلى المساكن الميسرة والمستدامة. كما أن هذا المقترح يجمع بين جميع الجهات الفاعلة (الحكومية، والخاصة، والبحثية، والأكاديمية، ومؤسسات المجتمع المدني) في عملية الانتقال، إضافة إلى إنشاء مجموعة من الجهات الجديدة، مثل: المجلس الوطني للاستدامة، والجهات الوسيطة، تعمل على سد الفجوة بين الجهات الحكومية على المستوى الوطني والإقليمي والمحلي، وتمثل حلقة الربط بين الجهات الحكومية والجهات الخاصة ومؤسسات المجتمع المدني، فضلاً عن أنها تيسر الاشتراطات واللوائح والتنظيمات للجهات الخاصة وتربط بين المستفيدين النهائيين والجهات الفاعلة الخاصة.

وهذا يعني أن مقترح الحوكمة الفوقية يعمل بوصفه آلية ربط تربط بين الحوكمة الهرمية وأنظمة السوق

التعاقدية، وإنما يتطلب بناء منظومة مؤسسية تضمن التنسيق المستمر، وتبادل البيانات، ووضوح المسؤوليات، ووجود قنوات اتصال فعالة بين جميع الأطراف. كما أن تحويل مسار التغذية الراجعة من نموذج خطي إلى نموذج دائري يمثل تحولاً مؤسسياً مهماً؛ لأنه يسمح بالتعلم المستمر وتعديل السياسات في أثناء التنفيذ بدلاً من الاكتفاء بالتقييم بعد انتهاء المشروعات.

كما تؤكد النتائج أن نجاح المراحل الأربع المقترحة للحكومة الفوقية يرتبط بوجود إطار قادر على إدارة التفاعل بين أنماط الحوكمة المختلفة، بدلاً من الاعتماد على النموذج الحكومي التقليدي القائم على السيطرة الهرمية. ويكتسب هذا الطرح أهمية خاصة في الدول العربية التي تتفاوت فيها القدرات المؤسسية بين المؤسسات الحكومية، وتتداخل فيها الأدوار التنظيمية والتنفيذية. وفي هذا السياق، لا تعني الحوكمة الفوقية تقليص دور الدولة، بل إعادة تعريفه ليصبح موجهاً ومنسقاً وميسراً للتفاعل بين مختلف الفاعلين، مع المحافظة على الدور التنظيمي والرقابي للدولة.

وعليه، فإن الدراسة لا تقترح مجرد إعادة هيكلة مؤسسات قطاع الإسكان، وإنما تدعو إلى تحول مؤسسي شامل في فلسفة إدارة التنمية المستدامة، ينتقل من الحوكمة المركزية المجزأة إلى الحوكمة الفوقية المنسقة، ومن التخطيط المركزي إلى التعلم المؤسسي المستمر، ومن تنفيذ المشروعات بصورة منفردة إلى إدارة منظومات متكاملة متعددة المستويات والجهات الفاعلة. ويبدو أن هذا التحول يمثل أحد أهم المتطلبات المستقبلية للدول العربية إذا ما أرادت تسريع تحقيق أهداف التنمية المستدامة، وتعزيز كفاءة سياسات الإسكان، وتحقيق التوازن بين النمو الحضري، والعدالة الاجتماعية، والاستدامة البيئية.

الإسكانية أكثر استجابة للاحتياجات الفعلية للمجتمعات المحلية، بدلاً من اعتماد نماذج موحدة لا تراعي الخصوصيات المكانية والاجتماعية. ومن الجوانب المهمة التي يطرحها النموذج المقترح إدخال مفهوم الوسطاء (Intermediaries) ضمن المنظومة المؤسسية، وهو مفهوم لا يزال محدود التطبيق في معظم الدول العربية. فالتحولات نحو الإسكان المستدام تتطلب وجود جهات وسيطة تمتلك القدرة على ترجمة السياسات الوطنية إلى ممارسات تنفيذية، وتسهيل التواصل بين الجهات الحكومية والقطاع الخاص والمواطنين، ونقل المعرفة والخبرات بين مختلف الأطراف. ويمكن لهذه الجهات أن تؤدي دوراً محورياً في تقليل مقاومة التغيير، وتعزيز بناء القدرات، وتسريع تبني الابتكارات التقنية والتنظيمية في قطاع الإسكان.

أما مرحلة المشاركة (Involve) فتسلط الضوء على أحد أبرز التحديات التي تواجه الحوكمة العربية، وهو محدودية المشاركة الحقيقية لأصحاب المصلحة في إعداد السياسات العامة وتنفيذها. ففي كثير من الحالات تقتصر المشاركة على المشاورات الشكلية أو الاجتماعات التعريفية، دون أن تمتد إلى إشراك فعلي في تصميم البرامج أو مراجعة السياسات أو تقييمها. ولذلك، فإن الانتقال إلى نماذج المشاركة الهادفة يسهم في رفع مستوى قبول السياسات، وتعزيز الشفافية، والاستفادة من الخبرات المتنوعة التي يمتلكها القطاع الخاص ومؤسسات المجتمع المدني والمستفيدون النهائيون.

وأما مرحلة التعاون (Collaborate) فتكتسب أهمية مضاعفة في السياق العربي نتيجة التوسع المتزايد في دور القطاع الخاص في تطوير المشروعات السكنية، ولا سيما من خلال الشراكات بين القطاعين العام والخاص. إلا أن نجاح هذه الشراكات لا يعتمد فقط على الأطر

التنمية المستدامة إلى سياسات محلية لضمان جدواها وملاءمتها للجهات الفاعلة التي يُتوقع منها أن تسهم في تحقيقها [42].

ويبرز المقترح الخاص بمرحلة الإبلاغ (Inform) بوصفه معالجة لأحد أبرز أوجه القصور في الحوكمة في الدول العربية، وهو انتقال السياسات بصورة أحادية من المستوى المركزي إلى الجهات المنفذة في قطاعات منفصلة وغير مترابطة دون توفير فهم مشترك للأهداف والمسؤوليات وآليات التنفيذ بين جميع الفاعلين والمستفيدين على حد سواء. إضافة إلى أن إشراك المؤسسات الأكاديمية ومراكز البحوث في صياغة السياسات وتحديثها بصورة مستمرة يسهم في سد الفجوة القائمة بين المعرفة العلمية وصنع القرار، وهي فجوة لا تزال واضحة في العديد من تلك الدول، حيث تعتمد السياسات في كثير من الأحيان على اعتبارات إدارية أو سياسية أكثر من اعتمادها على الأدلة العلمية والبيانات المحدثة. ويُعدّ الوصول إلى المعلومات والمعرفة والتعلم المؤسسي أمراً بالغ الأهمية لنجاح الحوكمة الفوقية، إلا أن هذا الوصول ليس متاحاً بالضرورة بالتساوي لجميع الجهات الفاعلة المحتملة [12].

وتعكس مرحلة الاستشارة (Consult) أهمية تعزيز اللامركزية الإدارية بوصفها أحد المتطلبات الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة. فعلى الرغم من الاتجاه الذي تبنته العديد من الدول العربية نحو نقل بعض الصلاحيات إلى الحكومات المحلية، فإن هذه العملية ما تزال محدودة بسبب ضعف القدرات المؤسسية والمالية للمستويات المحلية، إضافة إلى استمرار المركزية في اتخاذ القرار. ولذلك، فإن بناء منظومة للتغذية الراجعة تبدأ من المستوى المحلي وصولاً إلى المستوى الوطني الذي من شأنه أن يرفع كفاءة التخطيط، ويجعل السياسات

استخدام الموارد، وهو ما يبرر الحاجة إلى إنشاء مجالس وطنية للتنمية المستدامة تتولى قيادة التنسيق الاستراتيجي بين مختلف الفاعلين، وليس مجرد الإشراف الإداري على تنفيذ الخطط. إضافة إلى ذلك، يُعدّ العمل المحلي أساسياً لضمان ترسيخ أهداف التنمية المستدامة وتكييفها مع الظروف المحلية. فالفاعلون المحليون يمتلكون معرفة مباشرة بالمشكلات والتحديات الملموسة، وبالعلاقات السببية المحتملة بينها. ولذلك، فإن آليات التمكين، والوساطة، والمساءلة، والشفافية، تمثل أدوات مؤسسية ضرورية لإدارة هذا التعقيد، وتقليل فجوات القوة بين الجهات الفاعلة، وضمان مشاركة أكثر عدالة في عمليات صنع القرار. ويكتسب هذا الاستنتاج أهمية خاصة في البلدان العربية، حيث تتسم منظومات الحوكمة في كثير من الدول بسيادة النهج القطاعي، وتداخل الاختصاصات، وضعف التنسيق الأفقي والرأسي بين المستويات الوطنية والإقليمية والمحلية، الأمر الذي يؤدي إلى تجزئة السياسات الإسكانية وصعوبة مواءمتها مع الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للتنمية المستدامة.

ومن الوظائف المهمة الأخرى التي يؤكدّها النموذج المطور عمل شراكات بين جميع مستويات الحكومة والجهات المعنية المحلية، مثل: القطاع الخاص، والشركاء الاجتماعيين، والأوساط الأكاديمية، والمنظمات الشعبية والمجتمع المدني. وهذه الشراكات الشاملة تُبنى على قواعد وقيم ورؤية مشتركة وأهداف مشتركة. وجميعها متطلبات على الصعد العالمية والوطنية والإقليمية والمحلية، حيث يتطلب التغيير التحويلي وزيادة كفاءة الطاقة والموارد في قطاع الإسكان اتخاذ إجراءات على مستويات متعددة بين الجهات الفاعلة المتعددة، وهذا يتطلب بالضرورة تسهيل ترجمة أهداف

وتُعالج التوترات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية بما يتماشى مع مبادئ التنمية المستدامة. وأخيرًا، يجب أن تسمح الحوكمة الفوقية الناجحة للحكومات والمنظمات غير الحكومية بأداء أدوارها في معالجة التحديات الاجتماعية والاقتصادية المحددة [39، 40].

كما تشير نتائج الدراسة إلى أن تحقيق أهداف التنمية المستدامة في قطاع الإسكان بناء على النموذج المطور لا يعتمد فقط على جودة السياسات أو توافر الموارد، وإنما يرتبط بدرجة أكبر بقدرة النظام المؤسسي على تنسيق أدوار الجهات الفاعلة المختلفة ضمن إطار حوكمة فوقية قادر على إدارة التعقيد المؤسسي. وتُمثل الاستدامة والقدرة على تحمل التكاليف تحديًا للتنسيق والتكامل، وتحديدًا للحوكمة أيضًا؛ لذلك تضطلع الجهات الفاعلة المختلفة في الحوكمة الفوقية بوظائف مشتركة، إضافة إلى أدوارها الخاصة، حيث تُسهم كل منها في صنع السياسات. كما تُهيئ الحوكمة الفوقية بيئةً مُمكّنة للجهات الفاعلة الأضعف من خلال آليات التمكين، والوساطة بين الأطراف المختلفة. ومن الجوانب المهمة التي يؤكدّها النموذج المطور التأكيد على أن التنسيق بين الجهات الفاعلة يمثل التحدي الأكبر في تحقيق الاستدامة والإسكان الميسر، حيث يكشف الواقع المؤسسي في العديد من البلدان العربية أن مسؤوليات قطاع الإسكان غالبًا ما تتوزع بين وزارات وهيئات متعددة، مثل: الإسكان، والتخطيط، والإدارة المحلية، والبيئة، والمالية، والاستثمار، والجهات البلدية، مع محدودية وجود جهة تنسيقية عليا تمتلك الصلاحيات الكافية لتحقيق التكامل بين هذه المؤسسات.

ونتيجة لذلك، تنفذ العديد من البرامج والمشروعات بصورة متوازية أو منفصلة، بما يؤدي إلى تكرار الجهود، وتضارب الأولويات، وضعف كفاءة

القطاعات الحكومية والخاصة والأكاديمية. ويتطلب تحقيق ذلك تبني استراتيجية وطنية شاملة للإسكان تستند إلى إطار تشريعي متين، إلى جانب إصلاح هياكل الحوكمة القائمة، وتفعيل برامج استراتيجية للاستثمار والبحث العلمي وبناء القدرات والتدريب [41]. كما ينبغي أن تستند جهود التنفيذ إلى تحليل معمق لأدوار ومسؤوليات مختلف أصحاب المصلحة في عملية التنمية، مع تحديد الجهة الحكومية المسؤولة عن تنسيق الجهود بين الأطراف المعنية [23]. ويتحقق ذلك من خلال تبني أطر حوكمة تعاونية ومتعددة المستويات تدعم التكامل والتنسيق في عمليات صنع السياسات، مع ضمان إشراك مختلف المؤسسات الحكومية والفاعلين المجتمعيين في مراحل التخطيط والتنفيذ والمتابعة.

وتؤكد نتائج الدراسة عدم وجود وصفة عامة لحوكمة الاستدامة في سياق ثقافي محدد، ولكن يمكن للتنمية المستدامة أن تستفيد من نهج الحوكمة الفوقية مع مراعاة الحساسية الثقافية؛ لأن ما يُعد جيدًا في بيئة أو مجتمع ما قد يختلف من ثقافة إلى أخرى. وهذا يظهر تأكيدًا واضحًا في أدبيات حوكمة الاستدامة لإيجاد تحول واضح لنماذج الحوكمة التقليدية إلى نماذج الحوكمة الفوقية التي تقوم على تعدد الجهات الفاعلة، والتنسيق بين القطاعات، والتكيف مع الخصوصيات المحلية والثقافية. وينطلق من فرضية رئيسة مفادها أن تحقيق الاستدامة لا يمكن أن يعتمد على نموذج مؤسسي موحد، وإنما يتطلب أطرًا مرنة تستجيب لاختلاف السياقات الاجتماعية والثقافية والاقتصادية. وهذا يستلزم تضافر جهود جميع القطاعات لوضع حلول مصممة خصيصًا لبيئات محددة، فعند توفير منصة حوكمة تهتم بتطوير الحلول والابتكارات يمكن للسياسات القطاعية المتكاملة أن تُحدث تأثيرًا محليًا

المشتركة، ومنصات أصحاب المصلحة، والتفويضات القانونية التي تُعزز تكامل السياسات ورصد الأداء.

6. المناقشة

إن الطبيعة متعددة الأبعاد للتنمية المستدامة بشكل عام واستدامة الإسكان بشكل خاص تؤكد عجز الجهات والمؤسسات المنفردة عن مجابهة تحديات التطبيق والتنفيذ والتقييم بمعزل عن إطار تنسيقي يضمن اتساق الأدوار وتكاملها. ولذلك، فإن هذا الارتباط بين أهداف التنمية المستدامة يجب أن يرافقه ارتباط وتنسيق بين جميع الجهات الفاعلة ذات العلاقة، فبالنظر إلى نهج اتساق السياسات للتنمية المستدامة الذي يدعو إلى دمج الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والحوكمة في عملية صنع السياسات، مع الإقرار بالترابطات الجوهرية بين أهداف التنمية المستدامة؛ تدعو خطة التنمية المستدامة لعام 2030 إلى إعادة النظر في ثقافة الحوكمة ومؤسساتها. ولذلك، فإن تحديد مدى القدرة على تنفيذ أهداف التنمية المستدامة يتوقف على الاستراتيجيات الوطنية والأطر المؤسسية القائمة، فضلاً عن حالة اللامركزية والوسائل المتاحة للتنفيذ المحلي للأجندات العالمية. ويهدف هذا النهج إلى تعزيز التآزر، ودعم الشراكات وتحقيق التوازن، وذلك لتحديد العلاقات وإدارتها بين أهداف التنمية المستدامة بما يحد من أي آثار سلبية محتملة ناتجة عن تنفيذها، ويتغلب عليها [2].

ولتحقيق الطابع المؤسسي لتنفيذ أهداف التنمية المستدامة المرتبطة بقطاع الإسكان، ينبغي دمج هذه الأهداف بصورة منهجية في الهياكل التنظيمية والممارسات التشغيلية لمختلف الجهات الحكومية وغير الحكومية، بحيث تصبح جزءاً أصيلاً من الثقافة المؤسسية الحاكمة للسياسات العامة وآليات عمل

وأما المرحلة الرابعة، وهي مرحلة التعاون (Collaborate)، فتقرر فيها الحكومات وأصحاب المصلحة معاً تنفيذ جميع الخطط المتفق عليها، وهي مرحلة طويلة الأجل ومعقدة وتتطلب الكثير من الموارد. وذلك عن طريق العمل تدريجياً على إشراك الجهات الفاعلة الخاصة (مثل: المكاتب المعمارية والهندسية، والمطورين العقاريين، ومصنعي وموردي مواد البناء والتجهيزات)، ومؤسسات المجتمع المدني. مع فتح قنوات اتصال فعالة بين الجهات الحكومية المسؤولة ومراكز الأبحاث وبين جميع الجهات الفاعلة في القطاع الخاص ومؤسسات المجتمع المدني. ولذلك سيخلق التواصل المباشر بين المستفيد النهائي والجهات الوسيطة من جهة، وبين المستفيد النهائي وأصحاب المصلحة ومؤسسات المجتمع المدني من جهة أخرى، قنوات قوية للتغذية الراجعة عن طريق ارتباطهم المباشر بالجهات الحكومية على المستوى المحلي. وباستخدام هذا النهج المقترح، لتطوير المساكن الميسرة والمستدامة، سيصبح مسار التغذية الراجعة دائرياً وليس خطياً.

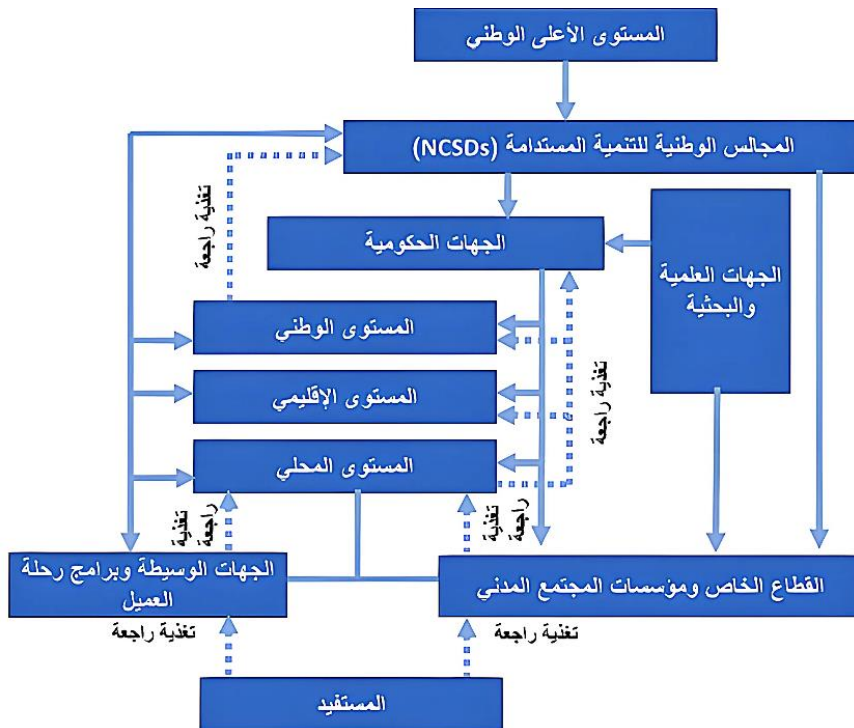
وهذه المراحل الأربع لن يكتب لها النجاح والتنسيق التام والكامل بين الجهات الفاعلة إلا بتطبيق منظومة الحوكمة الفوقية، وهو أمر ضروري لتطوير حوكمة فعالة وإدارة عامة عالية الجودة، ولتعزيز التماسك في السياسات والمؤسسات لدعم تطبيق المعايير. إن الحوكمة الفوقية تُشكّل إطاراً حيويًا لتوحيد جهود مختلف الجهات المعنية في تنفيذ أهداف التنمية المستدامة؛ إذ تعمل بوصفها آلية انعكاسية تُتيح التوجيه الاستراتيجي والتماسك بين الأنظمة القطاعية المجزأة ذات القدرات المؤسسية متفاوتة، دون الحاجة إلى سيطرة هرمية من خلال ثلاث آليات رئيسية، وهي: اللجان الوزارية

البرامج والمشاريع ذات العلاقة وطلب الميزانيات والدعم المادي، وهو ما يرفع التوصيات النهائية إلى المجالس الوطنية. كما يمكن في هذه المرحلة البدء بتأهيل مجموعة من الوسطاء، لتطبيق برنامج الوسطاء ورحلة العميل.

أما المرحلة الثالثة، وهي مرحلة المشاركة (Involve)، فيشارك فيها أصحاب المصلحة بشكل هادف مع الحكومات في وضع الخطط والخيارات لتنفيذ ومراجعة خطة تنفيذ أهداف التنمية المستدامة في قطاع الإسكان وتنفيذ الإجراءات، ولا ترقى المشاركة في هذه المرحلة إلى مستوى تقاسم سلطة صنع القرار الرسمية.

تقوم الجهات الأكاديمية والبحثية أيضاً بتولي مسؤولية التجريب والتطوير المستمر للوصول إلى أفضل مواءمة ممكنة بين المدخلات المؤسسية والمتطلبات الفعلية للتطوير.

وتبدأ المرحلة الثانية، وهي مرحلة الاستشارة (Consult)، بتقديم الجهات الحكومية تغذية راجعة تنطلق من المستوى المحلي إلى المستوى الإقليمي عن طريق تحديد الاستراتيجيات وتنفيذها ورصدها على المستوى المحلي لتحقيق أهداف وغايات التنمية المستدامة في قطاع الإسكان، وترجمة الأجندة إلى ممارسات عملية على المستوى المحلي، بما يضمن تأثيرها الإيجابي وفوائدها على المجتمعات المحلية. يلي ذلك التغذية الراجعة من المستوى الإقليمي إلى المستوى الوطني بالتنسيق بين جميع



شكل 5. مقترح حوكمة فوقية كإطار تنسيقي لتنفيذ أهداف التنمية المستدامة.

معها على أنها ركائز منفصلة. ومن أمثلة هذه الهيئات مجالس التنمية المستدامة التي تُحاكي الوضع متعدد القطاعات والمستويات والجهات الفاعلة. وقد أثبتت هذه المجالس نجاحها في دعم هذه العمليات ومراقبتها في عدد من البلدان [39، 40].

ولتنفيذ أهداف التنمية المستدامة على مستوى كل دولة، قد تنظر الحكومات في إنشاء هيئات/ شبكات دعم تُساعد في تصميم مناهج الحوكمة المُحددة ومراجعتها وتقييمها، ويتطلب ذلك التكامل بين الجوانب البيئية والاجتماعية والاقتصادية في كل مجال بدلاً من التعامل

جدول 1. مصفوفة الحوكمة الفوقية متعددة المستويات التي توضح آليات التنسيق في مختلف المستويات [5]

آليات الحوكمة	المستويات المحلية	المستويات الوطنية	المستويات الدولية
الحوكمة الهرمية	لجان أهداف التنمية المستدامة البلدية، توجيهات رؤساء البلديات	مجالس أهداف التنمية المستدامة المشتركة بين الوزارات، الاستراتيجيات الوطنية	تفويضات الأمم المتحدة، المعاهدات الدولية
الحوكمة الشبكية	منتديات منظمات المجتمع المدني المحلية، الميزانية التشاركية	منصات أصحاب المصلحة المتعددين الوطنية	تحالفات المنظمات غير الحكومية العابرة للحدود، المجتمعات المعرفية
حوكمة السوق	شبكات الطاقة النظيفة الصغيرة القائمة على السوق، التعاونيات المجتمعية	الشراكات بين القطاعين العام والخاص، السندات الخضراء	التمويل العالمي (مرفق البيئة العالمية، سندات أهداف التنمية المستدامة، أسواق الكربون)

5. النتائج

نستنتج مما سبق الحاجة الملحة إلى إنشاء منظومة مؤسسية متكاملة تدار تحت مظلة الحوكمة الفوقية، من أجل تنفيذ أهداف التنمية المستدامة بوجه عام وفي قطاع الإسكان بوجه خاص. وكما يظهر في الشكل (5)، فإن أول مكون في هذه المنظومة هي المجالس الوطنية للتنمية المستدامة، التي تعمل بالتعاون مع الجهات الأكاديمية والبحثية المتخصصة على تحديد أهداف التنمية المستدامة ذات العلاقة بقطاع الإسكان والخروج بسياسات متكاملة لأسلوب تطبيقها على أرض الواقع. وتوجه هذه المجالس السياسات إلى الجهات الحكومية بمستوياتها المختلفة (الوطنية والإقليمية والمحلية) إضافة إلى جهات

القطاع الخاص والمجتمع المدني بجميع المتطلبات الخاصة بتنفيذ أهداف التنمية المستدامة وبالأدوار المطلوبة من كل الفاعلين المتعددين، وهذا ما يعرف بمرحلة الإعلام أو مرحلة الإبلاغ Inform. وفي الوقت نفسه، تعمل الجهات الأكاديمية والبحثية على تزويد الجهات الحكومية المسؤولة بمستوياتها المختلفة بكل ما يخص قطاع الإسكان والعمل على تحديثها بناء على التوجه الجديد إلى تنفيذ أهداف التنمية المستدامة، ولذلك تصبح هذه الجهة أو الجهات الحكومية هي الجهة التي ستقود عملية الانتقال والمرجع الأساسي لكل أصحاب المصلحة والمواطنين، وهي الجهة المخولة بالمراقبة على التطبيق والتقييم وإصدار شهادة المطابقة والإشغال. كما

قبل مؤسسات غير رسمية، ويستند التوجيه إلى الثقة والاتفاقيات الطوعية، في حين تستمد القوة من الدور الذي تمثله في الشبكة، وتجعل عمليات التعلم والتغيير في ثوب غير رسمي ومرن. وأخيرًا، يتكون أسلوب الحوكمة السوقية من مزيج من المؤسسات الرسمية وغير الرسمية، ويستند التوجيه إلى السعر والحوافز الاقتصادية [40]. وتعمل الحوكمة الفوقية على إنتاج حوكمة منسقة من خلال نماذج هجينة فعالة من الحوكمة الهرمية، وحوكمة السوق، والحوكمة الذاتية، وحوكمة الشبكات [40، 39].

أما فيما يتعلق بأهداف التنمية المستدامة، فيمكن أن يكون نهج الحوكمة الفوقية دليلًا مفيدًا للتعامل مع تقاليد الحوكمة المختلفة في مجالات السياسات المتنوعة. في حين قد يخفق نمط واحد فقط من أنماط الحوكمة في تحقيق تلك الأهداف، فعلى سبيل المثال، تهيمن الحوكمة السوقية حاليًا على حوكمة الطاقة في العديد من البلدان وهي مرتبطة بالعمل المناخي الذي غالبًا ما يميل نحو الحلول الهرمية. كما أن سياسة مكافحة تلوث الهواء قائمة على القواعد، في حين أنه غالبًا ما تكون سياسات النقل قائمة على السوق. ويعتمد الاقتصاد الدائري على الابتكار الشبكي التصاعدي، ولكنه يحتاج إلى التناغم مع سياسة الصناعة، التي تضع قواعد الأسواق. ومثال آخر هو الدبلوماسية العلمية [12].

إضافة إلى أن التوازن بين التغيير والاستقرار يُعدّ مثالاً رئيسًا على الخيارات التي يجب اتخاذها ضمن تحديات إدارة تنفيذ أهداف التنمية المستدامة، ففي ظل الحوكمة الهرمية، تكون المرونة منخفضة كشرط للتغيير بينما يكون الحرص على الاستقرار مرتفع، في حين تكون الجاهزية للتغيير عالية عمومًا في ظل الحوكمة السوقية ويُعدّ الابتكار التنافسي ذا قيمة عالية للغاية. كما يمكن لحوكمة الشبكات أن تتسم بالمرونة، تبعًا لمستوى التوافق الذي يُمكن تحقيقه داخل الشبكات أو الجهات المعنية.

إلى القمة، لتعزيز أجنادات التحول، وتقوية الجهات المعنية المحلية وإعطاء الأولوية للتنمية المحلية، وضمان إشراك مجموعة متنوعة من الجهات الفاعلة الرئيسة وأصحاب المصلحة المحليين المشاركين في التنمية المحلية من خلال حوكمة محلية فعالة [37]، من خلال توفير الأطر القانونية المناسبة، والموارد التمويلية، والمهارات التشغيلية اللازمة. ويمكن للصناديق البلدية والبنوك وآليات التمويل المبتكرة أن تسهم في تنوع مصادر التمويل المحلية، وتعزيز المشاريع المتعلقة بالاستدامة [38].

6.4. الحوكمة الفوقية (Meta-governance)

تُعدّ حوكمة التنمية المستدامة تحديًا رئيسًا ومعقدًا، حيث يعتمد تنفيذ أهداف التنمية المستدامة على أدوات معقدة، وشرائط متعددة الأطراف، وإصلاحات مؤسسية. وتتطلب هذه الأهداف جهودًا منسقة من خلال القطاعات ومستويات الحوكمة؛ نظرًا لتناولها قضايا الحد من الفقر، وحماية البيئة، والعدالة الاجتماعية [5]. وتُعرف الحوكمة الفوقية أنها وسيلة لإنتاج درجة معينة من الحوكمة المنسقة، من خلال تصميم وإدارة مجموعات من الحوكمة الهرمية والسوقية والشبكية في آن واحد وعلى مستويات متعددة، لتحقيق أفضل النتائج الممكنة، كما في الجدول (1) [5]. كما تُعرف أنها فن تصميم وإدارة توليفات متنوعة من أنماط الحوكمة، ويُشار إليها أيضًا باسم "حوكمة الحوكمة" [39].

وتختلف الحوكمة الهرمية والشبكية والسوقية اختلافًا ملحوظًا في أبعاد الحوكمة المهمة، مثل: درجة رسمية المؤسسات، ودور الجهات الفاعلة الحكومية وغير الحكومية، حيث تستند العمليات التنظيمية في الحوكمة الهرمية إلى القواعد الرسمية والعقوبات، ويستند التوجيه فيها إلى السلطة، وتستمد القوة من المنصب. أما في حوكمة الشبكات فتُدار إلى حد كبير من

5.4. التعامل مع قضايا التنمية المستدامة على المستوى الإقليمي والمحلي

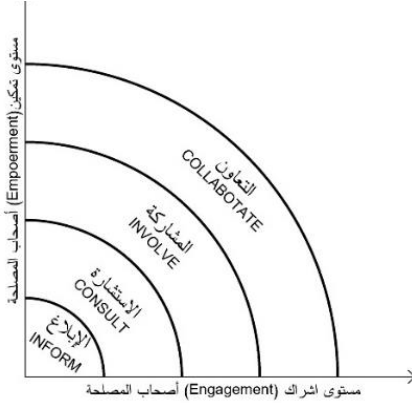
يُعرّف التوطن أنه "عملية تحديد وتنفيذ ورصد الاستراتيجيات على المستوى المحلي لتحقيق أهداف وغايات التنمية المستدامة العالمية والوطنية ودون الوطنية"، حيث يأخذ التوطن في الاعتبار السياقات دون الوطنية لتحقيق خطة التنمية المستدامة لعام 2030، بدءاً من وضع الأهداف والغايات، وصولاً إلى تحديد وسائل التنفيذ واستخدام المؤشرات لقياس التقدم ورصده [2]. وقد شهدت الجهود الدولية ضغوطاً كبيرة، وقُدّمت حجج قوية تدعو إلى أن تكون الحكومات المحلية شريكاً فاعلاً في تنفيذ أجندة التنمية لما بعد عام 2015. إلا أنه لا تزال العديد من الحكومات تواجه العديد من الصعوبات والعقبات، بما في ذلك عدم وضوح استراتيجيات التوطن على المستوى الوطني، ونقص الموارد المالية والبشرية، ومحدودية التنسيق بين مختلف مستويات الحكم، وهي من بين العوامل الرئيسة التي تعوق توطن أهداف التنمية المستدامة. كما لا يحظى دمج الخطط المحلية ضمن استراتيجيات التنمية الوطنية بالدعم الكافي من خلال التمويل اللازم لتحفيز جهود المواءمة وضمان الانتقال إلى مرحلة التنفيذ [37، 38].

كما ينبغي أن يتجاوز فهم هذا المصطلح هياكل الحكم المحلي ضمن نطاق اختصاص بلدية محددة؛ ليشمل جميع الجهات الفاعلة الرئيسة وأصحاب المصلحة، ولا سيما منظمات المجتمع المدني، والزعماء التقليديين، والمنظمات الدينية، والأوساط الأكاديمية، والقطاع الخاص، وغيرهم. وفي هذا الصدد، لا بد من وجود حكومة محلية كفؤة وقوية تتمتع بالقدرة الكافية لتولي زمام المبادرة في جمع جميع الجهات الفاعلة الرئيسة وأصحاب المصلحة لإطلاق مبادرات التنمية المحلية. وذلك عن طريق وضع استراتيجية متكاملة متعددة المستويات ومتعددة الجهات المعنية، تنطلق من القاعدة

المهارات والخبرات اللازمة. وهذا يُبرز الدور المحوري لعملية الإدماج في تحقيق أهداف التنمية المستدامة [3]. إضافة إلى ذلك، عملت العديد من الحكومات على إدخال مجموعة من السياسات المتعلقة بالبيئة المبنية ضمن الأنظمة العمرانية، والإلزام بتطبيق الحد الأدنى من معايير أداء الطاقة ولوائح تخطيط استخدام الأراضي، لمعالجة الإخفاقات في سوق الإسكان التي تعوق تحسين الاستدامة وتطويرها في المساكن الجديدة، التي ينذر فيها تجاوز تطبيق الحد الأدنى من المتطلبات التنظيمية [35]. في حين يعمل تطوير سياسات أو برامج الإسكان المستدام الطوعية أو غير الحكومية في بعض البلدان على سد الفجوة في السوق وتقديم بعض النتائج الناجحة [36].

وفي ضوء ذلك نستطيع القول إن خطة التنمية المستدامة 2030 تؤكد أن تحقيق التحول نحو الاستدامة يتطلب حوكمة مرنة ومؤسسات قادرة على التكيف مع التحديات، من خلال آليات مثل المجالس الوطنية للتنمية المستدامة وبرامج الوسطاء وتصميم رحلة العمل. وتؤدي هذه الآليات دوراً محورياً في تعزيز التنسيق بين الجهات الحكومية وأصحاب المصلحة، وتحسين كفاءة تنفيذ سياسات الإسكان المستدام. كما تُظهر تجارب، مثل: الصفقة الخضراء ومثيلاتها في الدول الأخرى، فاعلية الوسطاء في رفع كفاءة الطاقة ونشر ممارسات البناء المستدام. وتشير الأدبيات إلى أن نجاح التحول يعتمد على الانتقال من الإبلاغ إلى التعاون الكامل مع أصحاب المصلحة، بما يعزز شرعية القرارات وفاعلية تنفيذها. وتؤكد الأمم المتحدة أهمية دمج أهداف التنمية المستدامة في الخطط الوطنية، وتسريع تخصيص الموارد، وتوفير الدعم الفني والسياسي لضمان التنفيذ المتكامل. وفي هذا الإطار، تجمع سياسات الإسكان المستدام بين التشريعات الإلزامية والمبادرات الطوعية لسد فجوات السوق وتعزيز التحول نحو بيئة عمرانية أكثر استدامة.

ويتطلب هذا المستوى من المشاركة بناء شراكات طويلة الأمد قائمة على الثقة المتبادلة وتقاسم المسؤوليات والموارد، الأمر الذي يجعلها عملية أكثر تعقيداً من المراحل السابقة، كما تتطلب استثمارات أكبر من حيث الوقت والموارد والقدرات المؤسسية.



شكل 4. مراحل مشاركة أصحاب المصلحة في مراجعة خطة الانتقال إلى الاستدامة وتنفيذها [35].

ويُظهر هذا التصنيف أن فعالية حوكمة التحول نحو الاستدامة ترتبط بدرجة كبيرة بمدى انتقال الحكومات من النماذج التقليدية القائمة على نقل المعلومات إلى نماذج أكثر تشاركية وتعاونية تتيح إشراك أصحاب المصلحة بصورة حقيقية في مختلف مراحل صنع السياسات وتنفيذها وتقييم نتائجها، بما يعزز شرعية القرارات وفعالية تطبيقها واستدامة آثارها على المدى الطويل. وفي هذا السياق، حددت منظومة الأمم المتحدة ثلاثة عناصر أساسية، هي: الإدماج، والتسريع، ودعم السياسات، لتوفير دعم متماسك وعملي لتنفيذ الخطة. ويشير مصطلح "الإدماج" إلى دمج خطة 2030 بشكل كامل في خطط التنمية المستدامة الوطنية وتخصيص الموارد. ويُعدّ تحسين تخصيص الموارد للمجالات الحيوية، مع مراعاة أوجه التآزر والمفاضلات بين القطاعات، عنصراً رئيساً في التسريع. أما دعم السياسات، فيهدف إلى ضمان التنفيذ الفعال لجميع أهداف التنمية المستدامة بشكل شامل من خلال توفير

• مرحلة الإبلاغ (Inform):

تمثل هذه المرحلة المستوى الأساسي من المشاركة، حيث يكون التواصل أحادي الاتجاه بين الحكومة وأصحاب المصلحة. وتقتصر مهمة الجهات الحكومية على تزويد أصحاب المصلحة بالمعلومات المتعلقة بخطط التحول وآليات تنفيذها ومراجعتها، دون الحاجة إلى تلقي ملاحظات أو إجراء حوار متبادل معهم.

• مرحلة الاستشارة (Consult):

في هذه المرحلة تعرض الحكومات الخطط والبدائل والخيارات المقترحة لتنفيذ خطة التحول ومراجعتها، مع إتاحة الفرصة لأصحاب المصلحة لتقديم آرائهم وملاحظاتهم وتعليقاتهم بشأنها. وعلى الرغم من أن عملية صنع القرار تظل بيد الجهات الحكومية، فإن المدخلات المقدمة من أصحاب المصلحة تمثل مصدراً مهماً لتحسين جودة السياسات والإجراءات المقترحة.

• مرحلة المشاركة (Involve):

تتسم هذه المرحلة بارتفاع مستوى انخراط أصحاب المصلحة في عمليات التخطيط والتنفيذ، حيث يشاركون بصورة مباشرة وهادفة في تطوير الخطط والبدائل ومناقشة الإجراءات المرتبطة بتنفيذ خطة التحول ومراجعتها. ومع ذلك، فإن هذه المشاركة لا تصل إلى مستوى تقاسم السلطة الرسمية في اتخاذ القرار؛ إذ تبقى المسؤولية النهائية للقرار لدى الجهات الحكومية.

• مرحلة التعاون (Collaborate):

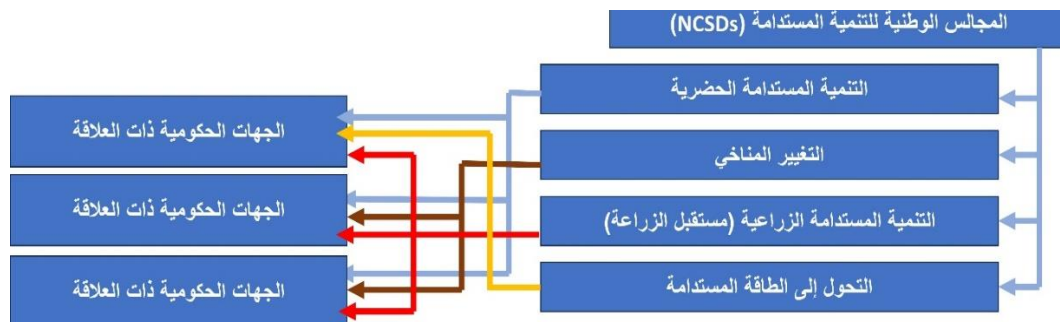
تمثل هذه المرحلة أعلى مستويات المشاركة، حيث تشارك الحكومات وأصحاب المصلحة في تصميم خطط التحول وتنفيذها ومراجعتها بصورة مشتركة.

تعزيز الشفافية وتشجيع المصنعين والموردين على اعتماد منتجاتهم المستدامة وتطويرها وإدراجها ضمن قواعد البيانات المعتمدة [33].

وتتسم هذه البرامج بقدرتها على العمل في مختلف مستويات الحوكمة الوطنية والإقليمية والمحلية، الأمر الذي يعزز التكامل المؤسسي الرأسي والأفقي بين الجهات الفاعلة المختلفة. كما يسهم تطبيقها في دعم عمليات التحول نحو الإسكان الميسر والمستدام من خلال تحقيق التكامل بين المبادرات الموجهة من الأعلى إلى الأسفل (Top-Down) والمبادرات المنطلقة من القاعدة المجتمعية إلى الأعلى (Bottom-Up)، مع توفير آليات مستمرة للتغذية الراجعة والتعلم المؤسسي إضافة إلى ذلك، يسهم تعدد الفئات المستفيدة من هذه البرامج في تعزيز الوعي المجتمعي ونشر المعرفة المتعلقة بالاستدامة بين مختلف أصحاب المصلحة، بما في ذلك الجهات الحكومية والقطاع الخاص ومؤسسات المجتمع المدني والمواطنين، وذلك من خلال إتاحة فرص التفاعل المباشر مع الخبراء والمتخصصين وتبادل المعرفة والخبرات بصورة مستمرة. ولضمان المشاركة الفاعلة لأصحاب المصلحة في إعداد خطط التحول ومراجعتها وتنفيذها نحو الاستدامة، حددت دراسة صادرة عن معهد الأمم المتحدة للتدريب والبحث (UNITAR) وإدارة الأمم المتحدة للشؤون الاقتصادية والاجتماعية إطاراً تدريجياً يتكون من أربعة مستويات لمشاركة الجهات الفاعلة وأصحاب المصلحة في عمليات التخطيط والتنفيذ والمراجعة [34]، كما في الشكل (4) ويعكس هذا الإطار تطور العلاقة بين الحكومات وأصحاب المصلحة من مجرد تبادل المعلومات إلى الشراكة الفعلية في صنع القرار، وذلك على النحو الآتي:

الطاقة. ويتميز البرنامج بتوفير رحلة إرشادية متكاملة للمستفيد تبدأ من مرحلة التقييم الأولي للاحتياجات، مروراً بتقديم المشورة الفنية، وانتهاءً باختيار المقاولين وتنفيذ الأعمال، مع التركيز على إزالة حالات الغموض وعدم اليقين التي قد تواجه المستفيدين. كما يشترط البرنامج حصول المقاولين ومقدمي الخدمات على اعتماد رسمي لتنفيذ أعمال الصنفية الخضراء، بهدف تعزيز الثقة وضمان جودة الخدمات المقدمة [32].

ومن ناحية أخرى، يمثل برنامج "استدامة" (Estidama) في دولة الإمارات العربية المتحدة نموذجاً متقدماً لدور الوسطاء في نشر ممارسات البناء المستدام وتعزيز مشاركة أصحاب المصلحة. ويعتمد البرنامج على بناء قنوات اتصال مباشرة مع مختلف الفاعلين، بما في ذلك المطورون والموردون والمهندسون المعماريون والاستشاريون والمستخدمون النهائيون، بهدف رفع مستوى الوعي بالممارسات المستدامة وتعزيز تبنيها. كما يوفر البرنامج برامج تدريب وتأهيل مهني، ويشجع المنافسة بين الموردين والمطورين من خلال حوافز مادية ومعنوية متنوعة، تشمل مراقبة تكاليف مواد البناء المستدامة، وإعداد المواد التوعوية والتسويقية، وتنظيم الفعاليات والأنشطة التي تستهدف رفع وعي المجتمع بالمنافع الاقتصادية والبيئية للمباني المستدامة. ويوفر أيضاً آليات دعم متخصصة للعاملين في القطاع من خلال برامج الاعتماد المهني وخطوط التواصل المباشر مع فرق الدعم الفني، إضافة إلى إنشاء قنوات خاصة بموردي المنتجات والأنظمة المستدامة لتقييم واعتماد منتجاتهم على وفق إجراءات فنية صارمة. ويدعم ذلك بإنشاء مكاتب رقمية مفتوحة تتيح معلومات تفصيلية حول المنتجات والأنظمة المعتمدة، الأمر الذي يسهم في

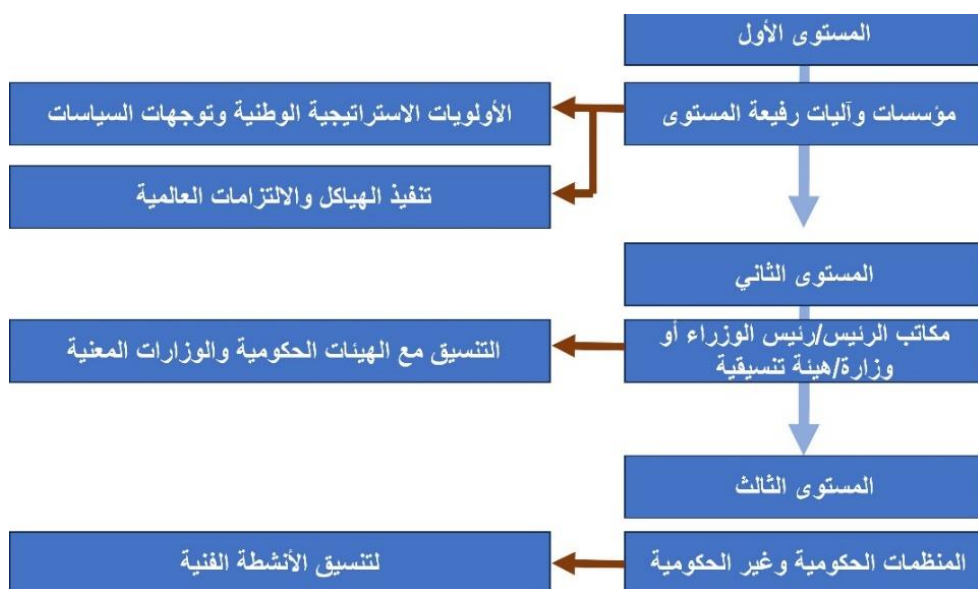


شكل 3. طريقة الربط بين أهداف التنمية المستدامة والجهات الحكومية ذات العلاقة عن طريق المجالس الوطنية للتنمية المستدامة.

عملية اتخاذ القرار. ويتمثل النمط الأول في تصميم رحلة العميل الخاصة (Private Customer-Journey Design)، وينطلق من اعتبار أصحاب المساكن عملاء يفكرون إلى الخبرة الفنية ويعتمدون بصورة أساسية على خبرة الوسيط وتوجيهاته. أما النمط الثاني فهو تصميم رحلة العميل المدنية (Civic Customer-Journey Design)، ويتعامل مع أصحاب المساكن بوصفهم مواطنين مشاركين يعتمدون بدرجة كبيرة على شبكاتهم الاجتماعية وجيرانهم كمصادر موثوقة للمعلومات والخدمات، مع وجود دور غير مباشر للوسيط. في حين يتمثل النمط الثالث في تصميم رحلة العميل العامة (Public Customer-Journey Design)، ويفترض أن أصحاب المساكن يتمتعون بقدر عالٍ من المعرفة والقدرة على اتخاذ القرارات، ويثقون بالتقنيات والمنتجات المتاحة في السوق. وتُعد مبادرة "الصفقة الخضراء" في المملكة المتحدة (UK Green Deal) أحد أبرز الأمثلة التطبيقية على توظيف مفهوم رحلة العميل في تعزيز الاستدامة السكنية، فقد صُمم البرنامج بهدف رفع كفاءة الطاقة في المساكن من خلال تشجيع الأسر على تبني مجموعة من إجراءات تحسين كفاءة الطاقة، مقابل الحصول على تمويل يُسدّد لاحقاً من خلال الوفورات المتحققة في استهلاك

وتُعرّف برامج الوسيط وتصميم رحلة العميل (Intermediaries and Customer-Journey Design) في الأدبيات أنها منهجية تهدف إلى تنظيم المسار الذي يمر به المستفيد للوصول إلى خدمة أو هدف محدد، من خلال سلسلة مترابطة من التفاعلات التي قد تشمل جهة أو أكثر من مقدمي الخدمات [28]. وتمثل رحلة العميل مجموعة من نقاط الاتصال والتفاعل بين الجهات الحكومية من جهة، والمستفيدين ومقدمي الخدمات من جهة أخرى، بما يضمن وضوح الإجراءات وسهولة الوصول إلى الخدمات المطلوبة [29]. وفي هذا السياق، يضطلع الوسيط بمجموعة من الوظائف الأساسية التي تسهم في تحسين كفاءة عمليات التحول والتطوير، وتمثل أبرزها في تقييم الاستراتيجيات طويلة المدى الأكثر ملاءمة لأصحاب المساكن، وتحديد الموردين المناسبين للمنتجات والتقنيات المطلوبة، إضافة إلى تسهيل التوصل إلى تفاهات واتفاقات واضحة بين الأطراف المعنية بشأن الأدوار والمسؤوليات خلال مراحل التنفيذ والتطوير [30، 31].

وتشير الأدبيات إلى وجود ثلاثة أنماط رئيسية لتصميم رحلة العميل، تختلف باختلاف طبيعة العلاقة بين المستفيد والوسيط ومستوى مشاركة المستفيد في



شكل 2. النظام متعدد المستويات في الهياكل المؤسسية لتنفيذ أهداف التنمية المستدامة.

استشارية واستراتيجية تهدف إلى دعم الحكومات في تحليل القضايا التنموية، وصياغة وتطوير السياسات والاستراتيجيات ذات الصلة، ومتابعة تنفيذها وتقييم نتائجها [23]. وتستند هذه المجالس إلى نماذج حوكمة تشاركية ومتعددة المستويات تتيح إشراك مختلف الأطراف المعنية في عمليات صنع القرار، مما يعزز قدرتها على الإسهام في تنفيذ استراتيجيات التنمية الوطنية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، كما في الشكل (3). كما أن تمثيل القيادات الحكومية بمختلف قطاعاتها العليا داخل هذه المجالس يسهم في تعزيز التكامل الأفقي والرأسي بين السياسات والبرامج التنموية، ويضمن إدماج أهداف الاستدامة ضمن مختلف مراحل دورة السياسة العامة. ومن ناحية أخرى، فإن الروابط المؤسسية المباشرة بين اللجان المتخصصة وصناع القرار الرئيسيين تعد عاملاً حاسماً في رفع كفاءة التنسيق، وتحسين جودة القرارات، وزيادة فاعلية تنفيذ السياسات والاستراتيجيات المرتبطة بالتنمية المستدامة [27].

4.4. التجارب المؤسسية في مجال التكيف مع الانتقال إلى الاستدامة في الإسكان

تؤكد خطة التنمية المستدامة لعام 2030 ضرورة اتباع نهج شامل ومحلي من أجل الاستفادة الكاملة من الإمكانيات المتبادلة للبرامج العالمية والعمليات المحلية بوصفها عوامل محفزة للتغيير [2]. وللتعامل مع متطلبات الانتقال إلى الاستدامة يجب أن تكون أنظمة الإدارة الحضرية قابلة للتكيف مع حالات عدم اليقين والضغوط الناشئة على النظم الراهنة، وذلك عن طريق الاهتمام بتطوير المؤسسات ووجود مرونة في عمليات التغيير أو التكيف المؤسسي [13]. وتعد المجالس الوطنية للتنمية المستدامة، وبرامج الوسطاء ونظام رحلة العمل، وبرامج الصفقة الخضراء، وقنوات الاتصال لبرامج تقييم الاستدامة، أمثلة على التغيير المؤسسي للتكيف مع عمليات الانتقال إلى الاستدامة.

وتمثل المجالس الوطنية للتنمية المستدامة (NCSDs) إحدى الآليات المؤسسية الرئيسة لتعزيز حوكمة التنمية المستدامة، حيث تضطلع بوظائف

الخاص، والنقابات العمالية، والمجالس البلدية، والمؤسسات الأكاديمية، وغيرها.

إضافة إلى ذلك، ولتعزيز "توطين" خطة التنمية المستدامة لعام 2030، يُسَلَّم على نطاق واسع بضرورة التكامل الرأسي الفعال، ولذلك أنشأت دول عديدة منظمات تربط بين الإدارات الوطنية ودون الوطنية (الإقليمية والمحافظاتية والبلدية) لزيادة قدرتها على تنفيذ أهداف التنمية المستدامة. وعلى الرغم من المحاولات العديدة لتبني مبدأ التشاور بين الجهات الفاعلة، فإن عمليات التشاور وأساليب الشراكة المحددة مسبقاً بشكل واضح، تكون في الغالب محدودة أو حتى معدومة [2]، إضافة إلى تشتت تنفيذ أهداف التنمية المستدامة بين العديد من المنظمات نتيجة غياب التنسيق والتواصل بين الهيئات الحكومية المعنية بالتنمية المستدامة. فعلى سبيل المثال، أوضحت الاستراتيجية الوطنية الثانية للتنمية في قطر (2018-2022) أن ضعف التكامل والتعاون القطاعي يُعدّ تحدياً مؤسسياً بالغ الأهمية في قطر، ويُعتبر عائقاً كبيراً أمام التقدم في التنفيذ؛ نظراً لغياب ثقافة التخطيط والعمل الجماعي، فضلاً عن التفكير المنعزل [3]. كما أن الاستعراض الطوعي الوطني الأول للمملكة العربية السعودية في المؤتمر السياسي رفيع المستوى لعام 2018 المنعقد في نيويورك لمتابعة مراحل العمل على تطبيق مبادئ التنمية المستدامة 2030، تضمن أبرز التحديات التي تواجه المملكة في تطبيق مبادئ الاستدامة، وهي: تعزيز أهداف التنمية المستدامة على المستوى المحلي، والتنسيق بين الأطراف والقطاعات المتعددة وأهمية اتباعها منهج موحد شامل، والبناء على الأطر المؤسسية القائمة، وتوافر البيانات والقدرات الإحصائية [8]. ونتيجة لعدم وضوح التوجه العام للعديد من القطاعات الحكومية (مثل: النقل، والإنتاج الزراعي، والأمن الغذائي)، تباطأت الأنشطة والمشاريع المتعلقة بأهداف التنمية المستدامة [3].

هياكل الحكم متعددة المستويات: المحافظات والمقاطعات والبلديات في المناطق الحضرية، والمحافظات والقرى في المناطق الريفية. وينعكس هذا النظام متعدد المستويات في الهياكل المؤسسية التي تُنشأ في كل دولة لتنفيذ أهداف التنمية المستدامة [2].

وقد عملت العديد من الدول العربية بالفعل على تفعيل عدد من المؤسسات والآليات رفيعة المستوى لاتخاذ خيارات سياسية بشأن تحقيق أهداف خطة التنمية المستدامة لعام 2030 [3]، واعتمدت أغلب الدول نهجاً ثلاثي المستويات، كما في الشكل (2)، لضمان تطبيق أهداف التنمية المستدامة وتنسيقها وتمازجها؛ إذ يركز المستوى الأول عادةً على الأولويات الاستراتيجية الوطنية وتوجهات السياسات، فضلاً عن تنفيذ الهياكل والالتزامات العالمية، وتشترك جميع الدول تقريباً في آليات متابعة وتنفيذ أهداف التنمية المستدامة نفسها في هذا المستوى عن طريق مجموعة من المجالس أو الهيئات، مثل: مجلس وزاري رفيع المستوى، أو لجنة تنسيق وطنية، أو لجنة وطنية للتنمية المستدامة، وجميعها مُشكّلة من ممثلين على مستوى الوزارات المختلفة، وعادةً ما ترأسها وزارة واحدة على وجه الخصوص، وغالباً ما تكون الوزارة المسؤولة عن التخطيط العمراني أو الإقليمي [2]. وغالباً ما يتولى المستوى الثاني التنسيق مع الهيئات الحكومية والوزارات المعنية لتعزيز قدراتها على تحقيق أهداف التنمية المستدامة، وتشارك مكاتب الرئيس/ رئيس الوزراء أو وزارة/ هيئة تنسيقية تابعة لهما مباشرة، إضافة إلى مجالس رفيعة المستوى، في تنظيم المستويين الأول والثاني من صنع القرار لضمان تطبيق الدول لخطة التنمية المستدامة لعام 2030 بشكل متسق. وخصص المستوى الثالث لتنسيق الأنشطة الفنية، بما في ذلك المنظمات الحكومية وغير الحكومية، مثل: منظمات المجتمع المدني، ومجموعات التنمية المجتمعية، والقطاع

2.4. الفاعلون المتعددون في قطاع الإسكان وأدوارهم في عملية تنفيذ أهداف التنمية المستدامة

من المؤكد أنه لا يمكن لمؤسسة واحدة مواجهة تحديات التنمية المستدامة أو تحديات الإسكان بوجه عام، وإنما يتحقق الانتقال بالعمل على بناء منظومة تشمل جميع الفاعلين من الحكومات ومنظمات المجتمع المدني والجهات الخاصة، بحيث تعمل هذه المنظومة بشكل متسق ومتكامل قياساً بقدرتها على معالجة تحديات التنمية المستدامة الأكثر إلحاحاً. لذلك، فمن الأهمية بمكان تعزيز الإطار المؤسسي للتنمية المستدامة على جميع المستويات (الوطنية، والإقليمية، والمحلية)، بما يحقق دمج الأبعاد الثلاثة للتنمية المستدامة (الاقتصادية، والاجتماعية، والبيئية) بطريقة متوازنة، والاستجابة للتحديات الحالية والمستقبلية، وسد الفجوات في تنفيذ جدول أعمال التنمية المستدامة [23].

يتسم قطاع الإسكان بتعدد الجهات الفاعلة وتنوع أدوارها، حيث يمكن تصنيفها إلى ثلاثة قطاعات رئيسة تتمثل في القطاع الحكومي، والقطاع الخاص، ومؤسسات المجتمع المدني. ويتولى القطاع الحكومي مسؤوليات التخطيط الاستراتيجي والتنظيم والتشريع وتخصيص الموارد على المستويات الوطنية والإقليمية والمحلية، كما يشمل المؤسسات البحثية والخبراء الذين يساهمون في إنتاج المعرفة وتقديم الدعم العلمي والفني لصانعي السياسات. أما القطاع الخاص فيمثل المحرك الرئيس للاستثمار والابتكار والتنفيذ، ويضم مختلف الجهات المرتبطة بسوق الإسكان والبناء، بما في ذلك شركات التطوير العقاري والمكاتب الاستشارية وشركات المقاولات ومصنعي وموردي مواد وتقنيات البناء. في حين تؤدي مؤسسات المجتمع المدني دوراً داعماً يتمثل في تعزيز المشاركة المجتمعية والمساءلة وتوفير المعارف المحلية والدفاع عن مصالح الفئات المختلفة، فضلاً عن إسهامها في تقديم بعض الخدمات التنموية

ذات الصلة [5، 24] ومن منظور التحول نحو الاستدامة، يمكن تحليل الجهات الفاعلة على وفق أطر متعددة تشمل منظور المستويات المتعددة، والتصنيف المؤسسي، وتصنيف الحوكمة متعدد المستويات، بما يتيح فهماً أشمل لديناميكيات التفاعل والتنسيق بين مختلف الأطراف ودورها في إحداث التحولات المطلوبة نحو أنظمة إسكان مستدامة [25].

إضافة إلى الجهات الفاعلة الرئيسة، تؤدي الجهات الفاعلة الوسيطة (Intermediaries) دوراً استراتيجياً في دعم عمليات التحول المؤسسي والتنمية المستدامة، من خلال تسهيل التفاعل والتنسيق بين مختلف الأطراف المشاركة في العملية التنموية. وتنوع هذه الجهات لتشمل الوكالات الحكومية وشبه الحكومية، والمؤسسات المتخصصة التي تعمل على مستويات متعددة، حيث تضطلع بوظائف عديدة، مثل: التنسيق وتبادل المعرفة بين المنتجين والمستهلكين، وبين الجهات التنظيمية والتمويلية، إلى جانب أدوارها في الإدارة، وتقديم الاستشارات، والمناصرة وكسب التأييد، وبناء القدرات، وتطوير شبكات التعاون والشراكات [26] وفي هذا الإطار، يمثل إشراك المجتمع المدني والقطاع الخاص والمؤسسات الخيرية والأكاديمية ركيزة أساسية لحوكمة التنمية المستدامة؛ لما يوفره من تنوع في الخبرات والرؤى والمعارف، الأمر الذي يساهم في تحسين جودة التحليل وصنع السياسات، ويعزز من فاعلية التدخلات التنموية وقدرتها على الاستجابة للتحديات الحالية والمستقبلية [23].

3.4. تجارب الدول العربية في تكييف أطرها المؤسسية لتطبيق أهداف التنمية المستدامة

تشارك الدول العربية في تقاليد أنظمة الحكم بدرجة عالية من المركزية، وينطبق هذا أيضاً على مختلف مستويات الحكم المحلي التي تؤثر حتماً في عملية تنفيذ أهداف التنمية المستدامة. وتشابه جميع دول المنطقة في

للمدن والحكومات الوطنية بتقليص حجم البنية التحتية المطلوبة [19].

أما فيما يخص الهدف الثاني عشر من أهداف التنمية المستدامة، فيسهم التصميم والبناء المستدامان، القائمان على كفاءة الطاقة واستخدام المواد المحلية والمواد المعاد تدويرها والمتجددة، في خفض تكاليف دورة الحياة، والبصمة الكربونية، والحد من التدهور البيئي. كما يمكن لإعادة التدوير وإعادة الاستخدام في قطاع البناء أن يقللا من استخراج المواد الخام ومخلفات البناء [4]، ويساعد تطبيق أنماط الاستهلاك والإنتاج المستدامة على إنجاز خطط التنمية الشاملة، وخفض التكاليف الاقتصادية والبيئية والاجتماعية مستقبلاً، وتوطيد القدرة التنافسية الاقتصادية، وخفض حدة الفقر.

وفي جانب مواجهة التغيرات المناخية في الهدف الثالث عشر من أهداف التنمية المستدامة، يعمل تصميم الأحياء السكنية المستدامة على المحافظة على العناصر الطبيعية والبيئة الإيكولوجية سواء من مسطحات مائية أو غيرها من العناصر الطبيعية الأخرى، ويسهم بناء المساكن والمجتمعات القادرة على الصمود في الحد من المخاطر، وتعزيز الاستعداد، وتحسين القدرة على مواجهة الصدمات البيئية [4]. وتُعدّ السواحل مناطق جاذبة للتنمية الحضرية؛ لما توفره غالباً من فرص للأنشطة الاقتصادية وتوافر الموارد الطبيعية، إلا أن المستوطنات الساحلية تُمثل عاملاً رئيساً في زيادة الضغوط البيئية على طول منطقة التماس بين الساحل والبحر. وقد تنشأ نزاعات عندما تحدّ حماية المحيطات والسواحل من خيارات الإسكان أو البنية التحتية أو تطوير وسائل النقل، ولكن تحقيق الهدف الرابع عشر من أهداف التنمية المستدامة يُعزّز أيضاً التخطيط الحضري المستدام والمستوطنات الساحلية القادرة على الصمود [19].

ويمكن للأساليب المطبقة في التدخلات التي تعالج الأحياء الفقيرة والمستوطنات العشوائية والإسكان غير الميسور أن تسهم في التحسين الشامل للتخطيط الحضري والحوكمة، حيث يعزز ضمان حيالة الأراضي والاعتراف بالمستوطنات العشوائية مشاركة الفئات الضعيفة في صنع القرار، في حين يسهم تطوير الأحياء الفقيرة في الحد من العنف والأنشطة الإجرامية الأخرى، وهذا يتقاطع بشكل كبير مع الهدف السادس عشر من أهداف التنمية المستدامة. وفي آخر هدف من أهداف التنمية المستدامة (الهدف السابع عشر)، يسهم تمكين مشاركة أصحاب المصلحة والعمليات التشاركية في تطوير سياسات الإسكان والأراضي، بحيث يمكن للشراكات الشاملة بين الأفراد والقطاعين العام والخاص، من خلال مبادرات تركز على الإسكان، أن تضمن مدناً مستدامة وقادرة على الصمود [4].

يتضح مما سبق وجود ترابط بين تنفيذ الإسكان الميسر والمستدام مع 15 هدفاً من أهداف التنمية المستدامة تتمثل في ارتباط قطاع الإسكان ارتباطاً مباشراً وغير مباشر بمعظم أهداف التنمية المستدامة؛ إذ يسهم في الحد من الفقر والجوع من خلال توفير السكن اللائق وتعزيز الأمن الغذائي ورفع مستوى المعيشة. كما يُحسّن الصحة العامة والتعليم وإدارة المياه والطاقة من خلال توفير بيئات سكنية آمنة وكفؤة ومستدامة. ويُعد الإسكان محركاً للنمو الاقتصادي والابتكار؛ لما يوفره من فرص عمل، ويعزز تطوير البنية التحتية والتقنيات المستدامة. كما يسهم في الحد من عدم المساواة، وتحقيق التنمية الحضرية المستدامة، وخفض الآثار البيئية من خلال كفاءة استخدام الموارد والطاقة والتكيف مع تغير المناخ. إضافة إلى ذلك، يدعم الإسكان الحوكمة الرشيدة والشراكات الفاعلة من خلال إشراك مختلف أصحاب المصلحة في صياغة وتنفيذ سياسات إسكانية مستدامة تحقق مدناً أكثر شمولاً وقدرة على الصمود.

وفتح أسواق جديدة للعمل في شتى المجالات من توفير المعدات والأجهزة ومواد البناء وتوفير فرص وتشجيع الاقتصاد بوجه عام [11، 19].

ويسهم الوصول إلى الإسكان الميسر والمستدام من خلال الظروف المواتية وتحسين الأحياء الفقيرة، التي تُطور بطريقة شاملة ومتكاملة، في الحد من أوجه عدم المساواة الاجتماعية التي تضمنها الهدف العاشر من أهداف التنمية المستدامة. كما يسهم في تعزيز الدفع نحو التوسع الحضري المستدام في العديد من الاقتصادات النامية. إن المراكز الحضرية الذكية والمنتجة في المستقبل ستكون تلك التي تحول الأحياء الفقيرة أو المناطق الحضرية من الإقصاء الاجتماعي الاقتصادي إلى أحياء نابضة بالحياة تندمج بالكامل في نسيج المدينة ونظم الإدارة الحضرية، بدلاً من البقاء كجزر واسعة غير رسمية تعاني من الاستبعاد الاجتماعي وسوء الإسكان والتخلف [4، 21، 22].

ويعد الهدف الحادي عشر من أهداف التنمية المستدامة ذا بعد حضري وأكثر ترابطاً مع قضايا التخطيط الحضري بوجه عام ومع قضايا الإسكان بوجه خاص. حيث يُعدّ توفير السكن اللائق أساسياً لتحقيق مدن شاملة وآمنة وقادرة على الصمود ومستدامة، ويُسهم وضع السكن في صميم الاهتمام في بناء مدن أفضل؛ نظراً لتأثيره التحويلي على النتائج الاجتماعية والاقتصادية والبيئية. ويُعدّ تحسين القدرة على تحمل تكاليف السكن شرطاً أساسياً للتقدم نحو مدن ومجتمعات مستدامة [4، 10]. كما تُتيح العلاقة بين المباني والبنية التحتية فرصاً واضحة لتحقيق فوائد بيئية واقتصادية، لا سيما في الدول النامية حيث لا تزال معظم البنى التحتية قيد الإنشاء. وأخيراً، يسمح التصميم الذكي والبناء المسؤول بيئياً للمباني السكنية والتجارية

وأما فيما يخص الهدف السادس من أهداف التنمية المستدامة، فإن شح المياه وسوء نوعيتها وقصور الصرف الصحي هي عوامل تؤثر سلباً على الأمن الغذائي واختيارات سبل المعيشة بالنسبة للأسر الفقيرة في مختلف أنحاء العالم [4]. وفي جانب ضمان حصول الجميع على طاقة حديثة وموثوقة ومستدامة وبأسعار معقولة في الهدف السابع من أهداف التنمية، تُعدّ المباني مسؤولة عن 40٪ من استهلاك الطاقة و36٪ من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الاتحاد الأوروبي، ومن خلال التجديد ومشاريع الإسكان الجديدة، يمكن المساهمة في اقتصاد منخفض الكربون واستقلال الطاقة واستخدامها بكفاءة أكبر.

وأما فيما يخص الهدف الثامن من أهداف التنمية المستدامة الذي يركز على تعزيز النمو الاقتصادي والعمل اللائق للجميع، فإن قطاع الإسكان يدعم النمو الاقتصادي من خلال خلق فرص عمل مرتبطة بصناعة البناء ويحافظ عليها في المجتمعات التي تُبنى فيها المساكن من جميع مستويات المهارة، وزيادة الطلب على المواد والخدمات، حيث يتمتع قطاع الإسكان بتأثيرات مضاعفة قد لا تقل أهمية عن قطاع التصنيع نفسه [19]. وفي الجانب التنموي، فإن مشاريع الإسكان التنموي تعمل على تنمية الأسر الفقيرة وتطويرها عن طريق توفير المسكن والبيئة المحفزة للعمل، فضلاً عن خلق فرص عمل متوازنة جنباً إلى جنب مع توفير السكن [20].

وفي قطاع الإسكان، يتقاطع الهدف الثامن مع الهدف التاسع من أهداف التنمية المستدامة؛ إذ يركز على بناء بنية تحتية مرنة، وتعزيز التصنيع الشامل والمستدام، ودعم الابتكار في البنية الأساسية، مثل: النقل، والري، والطاقة، وتكنولوجيا المعلومات، والاتصالات. ويتمثل هذا التقاطع في إسهام الإسكان في تطوير الممارسات والتقنيات اللازمة لدعم دمج المباني المستدامة في القطاع السكني الأوسع، ومن ثم دعم أسواق المباني المستدامة

1.4. أهداف التنمية المستدامة ذات العلاقة بقطاع الإسكان

تصنف العديد من الدول من لا يملكون المسكن (سواء بالتملك أو بالإيجار) من ضمن فئة الفقراء المستحقين للدعم؛ إذ يساعد الدعم المقدم لتملك المسكن على الحصول على سكن لائق منخفض التكلفة وزيادة الدخل المتاح، ومنع الحرمان المادي وتحسين حوافز العمل، ومن ثم الحد من الفقر، كما أن توفير المسكن للأسر الفقيرة هو الملاذ الآمن الذي يعطيهم الفرصة لاكتساب باقي احتياجاتهم من المأكل والمشرب والعمل، إضافة إلى أنه لا يمكن القضاء على الفقر والجوع دون ضمان الأمن الغذائي للجميع [18]. إن كل ما سبق يتقاطع مع الهدفين الأول والثاني من أهداف التنمية المستدامة التي تركز على القضاء على الفقر والقضاء على الجوع، وتحقيق الأمن الغذائي، وتحسين التغذية، وتعزيز الزراعة المستدامة.

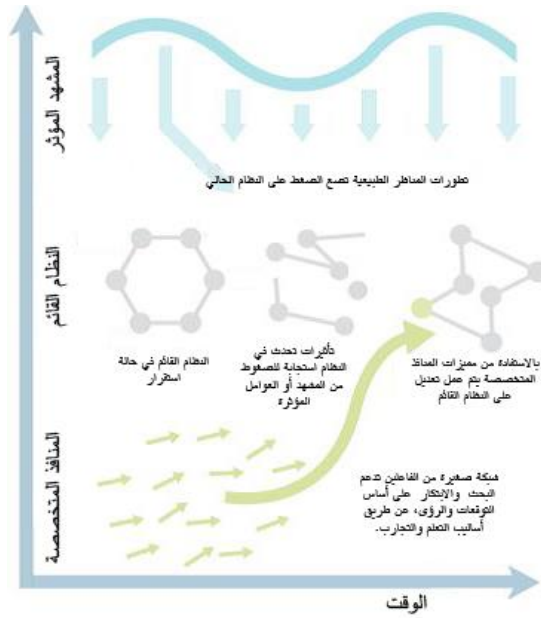
أما فيما يخص الهدف الثالث الذي يركز على ضمان حياة صحية وتعزيز الرفاهية للجميع في جميع الأعمار، فإن المدن تُشكل مركزاً لجزء متزايد من سكان العالم، ولها تأثير بالغ على الصحة البدنية والنفسية، حيث يدعم التخطيط الحضري المستدام والسكن اللائق والميسور الصحة النفسية، ويُسهّل الوصول إلى الخدمات الصحية، ويُقلّل من الأمراض غير المعدية، ويُحدّ من الآثار البيئية [19]. وفي جانب ضمان تعليم شامل وعادل وعالي الجودة، وتعزيز فرص التعلم مدى الحياة للجميع، وهو ما أكدّه الهدف الرابع من أهداف التنمية المستدامة، توفر الظروف المعيشية الملائمة إمكانية الوصول إلى التعليم وتحسين نتائجه، كما تسهم برامج التدريب وتعزيز القدرات في مجال الإسكان في زيادة المعرفة المتعلقة بالتنمية المستدامة بشتى الطرق، بما في ذلك التأهب للكوارث والصمود والبناء المسؤول.

والاقتصادية والقانونية والثقافية تمثل مكونات مؤسسية أساسية تؤثر في مسارات التحول والاستدامة [16].

وتتمتع الجهات الفاعلة في عملية التحول بأساليب حوكمة مختلفة؛ إذ تتمتع الجهات الحكومية بوجه عام بأسلوب حوكمة هرمي (Hierarchical Governance)، في حين تتمتع الجهات الخاصة بأسلوب الحوكمة الشبكية (Network Governance) أو أسلوب حوكمة السوق (Market Governance). ونظراً لتعدد القضايا البيئية والاجتماعية والاقتصادية والثقافية، التي تُعالج في عملية التحول إلى مساكن ميسرة ومستدامة، واشتراك مجموعة من الجهات الفاعلة في عملية التطوير التي تختلف في أسلوب حوكمتها الداخلية، فإن الحوكمة "التقليدية" لكل جهة من الجهات الفاعلة على حدة تصبح غير فعالة، لعدم قدرة تلك الجهات على معالجة كل القضايا ذات العلاقة بتيسير واستدامة الإسكان بناءً على أسلوب حوكمتها التقليدي، إضافة إلى أن الجمع بين مجموعة من الجهات الفاعلة التي لديها أساليب حوكمة مختلفة في إطار مؤسسي مبني على الشراكة والتعاون يستلزم أيضاً وجود آلية لتكامل هذه الأساليب المختلفة. وهنا يبرز دور الحوكمة الفوقية التي تعرف أنها القدرة على التنسيق الاستراتيجي لإنشاء تكامل من أنماط مختلفة من الحوكمة (مثل: حوكمة التسلسل الهرمي، وحوكمة السوق، وحوكمة الشبكات، وحوكمة التنظيم الذاتي) حول قضية محددة. لتعمل هذه الأنماط معاً بطريقة معينة، لحالة معينة، وتسمح بحوكمة مختلفة على مستويات مختلفة، من خلال تحديد الاحتياجات ودعم الحلول نحو الاستدامة الخاصة بالسياق [12]. وتعمل الحوكمة الفوقية على إدارة التعددية بهدف تحقيق المزيد من الاتساق في إدارة أي قضية ذات علاقة بالتحول إلى الاستدامة للتصدي بشكل مشترك للتحديات التي تواجهها الجهات التنظيمية ذات العلاقة وتحقيق تماسك أكبر بين جهودهم [17].

حين تركز المؤسسة الخطابية على دور الأفكار والخطابات في إحداث التغيير المؤسسي والسياسي. ويوضح نموذج ويليامسون أن المؤسسات تعمل من خلال ثلاثة مستويات مترابطة هي: المؤسسات غير الرسمية المتجذرة في الثقافة، والبيئة المؤسسية الرسمية، والهياكل التنظيمية التي تنظم المعاملات الاقتصادية والاجتماعية.

تُميز الأدبيات المؤسسية بين ثلاث مدارس رئيسية هي: المؤسسة القائمة على الاختيار العقلاني، والمؤسسة الاجتماعية، والمؤسسة الخطابية. تتطلق المؤسسة القائمة على الاختيار العقلاني من افتراض أن المؤسسات تؤدي دوراً في خفض تكاليف المعاملات وتنظيم التفاعلات. أما المؤسسة الاجتماعية فتؤكد أهمية الثقافة والقيم والأعراف في تشكيل المؤسسات وسلوك الفاعلين، في



شكل 1. المستويات التي تحدث من خلالها عملية التحول [15].

القائمة بالكامل. كما تُعد الكفاءة التكيفية، التي تعكس قدرة المجتمع على التعلم والابتكار والتجريب، عاملاً أساسياً في نجاح التحولات المؤسسية، وترتبط ارتباطاً وثيقاً بطبيعة الثقافة السياسية والانفتاح المؤسسي، حيث تُظهر الأنظمة المفتوحة قدرة أكبر على التكيف مقارنةً بالأنظمة المقيدة. وفي سياق التحولات الاجتماعية التقنية، تُسهم الأدبيات المؤسسية، ولا سيما المؤسسة التنظيمية والاجتماعية، في تفسير ديناميكيات التحول من خلال التركيز على المجالات التنظيمية والجهات الفاعلة. إلا أن معظم الدراسات لا تزال تعالج المشهد الاجتماعي التقني بصورة جزئية، رغم أن أبعاده السياسية

يرتبط التغيير المؤسسي عادةً بفشل النماذج والسياسات القائمة أو بظهور أفكار جديدة توفر فرصاً لإعادة تشكيل المؤسسات، إلا أن الاستجابة غالباً ما تميل إلى الإصلاح التدريجي بدلاً من التغيير الجذري. وتؤكد مختلف المدارس المؤسسية أن الفاعلين يمثلون القوة المحركة للتغيير، ويتوقف نجاحهم على قدرتهم على حشد الدعم والتغلب على تحديات العمل الجماعي ضمن موازين القوى السائدة. ويأخذ التغيير المؤسسي أشكالاً تدريجية، مثل: التراكم، والتحويل، والانجراف، أو إعادة تجميع العناصر المؤسسية في ترتيبات جديدة، في حين قد تؤدي الأزمات العميقة إلى استبدال المؤسسات

الربط بين مستوياتها المختلفة فيما يحقق مبادئ الاستدامة ومتطلباتها. وتفترض نظرية التحول أن التحولات واسعة النطاق هي عملية متعددة المستويات (MLP)، تنطوي على التطور المشترك للقوى الاجتماعية والسياسية والتكنولوجية. كما تؤكد النظرية ظهور تكوينات اجتماعية جديدة نتيجة لعملية التحول إلى النظام الجديد، تتمثل باستبدال التكنولوجيا وعناصر أخرى، مثل: اللوائح والسياسات، والبنية التحتية، وممارسات المستخدم، ويمثل التطور المشترك لهذه العناصر مجتمعة نظامًا اجتماعيًا جديدًا.

وكما يظهر في الشكل (1)، فإن المفهوم متعدد المستويات MLP، الذي يعد مفهوماً نظرياً واضحاً، يصف عملية التحول الديناميكية على نطاق واسع، ويميز بين ثلاثة مستويات تعمل من خلالها عملية التحول، وهي: المنافذ Niches وتمثل المستوى الأصغر Micro، والنظم Regimes وتمثل المستوى المتوسط Meso، والمشهد العام Landscapes ويمثل المستوى الكلي Macro. وتُطور الابتكارات في منافذ الابتكار بمعزل عن ضغط وآليات اختيار السوق العادية، ومن ثم تخلق المنافذ ملاذاً لتطوير التكنولوجيا، وتوفر مواقع لاثقة لعمليات التعلم وإنشاء شبكات المعرفة. في حين أن النظام Regime، في المستوى المتوسط، يعد المكون العام للقواعد والقوى التي تحكم استقبال هذه التقنيات وتفعيلها، وهذا يشمل إنشاء مجموعة واسعة من العناصر غير المتجانسة، مثل: اللوائح والسياسات، والبنية التحتية التكميلية، وممارسات المستخدمين، وشبكة التوزيع، وهيكل الصناعة والمعنى الرمزي أو الثقافي. أما المشهد العام Landscapes فيشمل العوامل المؤثرة في الاتجاهات الهيكلية العميقة في المجتمعات، مثل: جداول الأعمال السياسية الواسعة، والنمو الاقتصادي، والمشكلات البيئية والترتيبات المكانية للمدن [14].

• تحليل التقارير الرسمية الصادرة عن المنظمات الأمية السابقة ذات العلاقة بتطبيق معايير الاستدامة SDGs والتحول إلى الاستدامة والحوكمة الفوقية والإسكان، مثل: UCLG، ESCWA، Housing، United، UN-Habitat، UNEP، Europe، UNDESA and UNITAR، Nations.

• تحليل وثائقي للسياسات والاستراتيجيات الوطنية في مجال الإسكان في ثلاث دول عربية كانت سباقة في تطبيق معايير SDGs.

4. الإطار النظري

تعرف الحوكمة (Governance) أنها مجموع الأدوات والإجراءات والعمليات وتقسيم الأدوار المصممة لمعالجة مجموعة من المشكلات المجتمعية [12]، ومن أمثلتها حوكمة التسلسل الهرمي وحوكمة السوق وحوكمة الشبكات وحوكمة التنظيم الذاتي. ويقدم منظور إدارة التحولات نحو الاستدامة نوعين من الفاعلين هما: الفاعلون الذين يشاركون في الحكم، مثل: الجهات الحكومية والقطاع الخاص، والجهات الفاعلة في المجتمع المدني. في حين يحدد منظور الحوكمة (Governance Perspective) الجهات الفاعلة بناء على المستويات المكانية الخاصة باتخاذ القرار، مثل: المستوى المحلي (Local)، والمستوى البلدي والإقليمي (Municipal Regional)، والمستوى الوطني (State) [13].

ظهرت نظرية التحول (Transition Theory) بوصفها إحدى النظريات المستخدمة في عملية التحول إلى النظم المستدامة في القطاعات الاقتصادية والاجتماعية والخدمية، وقد ركزت النظرية على عملية تحول الأنظمة الاجتماعية والتقنية واستدامة عدد من القطاعات، مثل: النقل والإسكان والطاقة وغيرها، وأظهرت النظرية قدرة على تكييف الأنظمة الاجتماعية والتقنية وإعادة

- استعراض وتحليل مدى قدرة الإطار المؤسسي الحالي على تبني عملية تنفيذ أهداف التنمية ذات العلاقة بالإسكان.

المرحلة الثانية: تمثلت في الآتي:

- منهج تحليل المحتوى: وصف وتحليل الإطار المؤسسي القائم في الدول العربية من خلال مراجعة التقارير الوطنية والدراسات السابقة لتحديد أدوار الجهات الفاعلة في الإسكان، وأساليب إشراكهم في عملية تنفيذ أهداف التنمية ذات العلاقة بالإسكان.
- منهج التحليل المقارن: مقارنة مجموعة من التجارب من دول مختلفة (مثل: بريطانيا، الإمارات، قطر) التي تضمنت التكيف المؤسسي ومناقشتها واستخلاص الدروس المستفادة منها. وقد اختيرت الدول لتوفر توثيقاً منهجياً للبرنامج أو التجربة، كما أن هناك تشابهاً نسبياً في السياق المؤسسي لكل من قطر والإمارات مع باقي الدول العربية في الإجراءات المتخذة.

المرحلة الثالثة: تمثلت في الآتي:

- منهج التصميم النموذجي (Model Design): اقتراح بعض التحديثات على الإطار المؤسسي الحالي للتكيف مع متطلبات المرحلة الانتقالية للتحويل إلى المساكن الميسرة والمستدامة لتطوير نموذج الحوكمة الفوقية المقترح.

3. أساليب وطرائق جمع المعلومات

جُمعت المعلومات من خلال المصادر التالية:

- المراجعة المنهجية للأدبيات الأكاديمية والدراسات السابقة ذات العلاقة بتطبيق معايير الاستدامة SDGs والتحول إلى الاستدامة والحوكمة الفوقية.

المستدامة SDGs، بما يشمل أدوار جميع الجهات الحكومية والخاصة ومؤسسات المجتمع المدني وجهات البحث العلمي، وذلك عن طريق تحقيق الأهداف الفرعية التالية:

- تحديد مدى قدرة الإطار المؤسسي الحالي في الدول العربية على تبني تنفيذ أهداف التنمية المستدامة ولا سيما قطاع الإسكان.
- استعراض مجموعة من برامج التحديث المؤسسي للتكيف مع متطلبات تنفيذ أهداف التنمية المستدامة SDGs في قطاع الإسكان.
- تحديد الفاعلين المؤثرين ومستوياتهم المختلفة في عملية تنفيذ أهداف التنمية المستدامة SDGs في قطاع الإسكان.
- تطوير نموذج حوكمة فوقية قابل للمواءمة مع الاختلافات المؤسسية الثانوية في الدول العربية لتحديث الإطار المؤسسي، عن طريق التوظيف الأمثل لأدوار الفاعلين المتعددين في عملية الانتقال إلى مساكن ميسرة ومستدامة، واستحداث جهات فاعلة جديدة خلال المرحلة الانتقالية.

2. المواد وطرائق العمل

تحققت الأهداف الرئيسة للدراسة بالمنهج النوعي (Qualitative Approach) في ثلاث مراحل هي:

المرحلة الأولى: تمثلت في المنهج الوصفي التحليلي من خلال ما يلي:

- مراجعة نصوص أهداف ومؤشرات التنمية المستدامة SDGs وتحليلها؛ لخصر جميع الأهداف ذات الصلة بالإسكان أو المتأثرة به بشكل مباشر أو غير مباشر.

- يُعدّ السكن شرطاً أساسياً في بناء مدن شاملة وعادلة وآمنة وقادرة على الصمود ومستدامة.

إن الطبيعة المعقدة ومتعددة المستويات والتخصصات التي يتصف بها الانتقال من نظام تطوير المساكن الراهن (السائد) إلى نظام المساكن المستدامة بناء على أهداف التنمية المستدامة SDGs، تستدعي العمل على التعريف بأهداف وغايات التنمية المستدامة 2030 وطبيعة الترابط بين هذه الأهداف بوجه عام. كما أن تبني رؤية متكاملة لتحديث التوجه المؤسسي وتنظيمه للإيفاء بمتطلبات وإجراءات تيسير الحصول على المساكن واستدامتها، بما يشمل أدوار جميع الجهات الفاعلة الحكومية منها والخاصة ومؤسسات المجتمع المدني وجهات البحث العلمي؛ سيعمل على تسريع عملية الانتقال بما يحقق التنمية المستدامة والمتوازنة، وسيسهل في رسم خطة طريق واضحة للإسراع بالجهود المبذولة من قبل القطاعين العام والخاص في إيجاد بيئة إسكانية ميسرة ومستدامة للأسر ذات الدخل المتوسط والمنخفض بما يضمن رفاه المجتمع واستقراره [9].

وتعد الأحياء السكنية النواة الأساسية في تخطيط المدن، فهي عقدة الربط بين المحلية والإقليمية. لذلك، فإن التصميم السليم للأحياء السكنية المستدامة يعد نقطة البداية في تصميم مدن وأقاليم تتبنى أهداف التنمية المستدامة بأسلوب مترابط وقوي. إن متطلبات تصميم المكونات الرئيسة لأي حي سكني (مثل: القطاعات السكنية، والقطاعات التعليمية، والقطاعات الصحية، والقطاعات الترفيهية، وقطاعات الترفيه) تتقاطع جوهرياً مع العديد من أهداف التنمية المستدامة حيث يرتبط بعضها ارتباطاً وثيقاً بالإسكان [10]. وفي هذا السياق، تعمل العديد من الدول في تنفيذها لأهداف التنمية المستدامة على تقديم عدد من الخدمات التي تسهم في توفير المساكن؛ حيث إن تنفيذ هذه الأعداد الكبيرة من

المساكن دون اعتماد أي معايير أو مواصفات بغرض جعل السكن ضمن حدود المقدرة المالية لذوي الدخل المتوسط والمنخفض، والرفع من كفاءته في استهلاك الموارد والمحافظة على البيئة الطبيعية، سوف ينعكس سلباً على تكلفة تنفيذ المساكن وتشغيلها وجودتها وراحة مستخدميها [9]، ومن ثم ينعكس سلباً على تنفيذ العديد من أهداف التنمية المستدامة ذات العلاقة.

تناولت العديد من الدراسات في مختلف المناطق الجغرافية العلاقة بين الحوكمة وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، وأظهرت أفكاراً ونتائج قيمة يمكن تطبيقها في تعزيز التعاون وتحسين السياسات والبحث في قابلية التطبيق على نطاق أوسع. في حين بينت مجموعة من الدراسات في استنتاجاتها الدور الحاسم للحكم الرشيد في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، ووجود صلة إيجابية بين الحوكمة من جهة وتحقيق أهداف التنمية المستدامة من جهة ثانية في الإطار الأوسع للأبعاد البيئية والاجتماعية والحوكمة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة [11].

ولذلك، فإن الإحاطة بكامل أو بمعظم أبعاد ثنائية الحوكمة والتنمية المستدامة هي مهمة صعبة، وهو ما يترك الباب مفتوحاً دائماً لاستكشاف مناطق جديدة وتقديم الأدلة التجريبية حول دور الحوكمة بوصفها محركاً للتنمية المستدامة. إلا أن هذا الإطار البحثي التجريبي في المنطقة العربية لا يزال محدوداً أو يقتصر على جوانب محددة من ثنائية الحوكمة والتنمية المستدامة [11]، وهو ما يمثل فجوة بحثية كانت سبباً رئيساً في ظهور هذه الدراسة. وتهدف هذه الدراسة إلى تطوير نموذج حوكمة فورية قابل للمواءمة مع الاختلافات المؤسسية الثانوية في الدول العربية لتحديث وتطوير الإطار المؤسسي للجهات الفاعلة في عملية الانتقال إلى المساكن الميسرة والمستدامة بناء على أهداف التنمية

وتعتبر أهداف التنمية المستدامة 2030 خطة لتحقيق مستقبل أفضل وأكثر استدامة للجميع. وتتصدى هذه الأهداف للتحديات العالمية التي نواجهها بوجه عام في مختلف جوانب الحياة، ومنها تأمين المسكن الميسر والمستدام لأفراد المجتمع الذي يعتبر من أهم القضايا الاجتماعية التي تواجهها العديد من الدول حول العالم. ويُعدّ الحق في السكن اللائق عنصراً رئيساً من هذه المبادئ الأساسية، وهو مُدرج في أهداف التنمية المستدامة السبعة عشر، ولطالما كان أولوية لمنظمة "الموئل من أجل الإنسانية" (Habitat for Humanity) وبرنامج الأمم المتحدة للمستوطنات البشرية (UN-HABITAT).

وفي هذا السياق، تُظهر الأبحاث والدراسات الحديثة أثر السكن في دعم أهداف التنمية المستدامة، وذلك على النحو الآتي [4]:

- يُسهم السكن بشكل مباشر أو غير مباشر في تحقيق معظم أهداف التنمية المستدامة.
- يُعدّ السكن ركيزة أساسية في تعزيز قدرة الأسر على الصمود والاستدامة، مما يُحسّن مؤشرات التنمية البشرية ومؤشر الفقر متعدد الأبعاد في مجالات الصحة والتعليم ومستوى المعيشة، بما في ذلك مؤشرات التغذية، ووفيات الأطفال، والالتحاق بالمدارس، والطاقة، والمياه، والصرف الصحي، والبناء الصحي والمتين.
- يعزز السكن الشعور بالانتماء والكرامة، ويُنمي التماسك المجتمعي، إضافة إلى تعزيز الشبكة الاجتماعية والمالية للفرد وموارده.
- يُسهم السكن اللائق والميسور التكلفة في زيادة فرص العمل والدخل في المجتمع، ويُحسّن الاستقرار المالي للأسر، وغالباً ما يُتيح فرصاً للصناعات المنزلية.

الإدارة المحلية [6]، حيث أوضحت الاستراتيجية الوطنية الثانية للتنمية في قطر (2018-2022) أن ضعف التكامل والتعاون القطاعي يُعدّ تحدياً مؤسسياً بالغ الأهمية في قطر، ويُعتبر عائقاً كبيراً أمام التقدم في تنفيذ أهداف التنمية؛ نظراً لغياب ثقافة التخطيط والعمل الجماعي، فضلاً عن التفكير المنعزل للقطاعات المختلفة داخل منظومة اتخاذ القرار [3]. أما الاستعراض الطوعي الوطني الأول للمملكة العربية السعودية في المؤتمر السياسي رفيع المستوى لعام 2018 المنعقد في نيويورك لمتابعة مراحل العمل على تطبيق مبادئ التنمية المستدامة 2030، فقد تضمن أبرز التحديات التي تواجه المملكة في تطبيق مبادئ الاستدامة، ومنها: التنسيق بين الأطراف والقطاعات المتعددة، وصعوبة اتباع تلك الأطراف منهجاً موحداً شاملاً، ووجوب البناء على الأطر المؤسسية القائمة [7].

وعلى الرغم من الطابع الدولي لأهداف التنمية المستدامة، تقع مسؤولية تنفيذها على عاتق الحكومات المحلية للدول، ولنجاح ذلك يجب التوفيق بين هذه الأهداف والخطط التنموية، مع مراعاة السياقات الوطنية والمحلية، والتركيز على أولويات الدول فيما يتعلق بالقضايا الاقتصادية والاجتماعية والبيئية [8]؛ لذلك من الضروري تعزيز المؤسسات في العديد من الدول العربية لتطوير هياكل حوكمة متماسكة تسمح لمختلف الوكالات والهيئات الحكومية، ولا سيما الوزارات، وغيرها من المستويات الحكومية، بالتعاون لضمان كفاية أهداف التنمية المستدامة وفعاليتها [3]. ويشير مصطلح "الحوكمة الفوقية" إلى حوكمة الحوكمة، فقد برز بوصفه نهجاً استراتيجياً لمعالجة أوجه القصور في التنسيق، وتعمل الحوكمة الفوقية على تنظيم أنظمة الحوكمة المختلفة لتحسين التنسيق، وتعزيز المساءلة، وتشجيع المشاركة الجماعية [5].

1. المقدمة

واختلال موازين القوى. كما يؤدي غياب التنسيق بين الجهات الفاعلة إلى ازدواجية الجهود، مما يعوق تحقيق التأثيرات التكاملية الأساسية، وتُبرز هذه العقبات الحاجة إلى وضع إطار حوكمة متكامل. حيث لا تعالج نماذج الحوكمة الحالية بفعالية التحديات المعقدة والمتراكبة للتنمية المستدامة، كما تتجاوز متطلبات التوافق الرأسي (متعدد المستويات) والأفقي (عبر القطاعات) لخطة التنمية المستدامة لعام 2030 قدرات نماذج الحوكمة الهرمية التقليدية [5]. وبناء على ذلك، فإن تنفيذ هذه الرؤية الشاملة سيستلزم اعتماد سياسات متماسكة مدعومة باستثمارات طويلة الأجل وتعزيز العلاقات والتنسيق (أفقياً بين الوزارات/ القطاعات، ورأسياً بين المستويات الحكومية)، كما يجب تشجيع جميع أصحاب المصلحة على العمل معاً لتحقيق هدف مشترك، وهو ما يتطلب تضامناً من جميع الجهات والالتزام والتعاون مستمراً من قبلهم، ومن ثم مواصلة تطوير وتحسين أطر الحوكمة والمؤسسات الحالية. وفي هذا السياق، فقد أحرزت الدول العربية تقدماً ملحوظاً في تعزيز أنظمة مؤسسية وحوكمة جديدة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، إلا أنها ما زالت تواجه العديد من التحديات المتعلقة بالسياسات والحوكمة التي تعوق التنفيذ الفعال لأهداف التنمية المستدامة، مثل: نقص التنسيق بين الوزارات، وتشتت الصلاحيات.

وتتولى وزارات أو هيئات حكومية متخصصة في جميع الدول العربية مسؤوليات صياغة التشريعات، ووضع السياسات الوطنية للتشغيل، إلا أن الواقع يظهر أنه رغم اتساع وتنوع تلك المهام تواجه معظم الوزارات والجهات المعنية في الدول العربية مستويات من القصور أو عدم الكفاية في فاعليتها، وهو ما يرجع إلى أسباب تتعلق وتمحور حول الصلاحيات الحقيقية والموارد والقدرات التنظيمية والإدارية. إضافة إلى التحدي الأكبر المتمثل بالتمسك بالمرتكزة على حساب تمكين

حددت خطة التنمية المستدامة 2030 سبعة عشر هدفاً للتنمية المستدامة، تغطي الأبعاد الاقتصادية والاجتماعية والبيئية للتنمية المستدامة، وتنقسم إلى 169 غاية عالمية و231 مؤشراً للرصد والتنفيذ على جميع مستويات الحكم. وفي المادة 47 من خطة 2030، التزمت جميع الدول الأعضاء بمتابعة ومراجعة التقدم المحرز في تنفيذ الأهداف والغايات على المستويات الوطنية والإقليمية والمحلية، ويُعدّ تنفيذ أهداف خطة التنمية المستدامة تحدياً كبيراً في الدول العربية، التي اتسمت بعدم الاستقرار والصراع على مدى العقدين الماضيين [1].

وتتضمن خطة التنمية المستدامة لعام 2030 مبادئ أساسية، منها: العالمية، والترابط وعدم التجزئة، والشمولية، والشرائط متعددة الأطراف، حيث تعني العالمية تطبيق تلك الأهداف على جميع البلدان ومراعاة جميع الشعوب بصرف النظر عن وضعهم أو موقعهم، في حين يعني الترابط وعدم التجزئة تنفيذ تلك الأهداف كاملة؛ إذ يجب أن تكون جميع إجراءات الاستدامة الرامية إلى معالجة التحديات التي تؤثر على مدننا متكاملة وشاملة، ويُتيح هذا الترابط أفضل فرصة لدينا لمواجهة التحديات متعددة الأبعاد التي تواجه مجتمعاتنا. ومن جهة أخرى، يتطلب ذلك تصعيداً كبيراً في جهود صنع السياسات واعتماد نهج متكامل حقيقي يضمن عدم إهمال أي فرد أو مكان [2]، ولذلك يُعدّ اتباع نهج متكامل وشامل للتنمية المستدامة أمراً لا غنى عنه لنجاح تنفيذ خطة التنمية المستدامة لعام 2030 [3]. أما الشمولية فتعني أن كل مساهمة لها قيمتها، وأما الشرائط متعددة الأطراف فتعني تقديم دعمهم لتنفيذ الأهداف [4].

ويواجه الالتزام الواسع بتنفيذ أهداف التنمية المستدامة تحديات حوكمة كبيرة نتيجة لتشتت المؤسسات، والعزلة بين القطاعات المختلفة في الدولة،

Meta-Governance of Actors in Achieving Sustainable Development Goals: A Conceptual Framework for the Housing Sector

Esam A. Haidar 

Department of Interior Design, Faculty of Engineering and Technology, Ar-Rasheed Smart University, Sana'a, Yemen

E-mail: esam.haidar@ar-rasheed.edu.ye

Received: 14 May 2026

Revised: 15 June 2026

Accepted: 19 June 2026

الحكومة الفوقية للجهات الفاعلة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة: إطار مفاهيمي لقطاع الإسكان

عصام عبد الروهاب حيدر 

قسم التصميم الداخلي، كلية الهندسة والتكنولوجيا، جامعة الرشيد الذكية، صنعاء، اليمن

الإيميل: esam.haidar@ar-rasheed.edu.ye

تاريخ التقديم: 14 مايو 2026 تاريخ إرسال التعديلات: 15 يونيو 2026

تاريخ القبول: 19 يونيو 2026

Abstract

The 2030 Agenda for Sustainable Development outlines seventeen interconnected goals, with the housing sector being one of the most directly and indirectly linked to their achievement. However, traditional governance models based on hierarchical and sectoral structures are no longer capable of effectively managing institutional complexities and the vertical and horizontal coordination required to implement these goals. This necessitates the development of more integrated and flexible governance frameworks, particularly in Arab countries. Therefore, this study aimed to develop a meta-governance model adaptable to Arab institutional specificities to enhance the implementation of housing-related Sustainable Development Goals (SDGs). The study employed a multi-stage methodology: the first stage used a descriptive-analytical approach to review and analyze SDG goals and indicators, and to assess the capacity of the current institutional framework to support their implementation. The second stage involved content analysis of national reports and previous studies to identify the roles of various actors and their engagement mechanisms. The third stage relied on a comparative analysis of selected international experiences to draw lessons learned, followed by a model design methodology to develop the proposed meta-governance model. The findings revealed institutional fragmentation, weak sectoral coordination and integration, centralized decision-making, overlapping jurisdictions, and a limited role for scientific research and awareness-raising. The study concluded by proposing institutional updates and recommendations based on meta-governance to bolster the implementation of SDGs within the housing sector.

Keywords: Sustainable Development Goals, institutional adaptation, housing, meta-governance.

المخلص

حددت خطة التنمية المستدامة 2030 سبعة عشر هدفًا مترابطًا، ويُعد قطاع الإسكان من أكثر القطاعات ارتباطًا بتحقيقها بصورة مباشرة وغير مباشرة. إلا أن نماذج الحكومة التقليدية القائمة على الهياكل الهرمية والقطاعية لم تعد قادرة على التعامل بفاعلية مع التعقيدات المؤسسية ومتطلبات التنسيق الرأسي والأفقي اللازمة لتنفيذ أهداف التنمية المستدامة، مما يستدعي تطوير أطر حوكمة أكثر تكاملًا ومرونة، لا سيما في الدول العربية. ولذلك تهدف الدراسة إلى تطوير نموذج للحكومة الفوقية قابل للمواءمة مع الخصائص المؤسسية العربية لتعزيز تنفيذ أهداف التنمية المستدامة المرتبطة بالإسكان، واعتمدت الدراسة على منهجية متعددة المراحل؛ إذ تضمنت المرحلة الأولى استخدام المنهج الوصفي التحليلي لمراجعة أهداف ومؤشرات التنمية المستدامة وتحليلها، وتقييم قدرة الإطار المؤسسي الحالي على دعم تنفيذها. أما المرحلة الثانية فتضمنت تحليل المحتوى لمراجعة التقارير الوطنية والدراسات السابقة وتحديد أدوار الجهات الفاعلة وآليات إشراكها. وأما المرحلة الثالثة فاعتمدت على التحليل المقارن لتجارب دولية مختارة لاستخلاص الدروس المستفادة، ثم منهج التصميم النموذجي (Model Design) لتطوير نموذج الحكومة الفوقية المقترح. وأظهرت النتائج أن هناك تشتتًا مؤسسيًا، وضعفًا في التنسيق والتكامل القطاعي، ومركزية في صنع القرار، وتداخلًا في الاختصاصات، ومحدودية دور البحث العلمي والتوعية. وخلصت الدراسة إلى اقتراح تحديثات مؤسسية وتوصيات تستند إلى الحكومة الفوقية في تعزيز تنفيذ أهداف التنمية المستدامة في قطاع الإسكان.

الكلمات المفتاحية: أهداف التنمية المستدامة، التكيف المؤسسي، الإسكان، الحكومة الفوقية.

هذه مقالة متاحة للوصول المفتوح، وموزعة بموجب شروط رخصة المشاع الإبداعي الدولية (Creative Commons Attribution 4.0 International License - CC BY 4.0)، التي تتيح الاستخدام والتوزيع وإعادة الإنتاج دون قيود عبر أي وسيط، شريطة الإشارة إلى العمل الأصلي بشكل سليم.

الرقم الدولي المعياري للدوريات (ورقي): 3135-6842 | (إلكتروني): 3135-6850 / © 2026 المؤلف. نُشرت بواسطة جامعة الرشيد الذكية، اليمن.

موقع المجلة الإلكتروني: <https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUJBAS/ar>

مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية 2026، 1(1)، 61-89

<https://doi.org/10.67151/rujbas.v1i1.37>

البروفات

عند استلام البروفات الأولى للبحث، يكون المؤلف المراسل مسؤولاً عن تقديم أي تصحيحات ضرورية إلى المجلة في غضون ثلاثة أيام. وتهدف البروفات إلى التحقق من دقة الطباعة، والتأكد من اكتمال وصحة النص والجداول والأشكال، وتحديد أي أخطاء تم إدخالها أثناء عملية الإخراج الفني. وفي هذه المرحلة لا تُقبل سوى التصويبات الطفيفة، ولا يُسمح بإجراء تعديلات جوهرية. وأي تصويبات مطلوبة بعد النشر سيتم التعامل معها من خلال تصويبات رسمية، أو سحب للبحث، وبحسب الحالة.

إشعار حقوق النشر

- يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر لأعمالهم المنشورة في RUJBAS ولا يتطلب الأمر نقل أي حقوق نشر. تُنشر جميع الأبحاث بموجب رخصة المشاع الإبداعي فئة (CC BY 4.0). تسمح هذه الرخصة لأي شخص بنسخ، أو إعادة توزيع، أو إعادة مزج، أو تحويل، أو البناء على المادة لأي غرض كان، حتى تجارياً، بشرط الإشارة بوضوح إلى المؤلف الأصلي أو المؤلفين الأصليين والمصدر، وتوفير رابط للرخصة، والإشارة بوضوح إلى أي تغييرات تم إجراؤها. وعند تقديم البحوث إلى مجلة RUJBAS يوافق المؤلفون على نشر أبحاثهم بموجب هذه الرخصة.
- يتحمل المؤلفون مسؤولية الحصول على إذن لإعادة إنتاج أي مادة محمية بحقوق النشر (مثل الأشكال أو الجداول أو الاقتباسات المطولة) الواردة في أبحاثهم، ونسبها إلى مصدرها الأصلي بشكل مناسب.

إخلاء المسؤولية

جميع الأبحاث والمراسلات والافتتاحيات المنشورة في مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية تعبر عن الآراء الشخصية لأصحابها. وتخلي المجلة ومحريها مسؤوليتيها الكاملة عن أي تطبيق للمعلومات الواردة هنا أو الاعتماد عليها.

الجداول

- يجب أن تكون الجداول على هيئة نصوص قابلة للتعديل، وليس على هيئة صور ثابتة.
- يجب أن تكون الجداول متسلسلة في النص الرئيسي.
- يجب ترقيم جميع الجداول باستخدام الأرقام العربية حسب ترتيب ظهورها في النص.
- يجب وضع عنوان وصفي لكل جدول.
- يجب وضع الملاحظات التوضيحية -إن وجدت- أسفل الجدول مباشرةً.

الأشكال

- يجب أن يُشار إلى كل شكل بصورة تسلسلية في النص الرئيسي.
- يجب أن ترقيم جميع الأشكال (بما في ذلك المخططات والرسوم البيانية والصور الفوتوغرافية) ترقيماً متسلسلاً بالأرقام العربية، حسب ترتيب ظهورها في النص.
- يجب إعطاء كل شكل عنواناً توضيحياً خاص به.
- يجب أن تُقدم الأشكال كملفات بالصيغ التالية: (JPEG، TIFF، أو PNG، أو ملفات ميكروسوفت وورد (DOC أو DOCX) للأشكال المرسومة في برنامج الورد.
- يجب أن تكون الأشكال بجودة عالية (1200 نقطة في البوصة للرسومات الخطية، و600 نقطة في البوصة للصور الرمادية، و300 نقطة في البوصة للصور الملونة، وبالبحجم الصحيح).

تقديم البحث المنقح

قد يُطلب من المؤلفين مراجعة بحثهم بناءً على ملاحظات المحكمين. وعند تقديم البحث المنقح، يجب تضمين رد مفصل (نقطة بنقطة) على ملاحظات المحكمين. كما يجب تقديم نسخة نهائية من البحث المنقح بدون إظهار التغييرات، ونسخة أخرى مُظلمة تُظهر جميع التغييرات التي أُجريت أثناء المراجعة والتنقيح.

الأبحاث المقبولة للنشر

عند قبول البحث للنشر، فلن يتم نشره إلا بعد أن يقدم المؤلف المراسل إقراراً خطياً يؤكد فيه أن البحث أصيل، وأنه لم يسبق نشره، وليس قيد النظر للنشر في أي جهة أخرى، وأن جميع المؤلفين قد قرؤوا النسخة النهائية من البحث ووافقوا عليه.

إعداد المراجع وتنسيقها

- يتم استخدام أسلوب توثيق فانكوفر مع بعض التعديلات التي تتناسب مع متطلبات النشر العلمي في المجلة، وعلى المؤلفين اتباع الإرشادات والأمثلة التوضيحية الواردة أدناه.
- توثيق المراجع في متن البحث: يجب ترقيم جميع المراجع تسلسلياً وفقاً للترتيب الذي تظهر به لأول مرة في النص؛ بحيث تُوثَّق هذه المراجع باستخدام الأرقام المناسبة بين قوسين مربعين، على سبيل المثال: [4] أو [4]، [5] أو [9-6]. مع إمكانية ذكر اسم المؤلف (مثلاً: "ياسر [4] أشار إلى..."،) إلا أنه يجب دائماً ذكر رقم المرجع المقابل بين قوسين مربعين.
- نمط قائمة المراجع: في نهاية البحث، يجب أن تُدرج المراجع بالترتيب العددي مع مراعاة تطابق كل مرجع مذكور في القائمة مع رقمه المشار إليه في المتن. كما يجب إدراج رابط معرف الكائن الرقمي (doi) في نهاية كل مرجع إلكتروني على هيئة رابط تشعبي مكتمل (مثل: <https://doi.org/xxxxx>)، حيثما كان ذلك متاحاً. تُكتب أسماء جميع المؤلفين إذا كان عددهم ستة أو أقل، أما إذا كانوا سبعة أو أكثر فتذكر أسماء أول ستة متبوعة بـ "وآخرون". ينبغي أن يتوافق أسلوب التوثيق مع الأمثلة التالية:

مرجع لبحث في مجلة:

عبد الحميد م ع، رحيمه م ش. دراسة سريرية لمرض الحمى القلاعية في عجول التسمين في منطقة الموصل. المجلة العراقية للعلوم البيطرية. 2010؛ 24(1): 11-6. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2010.5573>

العسلي ف، النائي ن، اطراذات ع. الشبكة الكهربائية الذكية ومدى مرونة أنظمة الحماية الكهربائية في ظل التهديدات السيبرانية. المجلة العربية للبحث العلمي. 2024؛ 5(2): 8. <https://doi.org/10.5339/ajsr.2024.8>

مرجع لكتاب:

القرطاس س. مدخل إلى أنظمة الاتصالات. الرياض: العبيكان للنشر؛ 2010.

مرجع لفصل في كتاب:

الخلف ع ح. الجفاف وأبعاده البيئية في منطقة الرياض. في الوليعي ع ن، محرر. منطقة الرياض دراسة تاريخية وجغرافية واجتماعية. الرياض: إمارة منطقة الرياض؛ 1998. ص. 174-278.

مرجع لأطروحة:

زيدان أ ع. قياس النمو في الإنتاجية الكلية وتقدير الكفاءة التقنية والفجوة التكنولوجية للقطاع الزراعي العراقي باستخدام أسلوب مغلف البيانات DEAP للمدة 1980-2012، دراسة مقارنة بدول إقليمية مختارة [أطروحة دكتوراة]. الموصل: جامعة الموصل؛ 2017.

- المقدمة: ينبغي أن تتضمن هدف الدراسة وعلاقته بالدراسات السابقة في هذا المجال، ويجب ألا تتجاوز صفحة ونصف مطبوعة.
- المواد وطرائق العمل: يجب أن يقدم هذا القسم تفاصيل كافية للباحث المختص لإعادة إجراء التجارب، مع الحرص على الإيجاز وتجنب تكرار طرائق العمل المنشورة سابقاً.
- النتائج: يجب أن يعرض هذا القسم نتائج الدراسة في جداول وأشكال بالإضافة إلى بعض البيانات التكميلية في النص.
- المناقشة: ينبغي أن تكون موجزة وتركز على تفسير النتائج الرئيسية ومقارنتها بالدراسات السابقة دون تكرار النتائج نفسها. كما يمكن مناقشة نقاط القوة والضعف في الدراسة الحالية.
- الاستنتاجات: ينبغي أن يتضمن هذا القسم عرضاً موجزاً لأهم نتائج الدراسة الحالية، مع الإشارة إلى أي اقتراحات للبحوث المستقبلية.
- الشكر والتقدير (اختياري): يُخصص هذا القسم لشكر الأفراد الذين لهم إسهامات فكرية أو تقنية في البحث، ولكنهم لا يستوفون معايير التأليف. كما ينبغي أيضاً توجيه الشكر للمؤسسات التي وفرت التسهيلات أو المعدات أو أي دعم آخر ضروري للبحث.
- توفر البيانات: توضيح توفر البيانات مطلوب لجميع الأبحاث. يجب على المؤلفين توضيح ما إذا كانت البيانات التي تدعم نتائجهم متاحة للجمهور أم لا. إذا كانت البيانات متاحة بشكل مفتوح، فيجب على المؤلفين تقديم اسم المستودع ومعرّف دائم (مثل: DOI). وإذا تعدّ إتاحة البيانات للجمهور بسبب حساسية البيانات أو لأي اعتبارات أخرى، ولا يستطيع توفيرها سوى المؤلف المسؤول بناءً على طلب يقدم إليه، فيجب استخدام العبارة الآتية: "البيانات غير متاحة للجمهور بسبب [تحديد السبب، على سبيل المثال: اعتبارات أخلاقية أو خصوصية]، وهي متاحة من المؤلف المراسل بناءً على طلب مقدم إليه". إذا لم يتم إنشاء أو تحليل أي بيانات جديدة في الدراسة، فيجب استخدام العبارة التالية: "لم يتم إنشاء أو تحليل أي بيانات في هذه الدراسة".
- التمويل: يجب الإفصاح بوضوح في نهاية البحث عن جميع مصادر الدعم المالي للبحث، بما في ذلك أرقام المنح ودور الجهة الممولة. إذا لم يتم تلقي أي تمويل، يجب تضمين العبارة التالية: "لم يتلق هذا البحث أي تمويل خارجي".
- المراجع: جميع المراجع المذكورة في متن البحث يجب إدراجها في قائمة المراجع، والعكس صحيح. قائمة المراجع يجب ألا تتضمن نتائج غير منشورة أو مراسلات شخصية. ويتحمل المؤلفون مسؤولية ضمان دقة جميع المراجع.

إرشادات المؤلفين

- يجب أن تُكتب الأبحاث باللغة الإنجليزية أو العربية بصورة واضحة وسليمة. ويُصح المؤلفون بشدة بتدقيق أبحاثهم لغوياً قبل التقديم. وفي حال كانت لغة البحث لا ترتقي إلى اللغة الأكاديمية فسيعاد البحث إلى المؤلف أو يُرفض. وتحتفظ المجلة بحقتها في إجراء التحرير اللغوي اللازم للأبحاث المقبولة للنشر.

إعداد البحث

- ينبغي كتابة الأبحاث بتنسيق عمود واحد، بمسافة 1.5 سم بين الأسطر، وهوامش 2.5 سم، وبخط قياسي (يفضل Times New Roman للأبحاث الإنجليزية أو Traditional Arabic للأبحاث العربية) وحجمه (14 للعناوين الرئيسية والفرعية؛ 12 للنص). ويجب ترقيم صفحات البحث.
- ينبغي ترتيب الأقسام على النحو التالي: صفحة العنوان، الملخص، الكلمات المفتاحية، المقدمة، المواد وطرائق العمل، النتائج، المناقشة، الاستنتاج، الشكر والتقدير (اختياري)، توفر البيانات، التمويل، المراجع، وتُدرج الجداول والأشكال في مواضعها الصحيحة ضمن متن البحث. يجب أن تكون العناوين الرئيسية والفرعية بخط غامق.
- صفحة العنوان: تتضمن عنوان البحث (يجب أن يكون موجزاً ويعكس محتوى البحث)، أسماء المؤلفين مع ألقابهم والانتفاءات المؤسسية. يجب أن يتضمن الانتهاء المؤسسي القسم، والمؤسسة، والمدينة، والبلد. يجب تحديد مؤلف واحد على الأقل بعلامة النجمة (*) باعتباره الشخص الذي يجب توجيه المراسلات إليه، كما يجب تضمين عنوانه البريدي الكامل وعنوان بريده الإلكتروني. يُطلب من المؤلف المراسل تقديم معرف الباحث المفتوح (ORCID) الخاص به ومعرفات ORCID لجميع المؤلفين المشاركين في صفحة العنوان، قدر الإمكان.
- الملخص: يجب أن يتكون من فقرة واحدة ولا يتجاوز 200 كلمة، وتكون كتابته بأسلوب منظم مع الحرص على إبراز الهدف والطرائق المستخدمة والنتائج والاستنتاجات الرئيسية. على المؤلفين الذين يقدمون أبحاثهم توفير البيانات الأساسية بلغة البحث ولغة النسخة المقابلة لها. بالنسبة للأبحاث المكتوبة باللغة الإنجليزية، يجب تقديم العنوان وأسماء المؤلفين وانتهاءاتهم وملخص البحث والكلمات المفتاحية باللغة العربية أيضاً. وفي المقابل، بالنسبة للأبحاث المكتوبة باللغة العربية، يجب تقديم العنوان وأسماء المؤلفين وانتهاءاتهم وملخص البحث والكلمات المفتاحية باللغة الإنجليزية أيضاً.
- الكلمات المفتاحية: بعد الملخص، يجب تقديم قائمة من 3-7 كلمات مفتاحية، تمثل بدقة محتوى البحث، لأغراض الفهرسة.

عن المجلة

مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية (RUJBAS) مجلة علمية محكمة تصدرها جامعة الرشيد الذكية بصنعاء، اليمن. وهي مجلة متاحة للجمهور، تُنشر إلكترونياً مرتين في السنة وتقبل الأبحاث باللغتين العربية والإنجليزية. تهدف المجلة إلى نشر الأبحاث الأصلية وأبحاث المراجعة والمنشورات القصيرة ودراسات الحالة في مجالات العلوم الطبية والهندسية والتقنية والعلوم الطبيعية.

الأهداف

تهدف مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية إلى:

- نشر البحوث الأصلية والرصينة في العلوم الأساسية والتطبيقية.
- توفير منصة علمية محكمة ودقيقة للمجتمع العلمي العالمي.
- تعزيز الحوار والتعاون بين الباحثين من مختلف التخصصات.
- تقديم الدعم للباحثين في بداية مسيرتهم المهنية وطلبة الدراسات العليا.
- تشجيع التطبيق العملي للنتائج العلمية بما يعود بالنفع على المجتمع.

النطاق

ترحب مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية بالنتائج العلمية على شكل بحوث أصيلة، وأبحاث مراجعة، ومراسلات قصيرة، ودراسات حالة، ضمن المجالات التالية على سبيل المثال لا الحصر:

- العلوم الطبية والصحية: الطب، والجراحة، وطب الأسنان، والصيدلة، والطب المخبري، والتمريض، والصحة العامة، والتغذية، والطب البيطري.
- الهندسة والتكنولوجيا: الهندسة المعمارية، والهندسة المدنية، وهندسة الميكاترونكس؛ وتكنولوجيا المعلومات، والأمن السيبراني، والذكاء الاصطناعي.
- التصميم والإعلام: التصميم الداخلي، والرسومات، والوسائط المتعددة.
- العلوم الطبيعية والأساسية: الكيمياء، والفيزياء، والأحياء، والرياضيات، والزراعة.

رسوم النشر

الأبحاث المقدمة إلى مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية قبل 31 ديسمبر 2026م ستُنشر مجاناً. وقد تُفرض رسوم رمزية لنشر الأبحاث المقدمة بعد هذا التاريخ لدعم التكاليف التشغيلية للمجلة.

المحتويات

رقم الصفحة	الموضوع
	• التحليل الطيفي الكمي لهيدروكلوريد الميتوكلوبراميد في الأقراص الصيدلانية عبر تفاعل البرومة
1	سمير ع. م. عبدالرحمن، إبراهيم العنسي، أيمن الخياط، الحسين العراسي، حذيفة مظفر، أنس معوضة، أكرم الواسعي، محمد الإدريسي وعبدالكريم قطيش.....
	• تقييم المؤشرات الحيوية لوظائف الكلى لدى المرضى اليمنيين المصابين بثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم
14	بشرى العبسي، إلهام قطينة، ندى أنعم، رحمة نعمان، رغد الشماحي وأحمد الأصبحي.....
	• تحليلات التعلم لسلوكيات التسجيل القائمة على التوقيت للتنبؤ المبكر بالتسرب الأكاديمي
24	أنور علي يحيى.....
	• تحليل وضبط متحكمات PID & FLC لنظام التحكم بارتفاع طائرة رباعية المراوح المدفوعة بمحركات التيار المستمر
49	عادل راوع ومحمد المضواحي.....
	• الحوكمة الفوقية للجهات الفاعلة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة: إطار مفاهيمي لقطاع الإسكان
61	عصام عبد الوهاب حيدر.....

الهيئة الاستشارية

أ.م.د. لطيفة عباد النجار جامعة الرشيد الذكية & جامعة صنعاء، اليمن	أ.م.د. محمد عبده مهدي جامعة صنعاء، اليمن	د. سام صالح الدلاي جامعة إب، اليمن
أ.م.د. إبراهيم محمد الشيخ جامعة العلوم والتكنولوجيا، اليمن	د. رايد عبده الصبري جامعة حمد بن خليفة، قطر	أ.م.د. كيرتي بال جامعة غوتام بوذا، الهند
د. محمد عبد الله سلمان جامعة عمران، اليمن	د. سيدة أحمد الجمعي الجامعة اللبنانية الدولية، اليمن	أ.م.د. بشرى عبد الرحمن العبيسي جامعة صنعاء، اليمن

التدقيق اللغوي

القسم العربي	القسم الإنجليزي
د. طارق عبد الحكيم الوهباني	د. فيصل علي الدولي
الإخراج الفني	

أ. عبد الله يحيى الجبوي

هيئة التحرير

رئيس التحرير

أ.د. سمير عبد العزيز محمد عبد الرحمن
جامعة الرشيد الذكية & جامعة البيضاء، اليمن

أعضاء هيئة التحرير

أ.د. إكرام فضل الإرياني	أ.م.د. عبد الملك إبراهيم مؤمن
جامعة الرشيد الذكية & جامعة صنعاء، اليمن	جامعة الرشيد الذكية & جامعة صنعاء، اليمن

أ.د. عبد الله أحمد علي أحمد	أ.م.د. عصام أحمد المريسي
جامعة ذمار، اليمن	جامعة ذمار، اليمن

أ.م.د. مراد عبده رسام	أ.د. فهد عبده المخلافي
جامعة تعز، اليمن	جامعة ذمار، اليمن & جامعة الملك سعود، السعودية

أ.د. أسامة سلمان التماري	أ.د. عبد السلام محمد المخلافي
جامعة النصور، العراق	جامعة صنعاء، اليمن

أ.د. وائل عبد المغني الأغبري

جامعة صنعاء & جامعة تونتك الدولية للتكنولوجيا، اليمن

مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية

مجلة علمية محكمة نصف سنوية
تصدر عن جامعة الرشيد الذكية، اليمن

المجلد (1) العدد (1) يونيو 2026م

جامعة الرشيد الذكية، شارع 14 أكتوبر، حدة، صنعاء، اليمن

الموقع الإلكتروني للجامعة

<https://ar-rasheed.edu.ye/>

البريد الإلكتروني للمجلة

rujbas@ar-rasheed.edu.ye

ISSN: 3135-6842

E-ISSN: 3135-6850

مجلة جامعة الرشيد للعلوم الأساسية والتطبيقية

مجلة علمية محكمة نصف سنوية
تصدر عن جامعة الرشيد الذكية، اليمن

المجلد (1) العدد (1) يونيو 2026م

- التحليل الطيفي الكمي لهيدروكلوريد الميتوكلوبراميد في الأقراص الصيدلانية عبر تفاعل البرومة
- تقييم المؤشرات الحيوية لوظائف الكلى لدى المرضى اليمنيين المصابين بثلاسيميا بيتا المعتمدين على نقل الدم
- تحليلات التعلم لسلوكيات التسجيل القائمة على التوقيت للتنبؤ المبكر بالتسرب الأكاديمي
- تحليل وضبط متحكمات PID & FLC لنظام التحكم بارتفاع طائرة رباعية المراوح المدفوعة بمحركات التيار المستمر
- الحوكمة الفوقية للجهات الفاعلة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة: إطار مفاهيمي لقطاع الإسكان

R
U
J
B
A
S

الموقع الإلكتروني للمجلة

<https://journals.ar-rasheed.edu.ye/RUIBAS/ar>