



JOURNAL Science and Technology

Volume 30 - No.(10) - 2025

Journal of Science and Technology is an Open Access Peer-Reviewed Journal Published Monthly by Faculty of Engineering and Computing – University of Science & Technology - Aden - Yemen.

Online ISSN: 2410-5163 Print ISSN: 1607-2073

- ▶ Evaluating the Effectiveness of Digital Forensic Investigations in Combating Cybercrime
Fatimah Anwar Askar, Ayah Ali Al-Habshi, Nasr Al-Saqqaf, Wed Saeed Mohammed Mohammed, Ghadir Mohsen Ahmed, Marwa Mohammed Ibrahim, Maimonah Nasser Mohammed, Nouf Yaqoub Ahmed, Hajar Essam Mohammed

- ▶ DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR UNDERGROUND IRRIGATION PUMPING WATER FOR THE AGRICULTURAL FARMLAND IN NATIONAL ROOT CROPS RESEARCH INSTITUTE, UMUDIKE (NRCRI), ABIA STATE, NIGERIA.
Igwe E. Johnson, Hyginus Obinna Ozioko, Igwe C. Harryson, Nwankwojike B. Nduka, Emmanuel Ebube Eze

- ▶ A Comparative Study of Distance Measures for 2DPCA-Based Face Recognition
Waled Hussein Al-Arashi

- ▶ Identifying and Classifying the Key Factors Influencing the Implementation of Cloud Computing in eHealth (A Case Study of Al-Thawra and Al-Jumhuri Hospitals in Sana'a)
Khalid Ahmed Almswary

- ▶ Fintech-Driven Risk and Return Analysis of Shariah-Compliant Mutual Funds: Evidence from Oman
Abdulaziz Aborujilah, Waled H. Al-Arashi, Rawad Abdulghafor

- ▶ Generalized Trirecurrence of Cartan's Second Curvature Tensor in Ph-Recurrent Spaces
Adel M. Al-Qashbari, Wafa'a H. A. Hadi

- ▶ AI in E-Learning: Exploring Challenges and Limitations A Literature Review
Ryad Ali Gbr, Nabil Mohammed Ali Munassar

- ▶ The Role of Developing 5G Networks in Accelerating Digital Transformation: A Case Study of Ericsson
Sufyan Khloufi

- ▶ An Optimized Hybrid Intelligent System for High-Accuracy Dewpoint Pressure Estimation
Ibrahim Ali Farea, Abdelrigeeb Al-Gathe,

- ▶ DELINEATION OF GEOLOGICAL BOUNDARY IN IDI-EMI AND ENVIRONS, SOUTHWESTERN NIGERIA USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD
Sofiat Adekoya, Joseph Coker, Hamid Oladunjoye, Omolara Adenuga, Fidelis Ogun-sanwo, Alabi, Aderemi Alidu, Paula Adesanya



جامعة العلوم والتكنولوجيا

University of Science & Technology
المركز الرئيس - عدن

Journal of Science and Technology

Vol. 30 No. 10 (2025)

**Journal of Science
and Technology**

Editorial Team

Editor In Chief

Prof. Dr. Abdulaziz Al kabab, Faculty of engineering, University of Science and Technology,
Aden. Email: Editor.jst@ust.edu , Personal Email: aalkabab@gmail.com.

Deputy Editors

Assis. Prof. Dr. Nasr Al-Sakkaf, Faculty of Engineering, University of Science and Technology,
Aden. Email: Editor.jst@ust.edu , Personal Email: nasrhamed1972@gmail.com.

Assis. Prof. Dr. Nabeel Monasar, Faculty of Engineering, University of Science and
Technology, Aden.

Associate editors

Associate Prof. Dr. Abdulqader Alabadi, Aden, Yemen.

Assis. Prof. Dr. Adnan Abdullah Zain - University of Aden.

Assis. Prof. Dr. Lutfi Khanbari - University of Aden.

Assis. Prof. Dr. Muammar Al-Qutaibi - University of Science and Technology, Aden.

Assis. Prof. Dr. Khaled Omar Salem Baselim - University of Aden.

Assis. Prof. Dr. Mustafa Ahmed Shoaib.

Assis. Prof. Dr. Ali Belaid - University of Aden.

Assistant Editor

Sumaya Al-Badani, University of Science and Technology, Aden.

For Contact

Journal of Science and Technology

Faculty of Engineering and Faculty of Computing and Information Technology, University of
Science and Technology, Main Campus - Aden - Yemen

+967718032009

jst@ust.edu

**Journal of Science
and Technology**

Website:

The screenshot shows the homepage of the Journal of Science and Technology. At the top, there is a dark navigation bar with social media icons (Facebook, Twitter) on the left and links for 'Publishing Home', 'Announcements', 'Login', and 'Register' on the right. Below this is a large orange banner with the journal's logo and title 'JOURNAL OF Science and Technology'. A navigation menu below the banner includes 'Home', 'About the Journal', 'Editorial Team', 'Abstracting and Indexing', 'Archives', and 'Contact'. A search bar is located on the right side of the menu. The main content area is divided into two columns. The left column is titled 'ABOUT THE JOURNAL' and features a thumbnail of the journal cover. To the right of the thumbnail, the text describes the journal as an open access peer-reviewed journal published monthly by the Faculty of Engineering and Computing at the University of Science & Technology - Aden - Yemen. It also lists the Online ISSN (2410-5163) and Print ISSN (1607-2073). The right column contains a 'Make a Submission' button, a 'LANGUAGE' section with options for 'العربية' and 'English', and an 'INFORMATION' section with links for 'For Readers', 'For Authors', and 'For Librarians'. At the bottom of the right column is a 'FLAG counter' widget displaying visitor statistics from various countries.

JOURNAL OF Science and Technology

Home About the Journal Editorial Team Abstracting and Indexing Archives Contact

Search

ABOUT THE JOURNAL



Journal of Science and Technology is an Open Access Peer-Reviewed Journal Published Monthly by Faculty of Engineering and Computing – University of Science & Technology - Aden - Yemen. The journal welcomes articles that contribute to a wide spectrum coverage of science and technology. Originality, high quality and significance of the scientific content are essentially considered.

Online ISSN: 2410-5163
Print ISSN: 1607-2073

Make a Submission

LANGUAGE

- العربية
- English

INFORMATION

- For Readers
- For Authors
- For Librarians

6,973	3,629	2,420	1,657
5,607	3,245	2,317	
4,048	2,511	1,747	

FLAG counter

<https://journals.ust.edu/index.php/JST>

**Journal of Science
and Technology**

<https://doi.org/10.20428/jst.v30i10>

Publication Rules and Procedures

General Rules:

Research papers sent for publication in the Journal of Science and Technology at the University of Science and Technology - Aden, Yemen, should meet the following requirements:

1. The journal publishes research papers in Arabic and English, in the following categories (but not limited to): Physics, Chemistry, Mathematics, s Engineering, and Computer Science. if they comply with the following conditions:

a. Title:

A title should summarize the main idea of the manuscript. It should identify the variables under investigation and the relationship between them. It should be concise and fully explanatory for readers when standing alone. It is recommended to be no more than 12 words and with no abbreviations. It should be typed in uppercase and lowercase letters, centered in the upper half of the page.

b. Author's name and institutional affiliation:

Every manuscript should include the name of the author and the institutional affiliation of the author when the research was conducted.

Author's name:

The preferred form of an author's name is first name, middle initial(s), and last name, with no titles (e.g., Dr., Professor) or degrees (e.g., PhD, PsyD, EdD). If the manuscript is done by more than one author, the names of the authors should be in the order of their contributions, centered between the side margins.

Institutional affiliation:

The affiliation (i.e. institution) should be centered under the author's name on the next line. If an author has no institutional affiliation, list the city and state of residence below the author's name. The emails for all authors should be provided.

c. Abstract:

An abstract in both Arabic and English must be included, with the former version **in the language of the manuscript**. It should be in a form of a brief, comprehensive summary of the contents of the manuscript written in a single paragraph with no paragraph indentation. It must not exceed 200 words.

The abstract should clearly describe the problem under investigation, in one sentence if possible; identify the purpose of the research, the essential features of study method; the participants' relevant characteristics such as age, sex, and ethnic and/or racial group; the basic findings including statistical significance levels; and the conclusions and the implications or applications. Keywords (3 - 5) should follow the abstract to increase user's ability to find useful information in the manuscript.

Introduction:

The body of a manuscript starts with an introduction that frames the problem under study and explores the importance of the problem (why the problem deserves new research). The statement about importance might involve the need to resolve any inconsistency in results of past work and/or extend the reach of a theoretical formulation and/ or investigate a practical problem that people suffer. The introduction ends in concluding the statement of the problem with a brief but formal statement of the purpose of the research that summarizes the material preceding it.

The author needs to discuss the relevant related literature in the introduction. A scholarly description of the earlier work will provide a summary of the most recent directly related work and recognize the priority of the work of others. The description of relevant literature will present what other aspects of this study have been investigated in the previous studies and how the current study differs from the earlier ones. For summarizing earlier works, focus should be on the topic (research syntheses of the topic), methodological issues, relevant findings, and main conclusions.

The discussion of related literature should demonstrate the logical continuity between previous and present work (**demonstration of gaps**); and the development of the problem should have enough breadth and clarity that make it easy to understand by a wide range of professionals.

After developing the theoretical background and the problem of the study, the author has to state the objectives and the hypotheses or specific questions. The introduction should be 10 to 15% of the manuscript. It starts on a separate page (i.e. p. 3).

d. Method:

This section describes in detail how the study was conducted, including conceptual and operational definitions of the variables used in the study. A comprehensive description of the methods used enables the reader to evaluate the appropriateness of the methods and the reliability and the validity of the results. It may include participant characteristics, sampling procedures, sample size, measures and research design.

e. Results:

Results section summarizes the collected data and the analysis done on those data. It should provide sufficient detail about the data to justify the study conclusions. The results should also include details that may not match the study expectation; or even small effect sizes (or statistically non-significant findings) particularly when theory predicts large (or statistically significant) ones. Uncomfortable results should not be omitted. The data can be presented in tables or figures (data presented in tables should not be represented in figures). Tables should be numbered in order of mention in the text. Tables can be single-spaced and should not contain any lines. Asterisks may be used to indicate significant findings. Symbols, acronyms or abbreviations should be used sparingly. Explanatory footnotes should be used whenever possible rather than overlong titles. Images should be submitted as high-resolution files (300 dpi or higher) in TIFF format (LZW compression) or JPEGs.

f. Discussion:

After presenting the results, their implications should be evaluated and interpreted, especially with respect to the original hypotheses. The author needs to examine, interpret, and draw inferences and conclusions from the results emphasize any theoretical or practical consequences of the results (Results and discussion can be combined in one section). Similarities and differences between the results and the work of others should be used to contextualize, confirm, and clarify the conclusions. Each new statement should contribute to the interpretation and to the reader's understanding of the problem.

The interpretation of the results should discuss the limitations or weaknesses of the study, and address alternative explanations of the results. It also discusses the generalizability of the findings. This critical analysis should take into account differences between the target population and the accessed sample.

g. Conclusion:

This concluding section presents a brief, reasoned and justifiable commentary on the importance of the findings. It is tightly reasoned, self-contained, and not overstated. In this section, the importance of the problem (as stated in the introduction) should be discussed; what larger issues might depend on the findings; and what propositions are confirmed or disconfirmed.

Acknowledgements:

This **section** refers to the aid received by the author from other relevant parties. Reference should also be made to any financial assistance received to conduct the research. Any extraordinary assistance received by the author in word processing, data collection, data analysis, and so on, should be acknowledged. The acknowledgements should not exceed 60 words.

References:

References start on a separate page.

Authors should acknowledge the work of previous scholars by citing references to document statements in their manuscripts. JST uses IEEE standard format. For accurate, complete, and useful citations, authors can use a reference management tool.

Publication Procedures:**Manuscript acceptance, rejection, or acceptance with revision:**

The editor decides whether the manuscript is accepted, rejected or needs to be revised based on the reviewers' reports.

Manuscript acceptance: Accepted manuscripts will undergo copy-editing and production phases of publication process. The authors will not be allowed to make further changes to the manuscript except for those recommended by the copyeditors. The authors remain responsible for the completion of any amendments required by the journal.



Manuscript Rejection: A manuscript is rejected if it falls outside the domain of the journal, has serious defects in design, methodology, analysis or interpretations, lack of contribution to the field, or has a low-quality.

Manuscript acceptance with revision:

A manuscript may be conditionally accepted. This takes place when the manuscript has a high potential for final acceptance and publication in the journal, and the author adheres to all the essential modifications required by the journal (e.g. gathering essential data, conducting new experiments, reanalyzing the data, etc.). The author has to attend to the editor's recommendations for revision. The revised manuscript should be resubmitted with an enclosed cover letter that contains a table explaining in detail how and where (in the manuscript) amendments have been done based on the reviewers' comments.

Publication Ethics:

The **JST** complies with the recommendations of the Committee on Publication Ethics (COPE) to promote the integrity of its published articles. The **JST** considers the following topics during the publishing process:

- **Originality & Source Acknowledgement:** The **JST** scans all submitted manuscripts before the peer-reviewing process using Turnitin®. The **JST** is zero-tolerant to plagiarism, self-plagiarism, copyright infringement, dual publication, text recycling and salami slicing. When any of these is identified after publishing, an announcement of retraction of the published material is highlighted in the journal's website. The authors are asked to provide appropriate references for published/unpublished cited texts. The corresponding author should confirm that the submission has not been previously published and is not being considered for publication elsewhere.

- **Research Misconduct:** The **JST** editorial team struggles to counter any possibility for data fabrication, manipulation and falsification. In case of suspected misconduct, the **JST** editors act in accordance to the COPE guidelines with this respect.

- **Conflicts of interest:** Authors should disclose potential conflicts of interest and indicate financial agreements or affiliations with any product or services used in the manuscript (as well as any potential bias against another product or service).

- **Authors:** Authors should disclose (in an author note) activities and relationships that if known to others might be viewed as a conflict of interest, even if the authors do not believe that any conflict or bias exists (e.g. an author has his stock in a company that manufactures a drug used in his study).

- **Reviewers:** Reviewers should also reveal their potential conflicts of interest (if any) to the action editor. They have an ethical obligation to be open and fair in assessing a manuscript without bias. They should not review a manuscript from a colleague or collaborator, a close personal friend, or a recent student. Reviewers should maintain the confidentiality of a manuscript. They should not discuss the manuscript with other individuals.

- **Using materials under copyrights:** The author should obtain letters of permission from copyright holders to reproduce (or adapt) copyrighted material and enclose copies of these letters with the accepted manuscript. Examples of material that require permission include reprinted figures and tables, tests and scale items, questionnaires, vignettes, etc.

Correction notices: If an error is detected in the published manuscript, the author can submit a proposed correction notice to the journal's editor. The notice should indicate the full title of the journal, the year of publication, the volume no., issue no., and the page nos. of the article, the precise location of the error(s) (e.g. page, line, column, exact quotation of the error, or paraphrasing of lengthy errors).

Publication Fees:

JST does not require any article processing charges or any article submission charges

Sponsorship:

JST is sponsored by the University of Science and Technology.



Opinions expressed in the journal are merely those of their authors and do not reflect those of the journal or the University.

Content:

Contents	Pages
<p>Evaluating the Effectiveness of Digital Forensic Investigations in Combating Cybercrime</p> <p style="text-align: center;">Fatimah Anwar Askar, Ayah Ali Al-Habshi, Nasr Al-Saqqaf, Wed Saeed Mohammed Mohammed, Ghadir Mohsen Ahmed, Marwa Mohammed Ibrahim, Maimonah Nasser Mohammed, Nouf Yaqoub Ahmed, Hajar Essam Mohammed</p>	1
<p>DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR UNDERGROUND IRRIGATION PUMP-ING WATER FOR THE AGRICULTURAL FARMLAND IN NATIONAL ROOT CROPS RESEARCH INSTITUTE, UMUDIKE (NRCRI), ABIA STATE, NIGERIA.</p> <p style="text-align: center;">Igwe E. Johnson, Hyginus Obinna Ozioko, Igwe C. Harryson, Nwankwojike B. Nduka, Emmanuel Ebube Eze</p>	11
<p>A Comparative Study of Distance Measures for 2DPCA-Based Face Recognition</p> <p style="text-align: right;">Waled Hussein Al-Arashi</p>	31
<p>Identifying and Classifying the Key Factors Influencing the Implementation of Cloud Computing in eHealth (A Case Study of Al-Thawra and Al-Jumhuri Hospitals in Sana'a)</p> <p style="text-align: right;">Khalid Ahmed Almswary</p>	40
<p>Fintech-Driven Risk and Return Analysis of Shariah-Compliant Mutual Funds: Evidence from Oman</p> <p style="text-align: center;">Abdulaziz Aborujilah, Waled H. Al-Arashi, Rawad Abdulghafor</p>	52
<p>Generalized Trirecurrence of Cartan's Second Curvature Tensor in Ph-Recurrent Spaces</p> <p style="text-align: right;">Adel M. Al-Qashbari, Wafa'a H. A. Hadi</p>	59
<p>AI in E-Learning: Exploring Challenges and LimitationsA Literature Review</p> <p style="text-align: center;">Ryad Ali Gbr, Nabil Mohammed Ali Munassar</p>	66
<p>An Optimized Hybrid Intelligent System for High-Accuracy Dewpoint Pressure Estimation</p> <p style="text-align: center;">Ibrahim Ali Farea, Abdelrigeeb Al-Gathe,</p>	73
<p>The Role of Developing 5G Networks in Accelerating Digital Transformation: A Case Study of Ericsson</p> <p style="text-align: right;">Sufyan Khloufi</p>	84
<p>DELINEATION OF GEOLOGICAL BOUNDARY IN IDI-EMI AND ENVIRONS, SOUTHWESTERN NIGERIA USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD</p>	94



تقييم اجراءات وتدابير الأمن السيبراني الحالية في منصة بازاري-اليمن

الاستلام: 03/ابريل/2025
التحكيم: 15/ اغسطس/2025
القبول: 16/ اغسطس /2025

- فاطمة أنور عسكر⁽¹⁾
آية علي الحبشي⁽¹⁾
نصر السقاف^(1*)
ود سعيد محمد⁽¹⁾
غدير محسن احمد⁽¹⁾
مروى محمد إبراهيم⁽¹⁾
ميمونة ناصر محمد⁽¹⁾
نوف يعقوب أحمد⁽¹⁾
هاجر عصام محمد⁽¹⁾

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا عدن-اليمن
* عنوان المراسلة: ust.edu@n.alsaqqaf

تقييم إجراءات وتدابير الأمن السيبراني الحالية في منصة بازاري-اليمن

فاطمة أنور عسكر
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
fatimaaskar005@gmail.com

أية علي الحبشي
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
ayah.ali2@icloud.com

نصر السقاف
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
ust.edu@n.alsaqqaf

ود سعيد محمد
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
wisoline5656@gmail.com

غدير محسن احمد
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
deergh002002@gmail.com

مروى محمد إبراهيم
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
marwahsmanymail@gmail.com

ميمونة ناصر محمد
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
maymonanaser9@gmail.com

نوف يعقوب أحمد
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
noofalyafei7@gmail.com

هاجر عصام محمد
قسم الحاسبات-جامعة العلوم وتكنولوجيا
عدن-اليمن
hageresam040@gmail.com

its advanced security systems, has successfully withstood daily attacks. Have you ever wondered how banks protect your money and data from internet pirates? This research takes you on an exploratory journey inside Aden First Bank's cybersecurity systems, revealing the strategies it employs to counter increasing threats. You will learn how best security practices are applied in a challenging environment, and how other banks in developing countries can benefit from this experience. Keywords: Cybersecurity, Information Security, First Aden Bank, Cyber Risks in Developing Countries, Financial Banking Sector, Bazari Platform.

Keywords— digital forensic investigations, cybercrime countermeasures, digital evidence recovery, perpetrator identification, digital forensic tools

I. المقدمة

في عصر تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الحالي، شهد قطاع التجارة الإلكترونية تطوراً ملحوظاً، مُحدثاً ثورة في كيفية تفاعل الشركات والمستهلكين وإجراء المعاملات من خلال التعاملات الإلكترونية من خلال طرق البيع والشراء والدفع الإلكتروني والاستلام والتسليم للمنتجات. ومع ذلك التطور الكبير، فقد عرّض هذا التطور السريع منصات التجارة الإلكترونية لمجموعة واسعة من تهديدات الأمن السيبراني، مما جعلها هدفاً رئيسياً للمهاجمين (الهاكر) الذين يسعون إلى استغلال الثغرات الأمنية. يُشكل التعقيد المتزايد

الملخص:

في عالم يتسارع فيه التحول الرقمي، أصبحت البنوك هدفاً رئيسياً للهجمات السيبرانية، وخاصة في الدول النامية ذات البنية التحتية الهشة. هذا البحث يكشف النقاب عن التحديات التي تواجه القطاع المصرفي في اليمن، ويركز على قصة نجاح ملهمة لبنك عدن الأول، الذي استطاع بفضل أنظمة أمانه المتقدمة أن يصمد في وجه الهجمات اليومية.

هل تساءلت يوماً كيف تحمي البنوك أموالك وبياناتك من قرصنة الإنترنت؟ هذا البحث يأخذك في رحلة استكشافية داخل أنظمة الأمن السيبراني لبنك عدن الأول، ويكشف عن الاستراتيجيات التي يستخدمها للتصدي للتهديدات المتزايدة. ستتعرف على كيفية تطبيق أفضل الممارسات الأمنية في بيئة مليئة بالتحديات، وكيف يمكن للبنوك الأخرى في الدول النامية أن تستفيد من هذه التجربة.

الكلمات المفتاحية الامن السيبراني، امن المعلومات، بنك عدن الاول، المخاطر السيبرانية في الدول النامية، القطاع المالي المصرفي، منصة بازاري..

Evaluating the Effectiveness of Digital Forensic Investigations in Combating Cybercrime

Abstract— Assessing Current Cybersecurity Procedures and Measures in the Bazzary Platform - Yemen In a world where digital transformation is accelerating, banks have become a primary target for cyberattacks, especially in developing countries with fragile infrastructure. This research reveals the challenges facing the banking sector in Yemen. It highlights the inspiring success story of Aden First Bank, which, thanks to

من الناحية الأكاديمية، يساهم البحث في تعزيز الأدبيات المتعلقة بالأمن السيبراني والتجارة الإلكترونية، ويقدم أفكارًا جديدة حول التهديدات والتحديات التي تواجه منصات التجارة في الجمهورية اليمنية. مع تزايد الاعتماد على المنصات الرقمية وزيادة تعقيد التهديدات السيبرانية، تصبح الأبحاث في هذا المجال ذات أهمية متزايدة. تعالج هذه الدراسة الفجوات الموجودة في هذه الأدبيات من خلال تحليل كيفية تأثير الإجراءات الأمنية على حماية البيانات وسلوك المستهلكين.

أما من الناحية التطبيقية، يعزز البحث قدرة الشركات على تحديد نقاط الضعف في أنظمتها الأمنية وتطوير استراتيجيات فعالة لحماية البيانات الحساسة. حيث يقدم توصيات لتحسين مستوى الأمان، مما يساعد في تعزيز ثقة العملاء في المنصات الإلكترونية. تستفيد الشركات العاملة في التجارة الإلكترونية، خاصة في الجمهورية اليمنية، من دراسة حالة منصة "بازاري"، حيث يمكنها التعلم من التجارب والتحديات التي واجهتها، مما يزيد من وعيها بأهمية الأمن السيبراني.

تحتل هذه الدراسة بأهمية كبيرة من الناحية الاقتصادية، حيث تساهم في تعزيز الاقتصاد الرقمي في الجمهورية اليمنية. مع تزايد الاعتماد على التجارة الإلكترونية، يتعين على الشركات وضع استراتيجيات فعالة لإدارة المخاطر الأمنية لضمان استدامة العمليات وزيادة ثقة العملاء.

IV. أهداف الدراسة

تعد التجارة الإلكترونية، وخاصة عبر منصات مثل "بازاري"، جزءًا أساسيًا من السوق الرقمي. وباعتبارها من المنصات الإلكترونية الرائدة التي تقدم تجربة تسوق شاملة، فقد تواجه تحديات كبيرة في مجال حماية البيانات والمعلومات الحساسة. ولهذا نسعى من خلال هذه الدراسة إلى:

1. التعرف على الإجراءات الأمنية التي تمارسها منصة "بازاري".
2. التعرف على التهديدات السيبرانية الأكثر شيوعًا التي تستهدف المتاجر الإلكترونية، وخاصةً منصات مثل "بازاري".
3. تقييم الإجراءات الأمنية المتبعة في منصة "بازاري" للتجارة الإلكترونية.
4. تطوير حلول مبتكرة لتعزيز إجراءات وتدابير الأمن السيبراني وحماية البيانات الحساسة للمستخدمين؟

V. منهجية البحث

تستند هذه الدراسة إلى منهجية بحث نوعي، تهدف إلى استكشاف الإجراءات والتدابير المتعلقة بالأمن السيبراني في المتاجر الإلكترونية، دراسة حالة: بازاري.

وذلك من خلال إجراء مقابلات متعمقة مع مدير تقنية المعلومات قسم منصة بازاري.

تعتمد أدوات جمع البيانات على المقابلات المباشرة، حيث قام فريق البحث بتدوين وتسجيل المعلومات المقدمة من المشاركين لضمان الدقة والموثوقية. ويتم تحليل البيانات باستخدام التحليل الموضوعي، بهدف استخلاص الأنماط والموضوعات الرئيسية المتعلقة بموضوع البحث. إضافةً إلى المقابلات المتعمقة، استندت الدراسة إلى بحث شامل عبر الإنترنت لتوسيع نطاق فهمنا للأمن السيبراني في المتاجر الإلكترونية،

للهجمات الإلكترونية والطبيعة المتطورة للتهديدات تحدياً كبيراً لحماية البيانات الحساسة والحفاظ على سلامة المعاملات الإلكترونية. [1]

تواجه منصات التجارة الإلكترونية، بدءًا من الشركات الكبرى متعددة الجنسيات وصولاً إلى شركات التجزئة الصغيرة عبر الإنترنت، خطرًا مستمرًا لمواجهة تهديدات إلكترونية مثل هجمات التصيد الاحتيالي، التي تخدع المستخدمين لدفعهم إلى الكشف عن معلوماتهم الشخصية؛ والبرامج الضارة، التي يُمكن أن تُفسد الأنظمة وتسرق البيانات؛ واختراقات البيانات، حيث يُعرض الوصول غير المصرح به للمعلومات السرية للخطر. بالإضافة إلى ذلك، تُضيف التهديدات الداخلية والأشكال المتطورة من برامج الفدية مستويات إضافية من التعقيد إلى مشهد الأمن السيبراني. تهدف هذه الورقة إلى تقديم نظرة شاملة على الاتجاهات الحالية لتهديدات الأمن السيبراني في قطاع التجارة الإلكترونية، واستكشاف استراتيجيات التخفيف الفعالة التي يمكن استخدامها لمواجهة هذه التهديدات. سنتناول الدراسة الاتجاهات الناشئة، مثل الاستخدام المتزايد للذكاء الاصطناعي من قبل مجرمي الإنترنت، ونقاط الضعف المرتبطة بأجهزة إنترنت الأشياء (IoT)، والتي يتم دمجها بشكل متزايد في منصات التجارة الإلكترونية.

والذي بدوره ألقى على عاتق المؤسسات مسؤولية تأمين هذه البيانات للحفاظ على ثقة العملاء والامتثال للمعايير التنظيمية. ولضمان الأمن السيبراني في المراكز الإلكترونية، يجب على المؤسسات التركيز على ثلاثة جوانب أساسية: التوافق والنزاهة والسرية. [2]

باتخاذ هذه الإجراءات، يمكن للمؤسسات ضمان الأمن السيبراني في المراكز الإلكترونية، وحماية البيانات الحساسة من التهديدات الرقمية المتزايدة، مما يعزز استدامة الأعمال ويضمن الانسيابية في العمليات التجارية. [3]

من خلال البحث سنتعرف على إجراءات وتدابير الأمن السيبراني المتبعة في منصة بازاري وسيتّم من خلالها تقييم فعالية الإجراءات والتدابير.

II. مشكلة الدراسة

تواجه منصة "بازاري" للتجارة الإلكترونية تحديات متزايدة في مجال الأمن السيبراني، حيث يشهد هذا المجال نموًا متسارعًا وهجمات سيبرانية متطورة. تعتبر حماية بيانات المستخدمين الحساسة والحفاظ على سمعة المنصة أمرًا بالغ الأهمية، مما يستدعي إجراء دراسة لتقييم الإجراءات الأمنية الحالية واقتراح إجراءات وتدابير لتعزيز مستوى الأمن السيبراني.

تسعى هذه الدراسة للإجابة عن الأسئلة التالية:

- ما هي الإجراءات والتدابير الأمنية المتبعة حاليًا في منصة "بازاري"؟
- ما هي نقاط الضعف المحتملة في الإجراءات الأمنية الحالية لمنصة "بازاري"؟ وكيف يمكن تطوير إجراءات وتدابير لمعالجة هذه النقاط وتعزيز مستوى الأمن السيبراني وحماية البيانات الحساسة للمستخدمين؟
- ما هي أبرز التهديدات السيبرانية التي تستهدف المتاجر الإلكترونية، وخاصةً المنصات المشابهة لمنصة "بازاري"؟

III. أهمية البحث

وذلك من خلال مراجعة الأدبيات الأكاديمية والتقارير الصادرة عن الجهات المتخصصة في اليمن وخارجه. نظراً لطبيعة البحث النوعي، يتم التركيز على استكشاف التجارب والممارسات بدلاً من اختبار الفرضيات، مما يقلل من القيود المحتملة. ومع ذلك، قد تظهر بعض القيود المتعلقة بتعميم النتائج على مجتمع أوسع، نظراً لحجم العينة المحدود. يتم الالتزام بأخلاقيات البحث من خلال الحصول على موافقة المشاركين وضمان سرية المعلومات المقدمة.

VI. الدراسات السابقة

1. E-Commerce Supply Chains with Considerations of Cyber-Security [4] يستعرض هذا البحث قضايا الأمن السيبراني في التجارة الإلكترونية. يهدف إلى تقييم التدابير الأمنية الحالية ومعرفة نقاط الضعف، واقتراح إجراءات وتدابير لتقليل المخاطر.

يركز البحث على:

1. تحديات الأمن السيبراني: تشمل تسرب البيانات وهجمات الفدية.
2. الحلول: multi-factor authentication، Encryption، وبوابات الدفع الآمنة.
3. أهمية تدريب وزيادة الوعي الموظفين بأهمية الأمن السيبراني.
4. دراسة القوانين والمعايير الدولية ومتطلبات الامتثال.
5. يسعى البحث لتعزيز الأمن السيبراني في سلاسل التوريد للتجارة الإلكترونية للحفاظ على البيانات وبناء سمعة قوية في السوق، مما يؤدي إلى نمو مستدام في الاقتصاد الرقمي. [4]

2. Cybersecurity and E-commerce in Free Trade Agreements [5] البحث يركز على التحول الرقمي وتأثيره العميق على الاقتصاد العالمي. من خلال تحليل النمو الهائل في التكنولوجيا، وخاصة الإنترنت، الحوسبة السحابية، البيانات الضخمة، إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي. يُسلط الضوء على كيفية ارتباط العالم المادي بكل نشاط بشري من خلال الأجهزة والشبكات، ويعرض تأثير الرقمنة على التجارة الإلكترونية والأمن السيبراني.

VII. أهداف البحث

تقديم إحصاءات حول كمية البيانات الضخمة المتدفقة عبر الإنترنت وتأثيرها على الاقتصاد. كيفية تعزيز التجارة الإلكترونية وتحديد العوامل التي ساهمت في نموها. تحليل التهديدات والفرص المتعلقة بالأمن السيبراني وأهمية التعاون الدولي لحماية الفضاء الإلكتروني. تحديد التحديات والسياسات من خلال تقديم توصيات حول كيفية التعامل مع المخاطر في الفضاء الإلكتروني لضمان عدم عرقلة التجارة الإلكترونية. [5]

3. Cybersecurity Threats in E-Commerce: Trends and Mitigation Strategies [6]

تبحث هذه الورقة البحثية في تهديدات الأمن السيبراني السائدة التي تواجه التجارة الإلكترونية، وتستكشف الاتجاهات الحالية لهذه التهديدات. تُحدد الدراسة فئات رئيسية من التهديدات، مثل هجمات التصيد الاحتيالي، والبرامج الضارة، واختراقات البيانات، والتهديدات الداخلية، والتي يتميز كل منها بقدرات متزايدة التطور والتنمير. من خلال تحليل الحوادث البارزة الأخيرة والتهديدات الخاصة بالقطاع، تُقدم الدراسة فهماً شاملاً لكيفية تأثير هذه التهديدات على مختلف قطاعات التجارة الإلكترونية. واستجابةً لتنامي مشهد التهديدات، تُحدد الورقة استراتيجيات تخفيف مختلفة. تُناقش التدابير التقنية، مثل التشفير، وبوابات الدفع الآمنة، وأنظمة كشف التسلل، إلى جانب الممارسات التنظيمية، بما في ذلك تدريب الموظفين، وتخطيط الاستجابة للحوادث، وسياسات التحكم في الوصول. تُشدد هذه الورقة على أهمية الامتثال القانوني والتنظيمي، مُسلطة الضوء على ضرورة التزام الشركات بلوائح مثل اللائحة العامة لحماية البيانات (GDPR) وقانون خصوصية المستهلك في كاليفورنيا (CCPA). بالإضافة إلى ذلك، تستكشف الورقة دور التعاون وتبادل المعلومات بين الجهات الفاعلة في هذا القطاع لتعزيز دفاعات الأمن السيبراني الجماعية. من خلال دراسة التهديدات المتطورة والتدابير الفعالة لمواجهةها، تهدف هذه الورقة إلى تقديم رؤى قيمة وتوصيات عملية لشركات التجارة الإلكترونية. تُؤكد النتائج على ضرورة اتباع نهج استباقي ومتعدد الجوانب للأمن السيبراني، يجمع بين التدابير التكنولوجية والتنظيمية والتنظيمية لحماية بيانات التجارة الإلكترونية من التهديدات السيبرانية المتزايدة التعقيد.

4. Exploring the Role of Cyber Security Measures (Encryption, Firewalls, and Authentication Protocols) In Preventing Cyber-Attacks on E-Commerce Platforms [7]

تسعى هذه الدراسة إلى دراسة أهمية تدابير الأمن السيبراني، وتحديدًا قوة التشفير (ES)، وتكوين جدار الحماية (FC)، وبروتوكولات المصادقة (AP)، في حماية منصات التجارة الإلكترونية من الهجمات الإلكترونية. وتضمنت عملية جمع البيانات إجراء استبيان لمختبري تكنولوجيا المعلومات المسؤولين عن الإشراف على عمليات التجارة الإلكترونية في مجموعة من المؤسسات الموجودة في المملكة العربية السعودية. واستُخدمت طريقة أخذ العينات الملائمة لتوزيع ما مجموعه 300 استبيان، اختيرت منها 190 إجابة مكتملة للتحليل. وقد تم تقدير نموذج القياس، الذي شمل متغيرات مثل قوة التشفير (ES)، وتكوين جدار الحماية (FC)، وبروتوكولات المصادقة (AP)، والتدريب الأمني (ST)، وحوادث الهجمات الإلكترونية (CAI)، وثقة العملاء (CT)، ووقت الاستجابة للحوادث (IRT)، باستخدام نموذج المعادلة الهيكلية في Amos. وتقدم نتائج هذه الدراسة رؤى ثاقبة حول العلاقة بين تدابير الأمن السيبراني وتأثيرها على وتيرة الهجمات الإلكترونية. وتسلط الدراسة الضوء على أهمية التشفير، وتكوين جدار الحماية، وبروتوكولات المصادقة في تعزيز منصات التجارة الإلكترونية. بالإضافة إلى ذلك، تبحث هذه الدراسة في تأثير التدريب الأمني على تحسين الوضع العام للأمن السيبراني، وأثره اللاحق على ثقة العملاء. كما تأخذ الدراسة في الاعتبار مدة الاستجابة للحوادث كعامل حاسم في الحد من عواقبها. تُسهم نتائج هذه الدراسة في فهم أشمل لبيئة الأمن السيبراني في مجال التجارة الإلكترونية.

VIII. الخلفية النظرية

المبحث الأول:

● منصة بازاري: [8]

تأسست شركة "بازاري" في عام 2018 في مدينة عدن، اليمن. بدأت الشركة كمتجر إلكتروني يهدف إلى تقديم منتجات بأسعار معقولة. مع مرور الوقت، نجحت "بازاري" في توسيع نطاق عملها بفضل استراتيجياتها الفعالة في التسويق والابتكار، مما جعلها أكبر متجر إلكتروني في اليمن..

الهدف: تسعى لتغيير وبناء مستقبل صناعة التجارة الإلكترونية في اليمن من خلال تطوير الخدمات اللوجستية والعمليات والمدفوعات.

المهمة: توفير بيئة شراء سهلة وأمنة من خلال تسهيل عملية الدفع والاستلام وخدمة التوصيل للمنزل وسياسة استرجاع سهلة

طبيعة العمل: نربط بين البائع والمشتري عن طريق منصتنا الإلكترونية لخلق تجربة تسوق سهلة وسلسة من خلال نظام محكم لمتابعة رحلة العميل من البداية إلى النهاية

المنتجات والخدمات

الإلكترونيات: تقدم "بازاري" مجموعة متنوعة من الأجهزة الإلكترونية مثل الهواتف المحمولة، الأجهزة اللوحية، والتلفزيونات، وأجهزة الكمبيوتر.

أجهزة المنزل: تشمل الأجهزة المنزلية الصغيرة والكبيرة مثل المكائن الكهربائية، الميكروويف، وأجهزة التبريد.

ملحقات التلفاز: تقدم ملحقات متنوعة مثل أجهزة الاستقبال، السماعات، والكاميرات.

الجولات: تشمل الهواتف الذكية، الأجهزة اللوحية، والملحقات المتعلقة بها.

أجهزة لوحية: تقدم "بازاري" مجموعة متنوعة من الأجهزة اللوحية لأغراض متعددة.

الأزياء والإكسسوارات: تشمل ملابس نسائية ورجالية، بالإضافة إلى الإكسسوارات مثل الحقائب والمجوهرات.

الرياضة واللياقة البدنية: تقدم معدات رياضية للياقة البدنية والأدوات المتعلقة بالرياضة.

السيارات والدراجات النارية: توفر "بازاري" ملحقات السيارات والدراجات النارية المختلفة.

الصحة والعناية الشخصية: تشمل منتجات العناية بالبشرة، الشعر، وكذلك الأجهزة الخاصة بالعناية الشخصية مثل الماكينات الكهربائية.

منتجات منزلية: تشمل الأدوات المنزلية، والمستلزمات اليومية.

ألعاب وهوايات: تقدم "بازاري" مجموعة من الألعاب والمنتجات المتعلقة بالهوايات.

سوبر ماركت: توفر "بازاري" مجموعة واسعة من المنتجات الغذائية والمواد الأساسية.

السوق المستهدف

تستهدف "بازاري" جميع الفئات العمرية وجميع الأجناس. تسعى الشركة لتوفير منتجات متنوعة تلبي احتياجات الأفراد من جميع الأعمار، مما يجعلها جذابة للمتسوقين من مختلف الفئات..

الاستراتيجيات التسويقية

تستخدم "بازاري" استراتيجيات تسويقية مبتكرة، منها التسويق عبر المؤثرين - تتعاون مع مؤثرين مشهورين على منصات مثل إنستغرام وتيك توك لزيادة الوعي بالعلامة التجارية.

العروض الترويجية والخصومات: تقدم الشركة خصومات مغرية وعروض ترويجية جذابة لجذب العملاء الجدد.

التفاعل مع العملاء: تعتمد "بازاري" على استطلاعات الرأي ومراجعات العملاء لتحسين منتجاتها وتجربة التسوق.



مخطط رقم (1): منصة بازاري

المبحث الثاني:

● تهديدات الأمن السيبراني للتجارة الإلكترونية:

تواجه منصات التجارة الإلكترونية في اليمن مجموعة من التهديدات السيبرانية التي قد تعطل العمليات التجارية

وتعرض بيانات العملاء للخطر. تشمل التهديدات الرئيسية:

● هجمات التصيد الاحتيالي (Phishing attacks) [9]:

هجوم التصيد الاحتيالي هو وسيلة لإرسال رسائل بريد إلكتروني احتيالية تبدو وكأنها تأتي من مصادر موثوقة. الهدف الرئيسي من هذا النوع من الهجمات هو الحصول على معلومات شخصية وبيانات اعتماد.

يُعتبر هجوم التصيد الاحتيالي شكلاً من أشكال الهندسة الاجتماعية والخداع التقني. يتجسد ذلك في شكل رسائل بريد إلكتروني تحتوي على روابط مدمجة يمكن أن تحمل برمجيات خبيثة إلى النظام.

أحياناً تقود هذه الروابط إلى مواقع غير شرعية تجعلنا نقوم بتنزيل برمجيات خبيثة أو كشف معلوماتنا الشخصية. تستخدم هجمات التصيد الاحتيالي مجموعة من الأدوات الإعلامية، مثل الرسائل والمكالمات.

تشمل تقنيات التصيد المختلفة: هجمات "وايلينغ"، "سفير التصيد"، "فارمينغ"، والتصيد الخداعي. كما يوضح المخطط رقم (2) طريقة

عمل التصيد الاحتيالي [10]

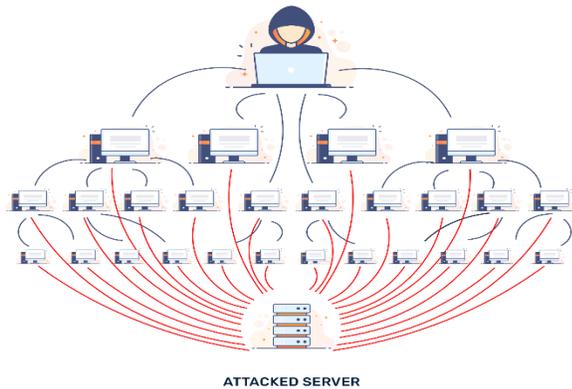
لتقليل خطر هجمات التصيد الاحتيالي، يمكن استخدام التفكير النقدي، التحقق من الروابط من خلال تمرير المؤشر عليها، تحليل رؤوس البريد الإلكتروني، واستخدام تقنيات "ساند بوكس". علاوة على ذلك،

من خلال زيادة الوعي بين موظفي المؤسسات وكذلك الأفراد، يمكننا الحد من هجمات التصيد الاحتيالي إلى حد ما. [11]

- برمجيات الفدية (Ransomware): نوع من البرمجيات الضارة التي تقفل بيانات المستخدم ما لم يتم دفع فدية. من الصعب جداً منع هذا الهجوم على الرغم من أن الشيفرة بسيطة [15].
- البرمجيات التجسسية (Spyware): نوع من البرمجيات الخبيثة التي تراقب نشاط المستخدم دون موافقته وتبلغ المهاجم. [6]
- هجمات حرمان الخدمة (DoS) وهجمات حرمان الخدمة الموزعة (DDoS) [16]

هجوم حرمان الخدمة هو هجوم يقوم بتجاوز موارد النظام بحيث لا يمكنه الاستجابة لطلبات الخدمة. يتم إطلاق هجوم DDoS من قبل جهاز مضيف متأثر ببرمجيات خبيثة يتحكم بها المهاجم. في هذا النوع من الهجمات السيبرانية، يتم جعل موارد الجهاز أو الشبكة غير متاحة للمستخدم المستهدف من خلال تعطيل خدمة المضيف المتصل بالإنترنت. تشمل أنواع هجمات DoS وDDoS: هجوم TCP SYN flood، وهجوم teardrop، وهجوم smurf، وهجوم ping-of-death، والشبكات الروبوتية (botnets).

من الصعب جداً منع هجوم DoS، حيث إنه من الصعب التمييز بين الطلبات المشروعة والطلب الخبيث نظراً لاستخدامهما نفس المنفذ والبروتوكول. لحماية النظام من هجمات حرمان الخدمة، يجب التأكد من أن النظام يحتوي على نظام كشف التسلل (IDS) ومنتجات حماية DDoS. من الضروري أيضاً التأكد من وجود عرض نطاق إنترنت زائد في المؤسسة المعنية. حيث يساعد وجود عرض نطاق كبير لطلبات خدمة الحركة المرورية في الحماية من هجمات DDoS منخفضة الحجم. ويوضح المخطط رقم(4) طريقة هجمات حرمان الخدمة [17]



مخطط رقم(4): هجمات حرمان الخدمة

- هجوم التنصت (Eavesdropping attack): يُعرف أيضاً بهجوم "sniffing" أو "snooping". يتعامل هجوم التنصت مع اختراق البيانات التي تُرسل عبر الأجهزة الرقمية. يستخدم المهاجم شبكة غير آمنة للتواصل ويفحص البيانات المرسلة والمستلمة. نظراً لأن هذا النوع من الهجمات لا يظهر أي عمليات غير طبيعية أثناء النقل عبر الشبكة، فمن الصعب جداً اكتشافه. باستخدام هذه الطريقة، يمكن للمهاجم الحصول على معلومات متنوعة مثل رقم بطاقة الائتمان، وكلمات المرور، وغيرها من المعلومات الحساسة المرسلة عبر الشبكة. قد يقوم المهاجم بإدخال جهاز تنصت



مخطط رقم (2): آلية عمل التصدي الاحتمالي

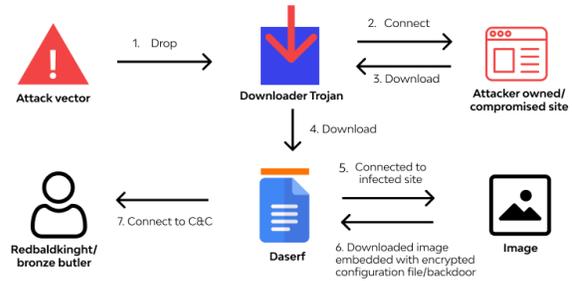
• هجمات البرمجيات الخبيثة (Malware Attack):

هجوم البرمجيات الخبيثة هو نوع من الهجمات السيبرانية يتم فيه تثبيت برامج ضارة على جهاز المستخدم دون موافقته. تشمل هذه البرمجيات ما يُعرف الآن بالفيروسات، والبرمجيات التجسسية، وبرمجيات الفدية، وغيرها. يتم ربط الشيفرة الخبيثة بالشيفرة الشرعية، وتنتشر وتنفذ من تلقاء نفسها. يمكن للبرمجيات الخبيثة الوصول إلى الشبكات الخاصة، وتعطيل بعض العمليات الحاسوبية، وسرقة المعلومات الحساسة أو أي بيانات أخرى للمستخدم، وبالتالي تحقيق مكاسب غير مشروعة من الهدف. حالياً، تهدف البرمجيات الخبيثة بشكل أكبر إلى استهداف المعلومات التجارية أو المالية بدلاً من أي معلومات شخصية. [12]

أكثر أنواع البرمجيات الخبيثة شيوعاً تشمل:

- الفيروسات: برامج ضارة ترتبط بأي برنامج كمبيوتر، تتكرر وتعديل الشيفرة عند التنفيذ. يمكن أن تنتشر عن طريق تنزيل ملف أو تشغيل برنامج.
- الدودة (Worms): تنتشر عبر أجهزة الكمبيوتر أو الشبكات من خلال مرفقات البريد الإلكتروني. قد يؤدي ذلك إلى هجمات حرمان الخدمة.
- التروجان (Trojans): واحدة من أخطر البرمجيات الخبيثة التي تحتوي على وظائف ضارة. تختبئ داخل برنامج مفيد ولا تتكرر مثل الفيروسات [13]. كما يوضح المخطط رقم (3) آلية عمل حصان طروادة [14].

Example of how "Daserf" Trojan works



مخطط رقم (3): آلية عمل حصان طروادة

- الدقيقات الأمنية المنتظمة واختبارات الاختراق: تقوم بازاري بإجراء اختبارات أمنية ربع سنوية واختبارات اختراق لتحديد الثغرات وتعزيز الدفاعات.
- مصادقة متعددة الطبقات وتشفير البيانات: يتم حماية جميع حسابات المستخدمين بمصادقة متعددة العوامل، ويتم تشفير البيانات الحساسة باستخدام معايير AES-256.
- برامج توعية الموظفين والعملاء: تستثمر الشركة في تدريب موظفيها وتنقيف العملاء حول أفضل ممارسات الأمن السيبراني.

التعاون مع الهيئات التنظيمية: تعمل بازاري عن كثب مع الوكالات المحلية والدولية لأمن السيبراني للبقاء على اطلاع بالتهديدات الناشئة ومتطلبات الامتثال.

المبحث الثالث:

التدابير الأمنية المتبعة في بازاري:

وقد أشار مدير التقنية في منصة بازاري، "نلتزم بأعلى معايير الأمن السيبراني لضمان حماية بيانات المستخدمين وتأمين المعاملات الرقمية. استراتيجيتنا الأمنية مبنية على أفضل الممارسات في الصناعة وتشمل التدابير التالية:

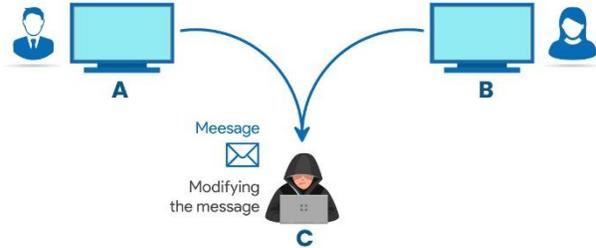
1. تشفير البيانات: يتم تشفير جميع البيانات الحساسة باستخدام بروتوكولات تشفير متقدمة لحماية البيانات أثناء النقل وعند الراحة، مما يضمن الامتثال للمعايير الأمنية العالمية.
2. المصادقة متعددة العوامل (MFA): يتم تطبيق المصادقة الثنائية (2FA) للمستخدمين والمشرفين لتعزيز أمان الحساب ومنع الوصول غير المصرح به.
3. إدارة الوصول والصلاحيات: يتم تطبيق نموذج الوصول بأدنى صلاحية (Least Privilege Access) لتقييد الأدونات إلى الوظائف الضرورية فقط، مما يقلل من المخاطر الأمنية الداخلية المحتملة.
4. مراقبة التهديدات والاستجابة للحوادث: يتم استخدام حلول إدارة معلومات الأمن والأحداث (SIEM) لاكتشاف التهديدات والاستجابة لها في الوقت الفعلي، مما يضمن التخفيف الاستباقي للحوادث الأمنية.
5. اختبار الاختراق الدوري: يتم إجراء اختبارات اختراق دورية بناءً على الأطر الأمنية المعترف بها لتحديد ومعالجة الثغرات قبل أن يتم استغلالها.
6. خطط النسخ الاحتياطي واستمرارية الأعمال: يتم تنفيذ النسخ الاحتياطي المشفر الدوري واستراتيجيات التعافي من الكوارث للحفاظ على استمرارية الخدمة وتقليل فترة التوقف في حال حدوث حوادث أمنية".

منصة بازاري بين التحديات والفرص: دراسة تحليلية

تستمر التهديدات السيبرانية في التطور، مما يتطلب تحسينات مستمرة في استراتيجيات الأمان. تشمل بعض المجالات الرئيسية للتحسين:

1. هجمات حشو بيانات الاعتماد والتصيد الاحتيالي
 - الحل: تعزيز آليات المصادقة، توسيع استخدام المصادقة بدون كلمة مرور، وتحسين برامج التوعية للمستخدمين لتقليل مخاطر التصيد الاحتيالي.
 - 2. أمان التطبيقات وواجهات البرمجة

(sniffer) على كمبيوتر أو خادم لتنفيذ هجوم التنصت والاستيلاء على البيانات أثناء النقل. كما يوضح المخطط رقم (5) طريقة هجوم التنصت [18]



ACTIVE EAVESDROPPING ATTACK

مخطط رقم (5): هجوم التنصت

يمكن أن يكون هذا الهجوم من نوعين:

1. التنصت السلبي (Passive Eavesdropping): يحدث عن طريق الاستماع إلى نقل الرسائل في الشبكة، حيث يكشف المهاجم البيانات.
 2. التنصت النشط (Active Eavesdropping): يحصل المهاجم على البيانات من خلال التظاهر بأنه وحدة صديقة وإرسال استفسارات للمستقبل.
- يساعد استخدام برامج مكافحة الفيروسات، وجدران الحماية، والشبكات الخاصة الافتراضية (VPN)، والتشفير، وتجنب الشبكات العامة لنقل البيانات الحساسة في الوقاية من هجوم التنصت [19].

تحديات الأمن السيبراني في اليمن:

على الرغم من التركيز العالمي على الأمن السيبراني، تواجه اليمن تحديات مميزة:

- إطار تنظيمي ضعيف: تفتقر اليمن إلى قانون شامل للأمن السيبراني، مما يؤدي إلى ضعف تطبيق السياسات والمعايير الأمنية.
- وعي ضعيف بالأمن السيبراني: العديد من أصحاب الأعمال والمستهلكين في اليمن لديهم معرفة محدودة بالتهديدات الأمنية السيبرانية وأفضل الممارسات.
- بنية تحتية تكنولوجية ضعيفة: تزيد عدم استقرار الاتصال بالإنترنت في البلاد، والأنظمة القديمة، والاعتماد على خدمات استضافة غير آمنة من مخاطر الأمن السيبراني.
- تطبيق القانون غير المتسق: غالبًا ما تمر الجرائم السيبرانية دون عقاب بسبب غياب القدرات الجنائية الرقمية وآليات تطبيق القانون المنسقة

استراتيجيات الأمن السيبراني:

- أنظمة الكشف عن التهديدات المتقدمة: قامت الشركة بنشر أدوات أمان مدعومة بالذكاء الاصطناعي للكشف عن التهديدات المحتملة والتخفيف منها في الوقت الحقيقي.

• الحل: تنفيذ مبادئ أمان الثقة الصفرية (Zero Trust Security)، تعزيز اختبار الأمان الآلي، ومراقبة واجهات البرمجة باستمرار للكشف عن الثغرات.

3. هجمات رفض الخدمة الموزعة (DDoS)

• الحل: استخدام جدران الحماية لتطبيقات الويب (WAF) ودمج شبكات توصيل المحتوى (CDN) لتقليل تأثير الهجمات واسعة النطاق.

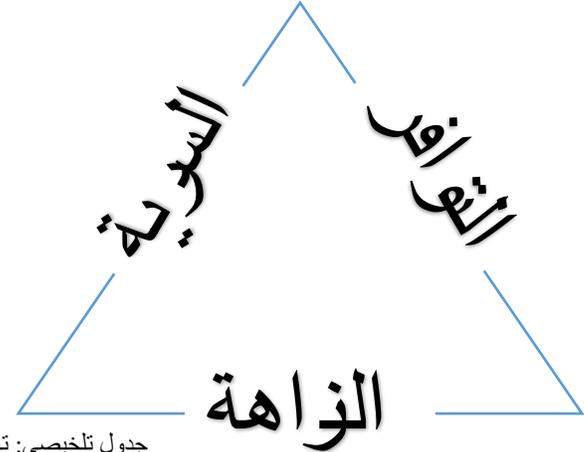
التحديات السيبرانية الشائعة التي تستهدف منصة بازاري:

- تواجه منصات التجارة الإلكترونية، بما في ذلك بازاري، مجموعة متنوعة من التهديدات السيبرانية. وتشمل التهديدات الأكثر شيوعًا:
1. هجمات التصيد الاحتيالي - يحاول المجرمون الإلكترونيون سرقة بيانات اعتماد المستخدمين ومعلومات الدفع من خلال رسائل البريد الإلكتروني الاحتيالية.
 2. هجمات - DDos هجمات واسعة النطاق تهدف إلى إغراق وتعطيل الخدمات عبر الإنترنت.
 3. استغلال واجهات البرمجة - (API) استهداف الثغرات في واجهات البرمجة للوصول غير المصرح به إلى البيانات الحساسة أو وظائف النظام.

IX. التوصيات:

- تعزيز تنظيمات الأمان السيبراني: يجب على اليمن تطوير وتطبيق قوانين الأمان السيبراني التي تحمي الأعمال التجارية الإلكترونية والمستهلكين.
- تشجيع أنظمة الدفع الآمنة: ينبغي على الشركات اعتماد بوابات دفع موثوقة تتمتع بقدرات كشف الاحتيال.
- تحسين البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات: تعتبر الاستثمارات في الاستضافة الآمنة، والإنترنت عالي السرعة، وقدرات الطب الشرعي الرقمي أمرًا حيويًا.
- تشجيع برامج تدريب الأمان السيبراني: يجب توسيع المبادرات التوعوية لتثقيف الشركات حول أفضل ممارسات الأمان السيبراني.

طرق تعزيز إجراءات وتدبير الأمان السيبراني في منصة بازاري: يعتبر مثلث AIC (التوافر والسلامة والسرية) نموذجًا مصممًا لتوجيه تطوير سياسات أمن المعلومات في المؤسسات (انظر الشكل 1).



جدول تلخيصي: تعزيز نموذج AIC في "بازاري"

مخطط رقم (6): AIC Model

التوافر يعني ضمان توفر البيانات المطلوبة في جميع الأوقات لمن يحتاجها. النزاهة تعني ضمان صحة البيانات وحمايتها من التعديل غير المصرح به أو التلف غير المقصود. السرية تعني أن البيانات المخزنة على الحاسوب يجب أن تكون متاحة فقط لمن يملك الحق أو الحاجة إلى الاطلاع عليها. نموذج AIC مقبول على نطاق واسع في المؤسسات، ويُعتبر حجر الزاوية في الحفاظ على الأمن. يمكن استخدام أساليب مختلفة لدعم أهداف AIC. وتشمل هذه الأساليب المصادقة، والتشفير، والتحكم في الوصول، وجدران الحماية، وأنظمة كشف ومنع التسلل، وتلخيص الرسائل أو المجموع الاختباري، ومصائد العسل، والتوقيع الرقمي، والشهادة الرقمية. يوضح الجدول 2 الأساليب المستخدمة وكيفية ارتباطها بنموذج AIC [20].

تتلخص خطوات تعزيز الإجراءات والتدابير على النحو التالي:

1. المصادقة: الهدف: ضمان يضمن وصول المستخدمين الشرعيين فقط إلى النظام. حيث تخدم السرية والنزاهة.
2. التشفير: الهدف: يضمن عدم تمكن الأشخاص غير المصرح لهم من قراءة البيانات. حيث تخدم السرية.
3. التحكم في الوصول: الهدف: يضمن وصول المستخدمين فقط إلى أجزاء النظام التي يحتاجونها. حيث تخدم السرية والنزاهة.
4. ملخص الرسائل أو المجموع الاختباري: الهدف: يمكن من فحص البيانات بحثًا عن أي تلاعب. حيث يخدم النزاهة.
5. جدار الحماية: الهدف: يمنع المهاجمين من دخول النظام. حيث يخدم السرية والنزاهة والتوافر.
6. أنظمة كشف ومنع التطفل: الهدف: يكشف ويحلل ويمنع عمليات التطفل من خارج النظام ودخله. حيث يخدم السرية والنزاهة والتوافر.
7. مكافحة الفيروسات وبرامج التجسس: الهدف: اكتشاف الفيروسات وبرامج التجسس وحظرها وإزالتها. حيث يخدم السرية والنزاهة والتوافر.
8. Honeypot: آلية تم ضبطها للكشف عن محاولات الاستخدام غير المصرح به لأنظمة المعلومات أو صدها أو التصدي لها بطريقة ما [21]. حيث يخدم السرية والنزاهة والتوافر.
9. التوقيع الرقمي والشهادة - البنية التحتية للمفتاح العام (PKI): يضمن عدم التنصل من المسؤولية وإرسال البيانات بأمان عبر الإنترنت باستخدام التشفير. حيث يخدم السرية والنزاهة.

الإجراء	السرية	النزاهة	التوافر	أداة التحسين
المصادقة	✓	✓	×	MFA + Zero Trust
التشفير	✓	×	×	AES-256 + TLS 1.3
التحكم في الوصول	✓	✓	×	ZTNA + Least Privilege
المجموع الاختباري	×	✓	×	التوقيع الرقمي + SHA-3
جدار الحماية	✓	✓	✓	WAF + AI
IDS/IPS	✓	✓	✓	Hybrid IDS/IPS + Honeynets
مكافحة البرمجيات	✓	✓	✓	التعلم الآلي + EDR
مصادر العسل	✓	✓	×	Deception Networks
PKI	✓	✓	×	Automated PKI + ID-Based Cryptography

- نشر WAF مدعوم بالذكاء الاصطناعي للكشف عن هجمات (SQLi, XSS) في الوقت الفعلي، مع تكامله مع شبكات CDN لامتصاص هجمات DDoS
- إجراء اختبارات اختراق دورية لواجهات برمجة التطبيقات (APIs).
- 4. تعزيز البنية التحتية والتوعية (التوافر) التوصية:
 - الاستثمار في بنية تحتية مرنة (مثل خوادم موزعة جغرافيًا)
 - لضمان استمرارية الخدمة أثناء هجمات DDoS
 - تطوير برامج توعية للموظفين والعملاء حول التصيد الاحتيالي، باستخدام محاكاة هجمات شهرية.
- 5. تعزيز الامتثال التنظيمي (النزاهة) التوصية:
 - تبني معايير PCI-DSS لأنظمة الدفع، و ISO/IEC 27001 لإدارة أمن المعلومات.
 - إنشاء فريق استجابة للحوادث (CIRT) متكامل مع هيئات الأمن المحلية.

XII. المراجع:

- [1] R. Gupta, "Cybersecurity Threats in E-Commerce: Trends and Mitigation Strategies," *Journal of Advanced Management Studies*, vol. 1, no. 3, pp. 1-10, 2024.
- [2] NIST, *SP 800-53 Revision 5*. [Online]. Available: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-53r5.pdf>
- [3] National Institute of Standards and Technology, "Security and Privacy Controls for Information Systems and Organizations," *Security and Privacy Controls for Information Systems and*

X. الخلاصة:

يتناول البحث "الإجراءات والتدابير المتعلقة بالأمن السيبراني بالمتاجر الإلكترونية في الجمهورية اليمنية" وضرورة أهمية الأمن السيبراني في التجارة الإلكترونية، مركزاً على منصة "بازاري" و يعرض التهديدات السيبرانية مثل هجمات التصيد الاحتيالي والبرمجيات الخبيثة وإيضاً يحدد عيوب الأنظمة الامنية و يستند البحث الى منهجية تحوي دراسات ميدانية وتحليل الحوادث السابقة لمقارنة الممارسات مع المعايير الدولية بينما يبرز المشاكل الامنية التي تواجه اليمن مثل وعي محدود بالأمن السيبراني والبنية التحتية الضعيفة وتشير الدراسة بدعم تنظيمات الأمن السيبراني وتعزيز البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات في النهاية، يؤكد البحث على اهمية اتخاذ إجراءات فعالة لضمان حماية البيانات الحساسة وتطوير استراتيجيه الأعمال.

XI. التوصيات:

- توصيات لتحسين إجراءات الأمن السيبراني في "بازاري"
- 1. تعزيز آليات المصادقة والتشفير (السرية والنزاهة) التوصية:
 - تطبيق مصادقة متعددة العوامل (MFA) قائمة على FIDO2/WebAuthn بدلاً من المصادقة الثنائية (2FA) التقليدية، مع دمج المصادقة التكميلية لتقييم مخاطر السياق (مكان الدخول، سلوك المستخدم).
 - ترقية تشفير البيانات إلى AES-256-GCM مع تنفيذ إدارة مفاتيح دورية مدعومة بـ (Hardware Security Module) HSM.
- 2. تطبيق نموذج "الثقة الصفريّة (Zero Trust) (السرية والنزاهة) التوصية:
 - تنفيذ تقسيم الشبكة دقيق (Micro-Segmentation) لعزل أنظمة الدفع وقواعد البيانات.
 - اعتماد Zero Trust Network Access (ZTNA) للتحقق المستمر من هوية المستخدمين وحالة الأجهزة.
- 3. تطوير جدران حماية تطبيقات الويب (WAF) (التوافر والنزاهة) التوصية:
 -

- [13] I. Lee, "Trojan horse attack," *Wallarm*, Jan. 30, 2025. [Online]. Available: <https://www.wallarm.com/what/trojan-horse-attack>
- [14] J. Tailor and A. Patel, "A comprehensive survey: ransomware attacks prevention, monitoring and damage control," *International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI)*, vol. 4, pp. 2321–705, 2017.
- [15] S. T. Zargar, J. Joshi, and D. Tipper, "A survey of defense mechanisms against distributed denial of service (DDoS) flooding attacks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 15, no. 4, pp. 2046–2069, 2013.
- [16] "What are Distributed Denial of Service (DDoS) Attacks?," *Bunny.net*. [Online]. Available: <https://bunny.net/academy/security/what-are-distributed-denial-of-service-ddos-attacks/>
- [17] A. Singh, "What is eavesdropping: how to prevent it?," *Shiksha.com*, Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.shiksha.com/online-courses/articles/eavesdropping-how-to-prevent-it/>
- [18] W. Yang, Z. Zheng, G. Chen, Y. Tang, and X. Wang, "Security Analysis of a Distributed Networked System Under Eavesdropping Attacks," *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*, vol. 67, no. 7, pp. 1254–1258, Jul. 2020. doi: 10.1109/TCSII.2019.2928558
- [19] A. James, W. Bulajoul, Y. Shehu, Y. Li, and G. Obande, "Security challenges and solutions for e-business," in *Institution of Engineering and Technology eBooks*, pp. 121–147, 2018. doi: 10.1049/pbse001e_ch6
- [20] "Honeybot (computing)," *Wikipedia*, Nov. 8, 2024. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Honeybot_\(computing\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Honeybot_(computing))
- [21] "Homepage," *Bazzarry*. [Online]. Available: <https://bazzarry.com/>
- [22] "التجارة الإلكترونية والأمن السيبراني.. كيف كاي نابريس، "تحمي متجرك وبيانات العملاء؟" *Kaynapress*, Oct. 4, 2024. [Online]. Available: <https://kaynapress.com>
- [23] S. Shanice, "Complete Guide to Phishing: Techniques & Mitigations - Valimail," *Valimail*, Jun. 5, 2024. [Online]. Available: <https://www.valimail.com/resources/guides/guide-to-phishing/>
- [24] H. F. Aboalhab and M. Farhat, "Social Engineering and Its Role in Maintaining Information Security And Privacy," *Scientific Research Journal of Engineering and Computer Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 1-10, 2024.
- [25] S. Mohurle and M. Patil, "A brief study of Wannacry Threat: Ransomware Attack 2017," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 8, no. 5, pp. 1938–1940, 2017. doi: 10.26483/ijarcs.v8i5.4021
- [26] S. Bhunia, M. S. Hsiao, M. Banga, and S. Narasimhan, "Hardware Trojan Attacks: threat analysis and countermeasures," *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, no. 8, pp. 1229–1247, 2014. doi: 10.1109/jproc.2014.2334493
- [27] Organizations, vol. 5, no. 5, 2020. doi: 10.6028/nist.sp.800-53r5
- [28] F. H. Zawaideh et al., "E-Commerce Supply Chains with Considerations of Cyber-Security," 2023 *International Conference on Computer Science and Emerging Technologies (CSET)*, Bangalore, India, 2023, pp. 1-8. doi: 10.1109/CSET58993.2023.10346738
- [29] A. Becerril, "Cybersecurity and E-commerce in Free Trade Agreements," *Mexican Law Review*, vol. 13, no. 3, 2020. doi: 10.22201/ij.24485306e.2020.1.14808
- [30] A. F. Al Naim and A. M. Ghouri, "Exploring the Role of Cyber Security Measures (Encryption, Firewalls, and Authentication Protocols) in Preventing Cyber-Attacks on E-Commerce Platforms," *International Journal of eBusiness and eGovernment Studies*, vol. 15, no. 1, pp. 444-469, 2023. doi: 10.34109/ijebeg.2023150120

DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR UNDERGROUND IRRIGATION PUMPING WATER FOR THE AGRICULTURAL FARMLAND IN NATIONAL ROOT CROPS RESEARCH INSTITUTE, UMUDIKE (NRCRI), ABIA STATE, NIGERIA.

I. E. Johnson (1, *)

H. O. Ozioko (2)

I. C. Harryson (3)

N. B. Nduka(1)

E. E. Eze(2)

Received: 20/07/2025

Revised: 28/08/2025

Accepted: 29/08/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Mechanical Engineering Department, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Abia State, Nigeria.

² Civil Engineering Department, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Abia State, Nigeria

³ Computer Science Department, Michael Okpara University of Agriculture, Umudike, Abia State, Nigeria.

*Corresponding Author's Email: igwe.johnson@mouau.edu.ng.

DESIGN OF SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM FOR UNDERGROUND IRRIGATION PUMPING WATER FOR THE AGRICULTURAL FARMLAND IN NATIONAL ROOT CROPS RESEARCH INSTITUTE, UMUDIKE (NRCRI), ABIA STATE, NIGERIA.

Igwe E. Johnson
*Mechanical Engineering Department,
Michael Okpara University of
Agriculture, Umudike,
Abia State, Nigeria.*
igwe.johnson@mouau.edu.ng

Hyginus Obinna Ozioko
*Civil Engineering Department,
Michael Okpara University of
Agriculture, Umudike,
Abia State, Nigeria*

Igwe C. Harryson
*Computer Science Department,
Michael Okpara University of
Agriculture, Umudike,
Abia State, Nigeria.*

Nwankwojike B. Nduka
*Mechanical Engineering Department,
Michael Okpara University of
Agriculture, Umudike,
Abia State, Nigeria.*

Emmanuel Ebube Eze
*Civil Engineering Department,
Michael Okpara University of
Agriculture, Umudike,
Abia State, Nigeria*

Abstract— This study addresses the critical challenge of water scarcity and high energy costs impacting agricultural productivity in regions like Abia State, Nigeria, by proposing a sustainable solar photovoltaic (SPV) irrigation pumping system. The objective was to design and evaluate an SPV system for underground irrigation at the National Root Crops Research Institute (NRCRI), Umudike, and ensure a reliable water supply for its 5-hectare farmland. The methodology involved determining pump energy demand (36.3 kWh/day), applying three distinct SPV component sizing methods for cross-validation, and performing a robust stochastic reliability and temperature-adjusted performance analysis using Monte Carlo simulation. Key results indicate that a system with 36 solar panels, 24 batteries, and a 6.0 kVA inverter can consistently meet the daily energy demand. The stochastic analysis demonstrated that while monthly solar deficits can be high in certain periods (e.g., 99.9% in August), even minimal (e.g., 1 day) battery autonomy drastically reduces the probability of energy shortfall. This research provides a practical and resilient framework for off-grid agricultural irrigation in sun-rich developing regions.

Keywords— solar photovoltaic design, submerged irrigation pump, Agricultural farmland, Performance ratio, Monte Carlo simulation, Economic feasibility.

I. INTRODUCTION

Water scarcity and the high cost of traditional energy sources like diesel and grid electricity present significant challenges to agricultural productivity, particularly in regions with high solar irradiance like Nigeria. In response, solar photovoltaic (PV) systems have emerged as a sustainable and cost-effective solution for powering irrigation systems, addressing the dual issues of energy and water resource management (Hilarydoss, 2023; Jibril et al., 2022). The integration of solar PV technology in agriculture is crucial for achieving food security, enhancing resource efficiency, and minimizing environmental impact (Umaru et al., 2024).

Recent research has focused on the design, performance evaluation, and optimization of solar-powered water pumping systems (SPWPS) for various agricultural applications. Studies have highlighted the importance of proper system design and component selection to ensure efficiency and reliability. For instance, Jibril et al. (2022) focused on determining the best pump capacity for a solar-powered drip irrigation system for tomato crops in Mokwa, Nigeria, calculating water requirements and selecting an appropriate commercial pump. Similarly, Maka et al. (2023) utilized simulation software to analyze the performance of SPWPS under real environmental conditions, identifying significant performance losses due to temperature and soiling. Other studies have evaluated the operational effectiveness and reliability of these systems by examining factors like solar irradiance and panel temperature, with findings indicating a direct correlation between irradiance and pump flow rate (Ahmed et al., 2023).

The advancement of these systems has also involved integrating sophisticated technologies to enhance performance and management. Researchers have developed innovative algorithms for water and soil monitoring using a combination of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Internet of Things (IoT) devices, and solar PV systems to optimize resource use in precision agriculture (Umaru et al., 2024). Additionally, software tools have been created to simulate and manage solar-powered pumping systems, aiding decision-makers in designing efficient setups and optimizing operation plans based on real-time data (Mohamed et al., 2025; Hadole et al., 2022). A spatial multi-criteria decision analysis using Geographic Information System (GIS) and the Analytical Hierarchy Process (AHP) has also been proposed to identify optimal locations for PVWPS, highlighting the potential for these systems in arid regions with high groundwater dependency (Mahjoob et al., 2025).

While the benefits of SPWPS are evident, research also points to challenges and opportunities for improvement. Studies have demonstrated that communal SPWPS can be a cost-effective approach by sharing upfront costs, making the technology more accessible for farmers (Kyeyune & Wanyama, 2023). Furthermore, innovative designs like solar-pumped hydro storage systems have been proposed to ensure uninterrupted water supply, even during dry seasons or periods of low solar irradiance (Tanvir et al., 2021). The feasibility and cost-effectiveness of these systems have been confirmed through life-cycle cost analyses, showing significant long-term financial gains for farmers compared to conventional pumping methods (Ashok Kumar et al., 2022; Hilarydoss, 2023). These studies collectively underscore the growing global and local interest in leveraging solar energy for agricultural irrigation.

A. Problem Statement

Despite the clear advantages and increasing adoption of solar photovoltaic water pumping systems (SPWPS), significant challenges persist in the reliable and

optimal design of these systems for specific agricultural contexts in regions like Abia State, Nigeria. While general sizing methodologies exist, they often fail to account for the inherent stochastic (random) variability of daily solar irradiance and its impact on system reliability and potential energy deficits. Furthermore, the precise effect of local ambient temperatures on PV module performance, and the crucial role of battery autonomy in mitigating seasonal energy shortfalls are often overlooked or simplified in deterministic design approaches. There is a critical need for a robust design and evaluation framework that integrates advanced simulation techniques, such as Monte Carlo analysis, to quantify system reliability under real-world varying conditions, thereby providing more practical insights for decision-makers and ensuring a consistent water supply for agricultural farmlands. This study aims to bridge this gap by developing and applying such a comprehensive design and analysis methodology for the NRCRI farmland.

II. MATERIALS AND METHODS

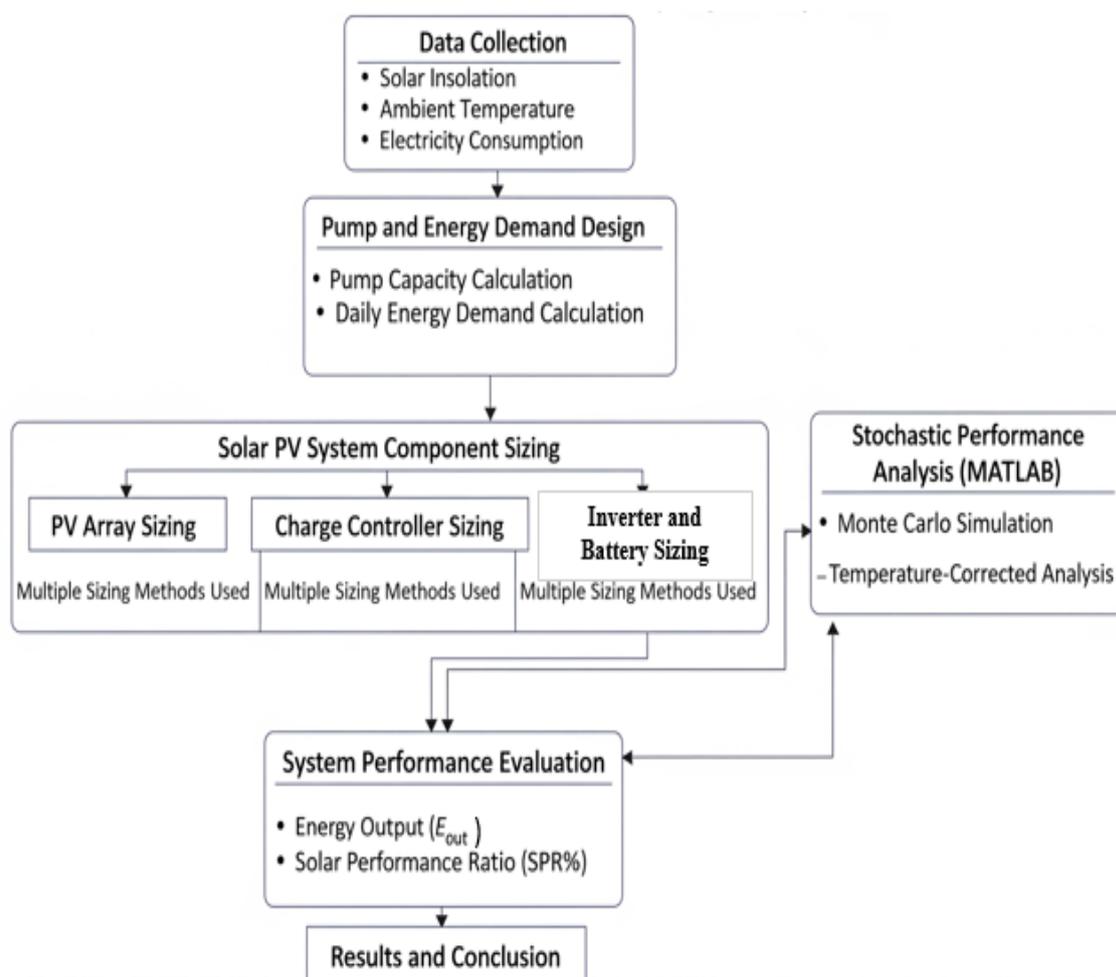


Figure 1 presents the methodology flowchart highlighting the necessary steps taken to achieve the study's objectives and draw conclusion.

A. Study Area and Data Collection

The study was conducted at the National Root Crops Research Institute (NRCRI), Umudike, Abia State, Nigeria,

located at approximately 5.53°N latitude and 7.49°E longitude (Figure 2). This region falls within the tropical rainforest climate zone, characterized by abundant rainfall,

consistent solar radiation due to its proximity to the equator, and high relative humidity often exceeding 80%. The average annual temperature in Umuahia, near Umudike, ranges between 26°C and 28°C, providing generally favorable conditions for solar photovoltaic (PV) applications, although high ambient temperatures and humidity must be factored into system design and efficiency assessments.

The NRCRI is a leading agricultural research institute in Southeastern Nigeria, occupying extensive farmland dedicated to crop improvement and seed technology. Its activities include the cultivation and performance evaluation of crossbred and hybrid crop varieties, contributing significantly to national agricultural productivity. The specific farmland targeted for the proposed irrigation project

covers 5 hectares within the institute's total 240-hectare expanse, located in close proximity to the main research complex.

Data for this study were obtained from the NRCRI's meteorology unit for the 2023 calendar year. Key weather parameters recorded included daily solar insolation (G_d) and daily ambient temperature (T_a). In addition, electricity consumption records of the existing submerged irrigation pump were collected to facilitate accurate estimation of the SPV system's capacity requirements. Technical specifications for the selected 435 Wp SunPower solar panel were sourced directly from the manufacturer's datasheet (Appendix A).

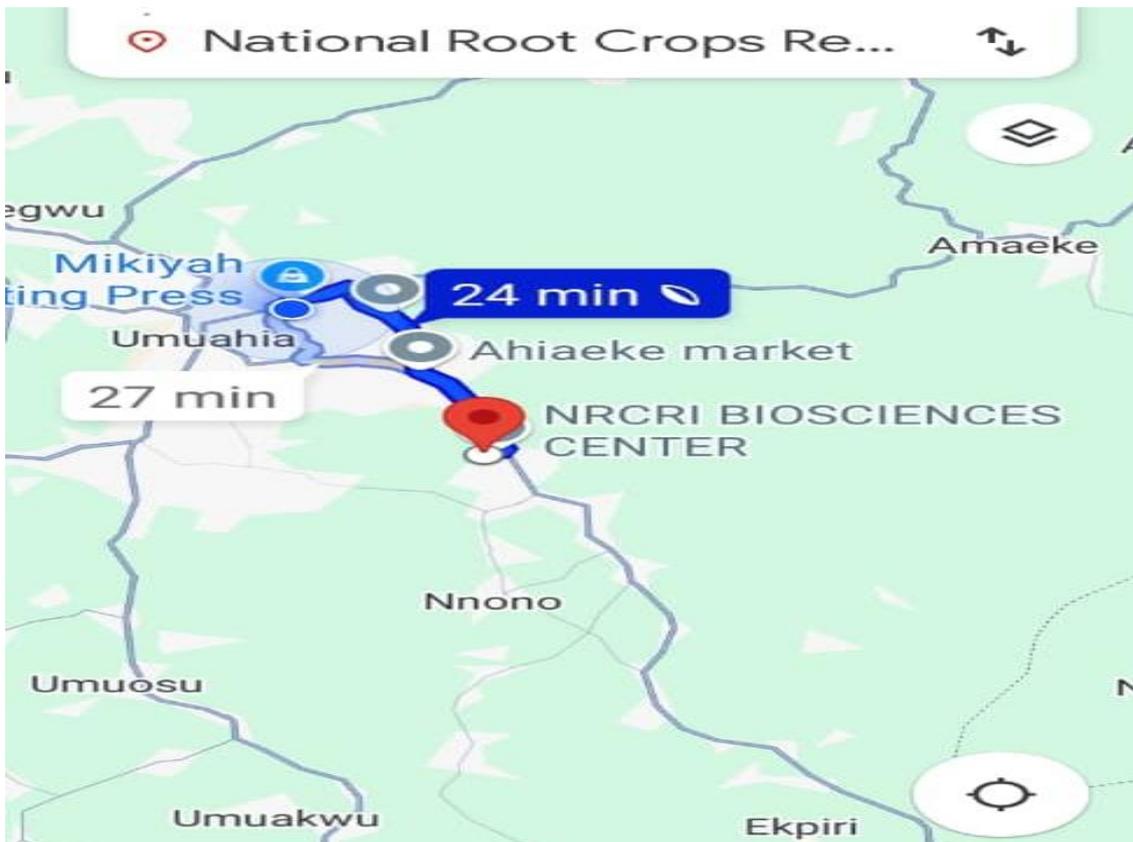


Figure 2: Map showing NRCRI.

B. Design of Submerged Pump Capacity and Energy Demand

The proposed system aims to supply underground water to the agricultural farmland, facilitating an irrigation system with a 5-meter storage tank reservoir for adequate water circulation. The irrigation pump is designed to service 5 hectares of crops at the NRCRI. The power required is to deliver a volumetric flow rate (Q) of 0.0075 m³/s of water from a maximum well depth (h_w) of 13 m to a 5 m storage tank (h_s), resulting in a total static head. The system is designed for an operational period of eight (8) hours per day. Nigeria's Food and Agriculture Organization guidelines for rice cultivation necessitate a flow rate of 1.5 l/s per hectare of farmland. The total head h_T for the pumping system is the

sum of the well depth, the height of the storage tank, and the head loss due to friction and other factors (h_f) in the PVC pipe (Mulugeta & Chernet, 2020).

$$h_w = h_w + h_s + h_f \quad (1)$$

Where:

$h_w=13$ m (well depth)

$h_s=5$ m (storage tank height)

The head loss due to friction and other components, including submerged exit losses, is calculated using the Darcy-Weisbach relation (Mulugeta & Chernet, 2020):

$$h_f = f \frac{l}{d_n} \frac{V^2}{2g} + k \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Where:

– h_f = head loss (calculated as 20.82 m)

- f = Darcy-Weisbach friction factor (calculated using Equation 6)
- L = total length of pipe (estimated 18 m)
- d_h = diameter of pipe (0.03 m)
- k = friction loss coefficient for pipe parts (0.5 for sharp edge entrance, 1.06 for submerged exit)
- V = flow velocity (m/s)
- g = acceleration due to gravity (9.81 m/s²)

The total volumetric discharge (Q) of water from the pump is derived from the irrigation requirement for 5 hectares:

$$Q = \frac{1.5 \text{ l}}{\text{s per ha}} \times 5 \text{ ha} = \frac{7.5 \text{ l}}{\text{s}} = \frac{0.0075 \text{ m}^3}{\text{s}} \quad (3)$$

The average flow velocity (V) is then calculated from the discharge and pipe cross-sectional area (A):

$$V = \frac{Q}{A} \quad (4)$$

$$A = \pi/4 \times d_h^2 \quad (5)$$

Darcy friction constant for turbulent as well as transition flow with a smooth or rough pipe is calculated in Eqn. 6 as presented by Muluken et al., (2014).

$$f = \frac{0.0791}{Re^{(1/4)}} \quad (6)$$

Where:

$$Re = \text{Reynolds number, calculated as } Re = \rho \times V \times d_h / \mu_w \quad (7)$$

$$\rho = \text{density of water (approx. } 1000 \text{ kg/m}^3)$$

μ_w = dynamic viscosity of water (at normal temperature $\mu_w = 0.001 \text{ Ns/m}^2$)

Calculated $Re = 3.2 \times 10^5$, indicating turbulent flow.
 Calculated $f = 0.00333$.

Substituting the calculated h_f into Equation 1, the total head (h_T) is:

$$h_T = 13 \text{ m} + 5 \text{ m} + 20.82 \text{ m} = 38.82 \text{ m}$$

The capacity of the pump (P_p) is determined by the total head, volumetric flow rate, water density, gravity, and pump efficiency ($\eta_p=0.63$) (Raghad et al., 2019):

$$P_p = \frac{\rho \times g \times Q \times h_T}{\eta_p} \quad (8)$$

$$P_p = 4533$$

The total daily pumping power demand (E_p) for the eight-hour workday is:

$$E_p = 4533 \text{ W} \times 8 \text{ hours} = 36,280 \text{ Wh} = 36.3 \text{ kWh}$$

The Solar Photovoltaic System Methodology.

This section outlines the technical overview of the system components and delineates the design methodologies and mathematical computations for scaling these components (Bakheet, 2023). The mean daily solar insolation (G_d) for the study area is 5 kWh/m²/day (Table 2). All calculations for PV array sizing are based on Standard Testing Conditions (STC), which typically include an irradiation level of 1 kW/m² and a PV cell temperature of 25°C. The principal components of the solar photovoltaic system are: (1) Solar photovoltaic panel array, (2) Batteries, (3) Solar charge controllers, and (4) Inverter. The system design calculations follow these

sequential steps, as illustrated in the design flowchart (Figure 3):

- i. Estimating the Overall Load: Computing the total daily energy requirement of the hydraulic pump.
- ii. Determining the Dimensions of the Solar Photovoltaic System: This encompasses the selection of PV panel type, quantity, array configuration, and orientation (tilt angle).
- iii. Determining the Dimensions of the Battery Bank.
- iv. Calculating the Specifications of the Inverters.
- v. Assessing the Requirements of the Solar Charge Controller.
- vi. Evaluating System Performance: Calculating theoretical and actual energy outputs and the solar performance ratio.

a. Rationale for Multiple Sizing Methods

While a single, robust sizing method could suffice, employing multiple methods (Methods 1, 2, and 3) serves several crucial purposes in this study:

- i. Verification and Cross-Validation: Comparing results from different established methodologies provides a cross-validation mechanism, increasing confidence in the final design's robustness.
- ii. Conservative Design Approach: Discrepancies between methods can highlight uncertainties. By selecting the most conservative (e.g., highest number of panels, highest capacity components) result among validated methods, the design prioritizes safety, reliability, and future load expansion.
- iii. Parameter Sensitivity Analysis (Implicit): Differences in the parameters or assumptions used by each method (e.g., explicit consideration of temperature coefficients, different loss factors) can implicitly reveal the sensitivity of the overall design to these variables. This offers a more comprehensive understanding of the design space.
- iv. Adherence to Diverse Standards: Different methods might align with practices or recommendations from various international standards or guidelines, broadening the applicability and acceptability of the design.

b. PV Array Sizing: Method 1 (Exact Design Method)

The average efficiency of the solar panel, η_p by Bakheet (2023), is presented in Eqn. (9).

$$\eta_p = \eta_r (1 - \beta_p (T_p - T_r)) \quad (9)$$

Where:

- $\eta_r = 20\%$ (panel efficiency at reference temperature, from Appendix A)
- $\beta_p = -0.38\%/K$ (temperature coefficient for module efficiency, from Appendix A)
- $T_r = 25^\circ C$ (reference temperature)

The panel operating temperature (T_p) is a function of the ambient temperature (T_a) and Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) (Bakheet, 2023):

$$T_p = T_a + (219 + 832\bar{k}) \left(\frac{NOCT - 20}{800} \right) \quad (10)$$

For this study:

- $T_a=30^\circ\text{C}$ (ambient temperature of the solar panel)
- $NOCT = 45^\circ\text{C}$ (Nominal Operating Cell Temperature)
- Calculated $T_p=57.6^\circ\text{C}$ (using ambient T_a , $G_d = 1 \text{ kW/m}^2$, $G_{NOCT}=0.8 \text{ kW/m}^2$, $T_{NOCT}=20^\circ\text{C}$)
- Calculated $\eta_p=20\%$

The total area (S_A) of the PV panel array required can be calculated considering system efficiencies (Chen et al., 2022):

$$S_A = \frac{E_p}{\eta_p G} = \frac{E_p'}{\eta_c \eta_b \eta_i G} \quad (11)$$

Where:

- $E_p=36.3 \text{ kWh}$ (total daily SPV energy demand)
- $G_d=5 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ (daily irradiance from Table 2)
- ($\eta_c=95\%$ (controller efficiency))
- $\eta_b=90\%$ (battery efficiency)
- $\eta_i=96\%$ (inverter efficiency)

The area of a SunPower 435W single solar panel S_p is $2.067\text{m} \times 1.046\text{m} = 2.16 \text{ m}^2$ (Appendix A).

The number of SPV panels, as stated by Bakheet (2023), is given in Eqn. (12)

$$N_{p1} = S_A/S_p \quad (12)$$

c. PV Array Sizing: Method 2 (Module Peak Wattage Estimation)

This method sizes the PV system (in W_p) based on the total electricity demand from the irrigation pump (Table 1) and peak sun hours (PSH) (Bhatia, 2008). The SPV Module Peak Wattage Estimation (W_p) according to Bhatia (2008) is presented in Eqn. (13).

$$\text{Module Peak wattage, } W_p = \frac{\Sigma(\text{Daily Energy Demand Wh})}{PSH \times \eta_b} \quad (13)$$

Where:

PSH is peak sunshine hours (derived from daily irradiance data in Table 2). The average daily solar insolation of $5 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ (Table 2) implies an average PSH of 5 hours/day, assuming 1 kW/m^2 standard irradiance.

$\eta_b=90\%$ (battery efficiency).

The number of modules or panels (N_{p2}) is then:

$$N_{p2} = \frac{\text{SPV Module Wattage Estimation}}{\text{Value of Each Panel}} \quad (14)$$

The SunPower panel of 435 W was selected for the solar design.

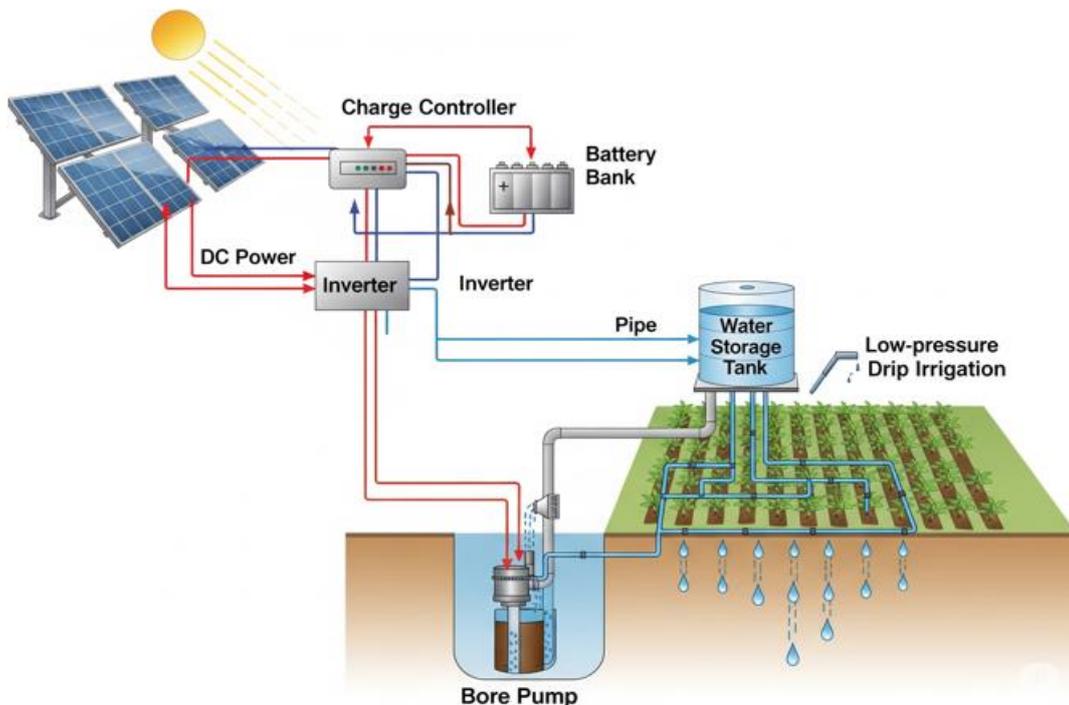


Fig. 3: Solar PV system Irrigation pumping design

d. *PV Array Sizing: Method 3 (Total Panel Energy Needed)*
 This method calculates the total PV panel energy needed (TPEN) and then divides it by the panel generation factor (PGF) and single panel wattage (Diyoke et al., 2023). Total appliances energy consumed per day (ECPD) = 36.3 kWh/day Total PV panel energy needed (TPEN):

$$TPEN = ECPD \times ELS \quad (15)$$

Where:

ELS = Energy Loss in the System (a factor of 1.3 is used)

The total number of solar panels (NP3) according to [8] is given in Eqn. (16).

$$NP3 = \frac{\text{Energy watt hour per day} \times \text{Energy loss in the system}}{\text{Panel generation factor (PGF)} \times \text{Wattage of single panel (WSP)}} = \frac{TPEN}{PWSP} \quad (16)$$

Where:

- PGF = Panel generation factor (3.596 for Nigeria)
- WSP = Wattage of single panel (435 W)

e. *Clearance between Collector Rows*

The minimum clearance (distance d) required between each row of panels is crucial to avoid self-shading. This distance is calculated using the equation (Bakheet, 2023):

$$d = h \left[\frac{\sin(180^\circ - \beta - \gamma_s)}{\sin \gamma_s} \right] \quad (17)$$

Where:

- $h \approx 1.8$ m (collector height)
- $\beta = 15^\circ$ (tilt angle)
- $\gamma_s = 60.27^\circ$ (angle of the sun at midday in the shortest day of 2023, i.e., 21st December, for Umuahia area, derived from Omni calculator, Figure 4).
- Calculated $d \approx 2$ m.

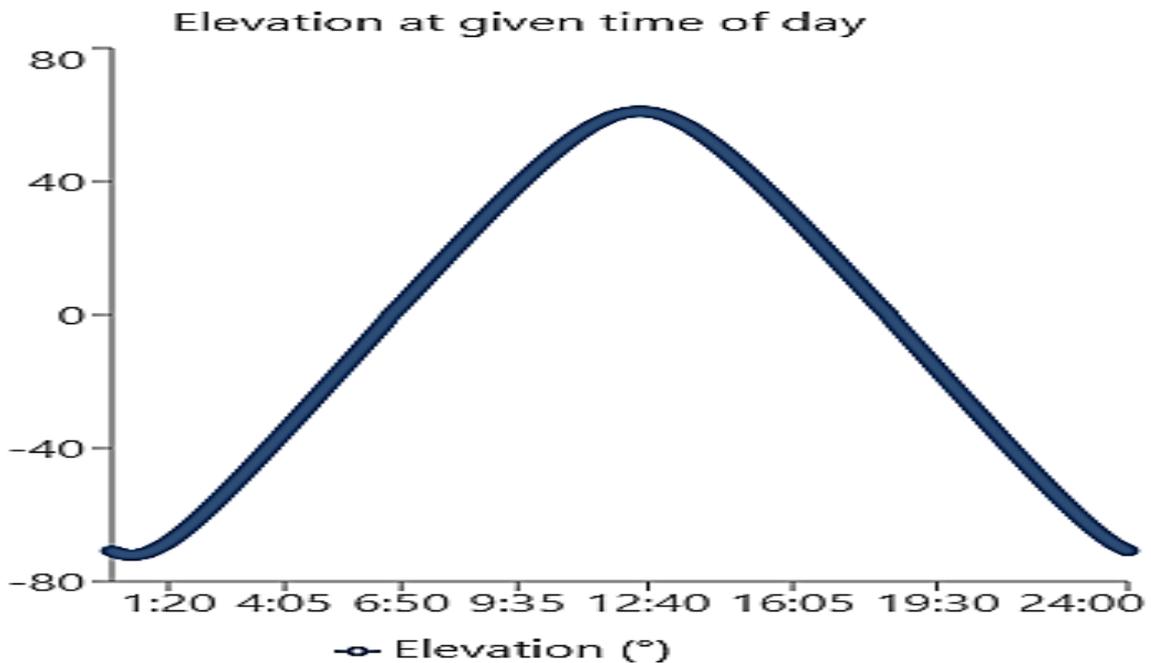


Figure 4: The angle γ_s of the sun at midday in the shortest day of the year 2023.

f. *Battery Sizing: Method 1*

Battery sizing for Method 1 is determined by the total energy demand, depth of discharge, and system voltage (Diyoke et al., 2023) as given by Eq. 18

$$B_{C1} = \frac{\text{Total Energy (Wh)}}{\text{Depth of Discharge} \times \text{System Volt}} \quad (18)$$

Where:

- System voltage = 12 V
- Depth of Discharge = 0.5

$$\text{Number of batteries} = N_{B1} = \frac{\text{Actual Battery Capacity}}{\text{Value of Each Piece}}$$

g. *Battery Sizing: Method 2*

Battery sizing for Method 2 incorporates days of autonomy and battery losses (Chetan, 2014):

The actual battery capacity

$$= \frac{\text{Total Energy (Wh)} \times \text{Days of autonomy}}{\text{Battery loss} \times \text{Depth of Discharge} \times \text{System Volt}} \quad (19)$$

Where:

- Nominal battery voltage = 12 V
- Battery loss = 0.85
- Depth of Discharge = 0.6
- Battery days of autonomy = 3

$$N_{B2} = \frac{\text{Actual Battery Capacity}}{\text{Value of Each Piece}} \quad (20)$$

h. *Charge Controller Sizing: Method 1*

To obtain the needed charge controller as given by Chen et al. (2008) is represented in equation (21)

Solar Charge Controller (SCC1cu) is given below

$$SCC_{1cu} = \frac{\text{Total Wattage}}{\text{Voltage}} \quad (21)$$

Where:

- System voltage = 24 V

i. Charge Controller Sizing: Method 2

According to standard practice, SCC sizing for Method 2 expressed by equation 22 involves the short circuit current (I_{sc}) of the PV array and an energy panel loss factor (Bakheet, 2023). Here, for 36 panels, six (6) panels will be placed in series connection as a single string, while six (6) strings will be arranged in parallel. $I_{sc} = 6.43$ A from Appendix A.

$$\begin{aligned} & SCC \text{ Rating } (SCC_{2cu}) \\ &= \text{Panels in Series Array} \\ &\times \text{Total Short Circuit Current of PV Array} \\ &\times 1.3 \end{aligned} \quad (22)$$

j. Charge Controller Sizing: Method 3

This method ensures the charge controller's rated power is greater than the maximum power the PV array could produce, using a safety factor of 1.3 (Bakheet, 2023).

$$\begin{aligned} & \text{Wattage of the PV array} \\ &= (\text{Number of PV Panels}) \\ &\times (\text{PV Panel Rated Power}) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} & \text{Rated Voltage of SCC } (SCC_{3V}) \\ &= (\text{Number of Panels in Series}) \\ &\times (\text{Voc of Panel}) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} & \text{Rated Current of SCC } (SCC_{3cu}) \\ &= (\text{Number of Strings of Panels}) \\ &\times (\text{Isc of PV Panel}) \\ &\times (\text{Safety Factor of 1.3}) \end{aligned} \quad (25)$$

k. Inverter Capacity Selection: Method 1

The inverter capacity for Method 1 is based on the input power and inverter efficiency (Bhatia, 2008):

$$\begin{aligned} & \text{Therefore, Input Power} \\ &= \frac{\text{Output Power}}{\text{Efficiency of inverter } (\eta_i)} \end{aligned} \quad (26)$$

l. Inverter Sizing: Method 2

For safety, the inverter should be considered 25-30% bigger than the total wattage of all appliances (Mulugeta & Chernet, 2020):

$$\begin{aligned} & \text{Inverter Input Power} \\ &= (0.30 \times \text{Total Wattage}) \\ &+ \text{Total Wattage} \end{aligned} \quad (27)$$

C. System Performance Evaluation

a. Energy Output from the SPV System

The total energy output (E_{out}) from the SPV system is given by (Bhatia, 2008) and expressed in Equation 28:

$$E_{out} = G \times S_{tp} \times \eta_{sys} \quad (28)$$

Where:

- G = solar radiation (kWh/m²/day)
- S_{tp} = area of the SPV panel array (m²)
- η_{sys} = panel system efficiency

b. Maximum Direct/Alternating Current and Voltage of Wiring

The maximum direct current (DC) and voltage and alternating current (AC) and voltage for the wiring of the SPV system are crucial for safety and efficiency (Chetan, 2014):

$$\begin{aligned} & \text{The maximum direct current (DC)} \\ &= \frac{\text{Max DC wattage} \frac{W}{\text{module}} \text{ wattage estimation}}{\text{DC system voltage } (V)} \end{aligned} \quad (29)$$

Where the maximum DC voltage and current are 24V and 711.6A.

The maximum alternating current (AC)

$$= \frac{\text{Max AC wattage} \frac{W}{\text{Total}} \text{ wattage}}{\text{AC system voltage } (V)} \quad (30)$$

Where the maximum AC voltage and current are 230V and 44.7 A.

c. Solar Performance Ratio (SPR%)

The Solar Performance Ratio (SPR%) assesses the overall efficiency of the SPV system in converting sunlight into usable electricity (Bhatia, 2008):

$$SPR(\%) = \frac{\text{Actual Energy Output}}{\text{Theoretical Maximum Energy Output}} \times 10 \quad (31)$$

$$SPR(\%) = \frac{\text{Daily Energy Demand } (Wh)}{\text{total solar area } (m^2) \times \text{panel efficiency } (\eta_r) \times \text{Insolation } G \left(\frac{kWh}{m^2}\right)} \times 100 \quad (32)$$

Where:

- G = Solar insolation on tilted panel (kWh/m²/day)
- η_r = Total solar panel efficiency (%)
- SA = Total solar area (m²)

d. Methodology for Stochastic Reliability and Temperature-Adjusted Performance Analysis (MATLAB-Based)

To complement the deterministic sizing methods presented in this study, a stochastic performance and reliability assessment of the proposed Solar Photovoltaic (SPV) pumping system was carried out. This approach accounts for the inherent variability in solar irradiance and its influence on system reliability, while also quantifying the effect of module temperature on energy output. The analysis further evaluates the role of battery autonomy in reducing load deficit risk. The methodology is described as follows:

e. Input Parameters

The analysis utilized the same dataset as the system design, comprising monthly average daily solar radiation ($(G_d, Wh/m^2)/day$) for NRCRI, Umudike (2023), and monthly average ambient temperature ($T_a, ^\circ C$). Photovoltaic module specifications for the selected SunPower 435 Wp panel included a Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) of 45 °C, a temperature coefficient of power (β_p) of -0.38 %/K, and a performance ratio (SPR) of 0.81 derived from the deterministic analysis. The system configuration considered in the analysis was set at 36 panels ($NP = 36N_p = 36$) with a daily load requirement of 36.28 kWh/day.

f. *Monte Carlo Reliability Analysis*

The analysis begins by assessing the system's reliability under the inherent variability of daily solar radiation. Instead of using a single average value for each month, a Monte Carlo simulation is employed to model daily solar radiation as a random variable. The daily solar radiation for each month (G_{dm}) is assumed to follow a normal distribution, with the mean (μG_d) and standard deviation (σG_d) derived from the historical monthly average data.

The random daily solar radiation values (G_{rand}) are generated as follows:

$$G_{rand} \sim N(\mu G_d, \sigma G_d) \quad (33)$$

Where the standard deviation is calculated based on a user-defined coefficient of variation (CV_{within}):

$$\sigma G_d = \mu G_d \times CV_{within} \quad (34)$$

The total theoretical daily energy produced by the solar array (E_{th}) is then calculated for each simulated day:

$$E_{th} = \frac{G_{rand}}{1000} \times (PW_p \times N_p) \quad (35)$$

Where

PW_p is the single panel peak wattage and
 N_p is the number of panels.

The actual energy yield (E_{act}) is determined by accounting for system losses via a performance ratio (SPR):

$$E_{act} = E_{th} \times SPR \quad (36)$$

For each month, the simulation is run thousands of times. The probability of an energy deficit is then determined by calculating the percentage of simulations where the actual energy output is less than the daily load ($daily_{load}$):

$$Deficit\ Probability\ (\%) = \frac{1}{N_{samples}} \sum_{i=1}^{N_{samples}} \Pi(E_{act,i} < daily_{load}) \times 100 \quad (37)$$

Where $\Pi(\cdot)$ is the indicator function. The 50th and 10th percentiles of the actual energy output (P50 and P90) are also computed to represent typical and worst-case daily energy production values.

g. *Temperature-Corrected Performance Analysis*

To provide a more accurate estimation of the system's output, the methodology incorporates the effect of ambient temperature on the solar panels' performance. The cell temperature (T_{cell}) is first estimated using the Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) model:

$$T_{cell} = Ta + (NOCT - 20) \times \frac{H_s}{8} \quad (38)$$

Where

Ta is average ambient temperature and
 H_s is the average daily sun hours, assumed to be proportional to the monthly average solar radiation (G_d).

The panel's maximum power output is then corrected for temperature variations using its temperature coefficient (β_p):

$$P_{mod,T} = PW_p \times (1 + \beta_p \times (T_{cell} - 25)) \quad (39)$$

The temperature-corrected daily energy output ($E_{act,T}$) is subsequently calculated and compared to the uncorrected

value to quantify the percentage of energy loss due to temperature.

h. *Battery Autonomy Analysis*

This section analyzes the impact of battery storage on mitigating energy deficits. A Monte Carlo simulation is run for the critical month (August, due to its low solar radiation) to determine the probability of an energy shortfall for a given number of battery autonomy days. A daily energy deficit is defined as the amount by which the actual energy output falls short of the daily load:

$$Daily_{deficit} = \max(daily_{load} - E_{act}, 0) \quad (40)$$

The total storage capacity of the battery bank is then calculated based on the number of autonomy days (a):

$$Storage_{capacity} = a \times daily_{load} \quad (41)$$

A shortfall occurs if the daily deficit exceeds the battery storage capacity. The analysis determines the minimum number of autonomy days required to keep the probability of a shortfall below a predefined target.

i. *Visualization*

The results are presented through several figures, including a bar chart illustrating the monthly deficit probabilities, a bar chart quantifying the monthly temperature-induced energy losses, and a plot showing the relationship between battery autonomy and deficit probability for the worst-case month. These visualizations provide a clear, intuitive summary of the system's reliability and resilience.

j. *Novelty and Relevance*

Unlike the deterministic sizing methods in the original design, this stochastic methodology quantifies **reliability risk** due to daily solar variability, identifies **critical low-sun months**, and demonstrates that **minimal battery storage** can drastically improve system reliability. This provides practical insights for real-world operational planning, beyond simply meeting average monthly energy demands.

III. 3.0. RESULTS AND DISCUSSION

A. *System Load and Meteorological Data*

Table 1 details the daily energy requirement for the submerged irrigation pump. The irrigation machine, with a power rating of 4533 W and an operational duration of 8 hours per day, results in a total daily energy consumption of 36,280 Wh, or 36.3 kWh. This value represents the critical energy load that the designed solar photovoltaic system must reliably meet. Table 4.2 presents the monthly average solar radiation and ambient temperatures recorded at NRCRI Umudike throughout 2023. Solar radiation (G_d) varied significantly throughout the year, ranging from a minimum of 1780 Wh/m²/day in August to a maximum of 6508 Wh/m²/day in February. This variability is critical for determining the required number of solar panels on a monthly basis to ensure a consistent energy supply, especially during periods of lower insolation. Ambient temperatures (T_a) remained relatively stable, averaging 27.95°C, typical for a tropical rainforest climate. These meteorological data directly influenced the efficiency calculations and sizing of the SPV system components.

Table 1: Energy Consumption Data of the Submerged Pump

S/N	Appliances	Watts (W)	Quantity	Total Watt (W)	Hours (h)	Energy (Wh)
1	Irrigation pumping machine	4533	1	4533	8	36280
Total				4533		36280

Table 2: Monthly Average Solar Radiation and Ambient Temperature at NRCRI (2023)

S/N	Monthly Average Solar Radiation (G_d) (Wh/m ² /day)	Monthly Average Ambient Temperature (T_a) (°C)
1	5192	27.61
2	6508	29.76
3	4588	28.94
4	4384	28.38
5	3536	28.74
6	2512	27.41
7	2432	27.11
8	1780	27.24
9	2300	27.00
10	2528	27.76
11	4120	27.32
12	4980	29.11
Average	3898.3	27.95

B. Solar Panel Technical Specification

Table 3 summarizes the technical specifications of the chosen solar panel (SunPower 435 W), along with other assumed and derived parameters for the system components. The selection of a high-efficiency 435 W_p panel (20% efficiency) aims to minimize the required physical footprint and maximize energy harvesting. Key parameters like NOCT and

temperature coefficient (β_p) are directly from the manufacturer's datasheet and are crucial for accurate performance calculations under real operating conditions. Efficiencies for the balance of system components (inverter, charge controller, battery) and design factors (ELS, PGF, DoD, days of autonomy) are also outlined, providing a clear basis for the subsequent sizing calculations across the different methodologies.

Table 2: Characteristics of the Selected SPV System Components

Parameter	Value	Unit	Manufacturer/Model
Solar Photovoltaic Panel Capacity	435	W	SunPower SPR-435NE-WHT-D
Type	E 20/435 Solar Panel		SunPower
Efficiency (η_r)	20	%	SunPower
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45	°C	SunPower
Temperature Coefficient (β_p)	-0.38	%/K	SunPower
Solar Collector Area (S_p)	2.16	m ²	SunPower
Battery Capacity (Single)	250	Ah	Lithium-ion
System Voltage (DC)	24	V	Designed
Inverter Efficiency (η_i)	96	%	Assumed
Charge Controller Efficiency (η_c)	95	%	Assumed
Battery Efficiency (η_b)	90	%	Assumed
Depth of Discharge (Method 1)	0.5		Assumed
Depth of Discharge (Method 2)	0.6		Assumed
Battery Days of Autonomy	3	Days	Assumed
Energy Loss in System (ELS)	1.3	Factor	Assumed
Panel Generation Factor (PGF)	3.596		Derived for Nigeria

C. Results of SPV System Component Sizing

Table 4 provides a comprehensive summary of the calculated design results for the proposed SPV pumping system. The analysis of the three distinct sizing methods yielded slightly varying results for the number of solar panels, with Method 1 (34.01 panels) giving the highest, followed closely by Method 2 (33.7 panels) and Method 3 (32.11 panels). For safety factors and future system improvements, the highest calculated value was rounded up, leading to a final selection

of 36 solar panels. This approach ensures the system can handle potential increases in load or periods of lower-than-average insolation. For the solar charge controller, Method 1's calculation of 189 A (compared to 50.2 A from Methods 2 and 3) was selected. This choice prioritizes robust current handling capacity, ensuring the charge controller can safely manage the maximum current generated by the solar array under all conditions.

Regarding battery sizing, Method 2 yielded 24 batteries, which was selected over Method 1's 21 batteries. This provides a greater margin of autonomy (3 days, as per Method 2's assumption) and storage capacity, critical for ensuring continuous water supply during extended cloudy periods or nighttime operation. A 250 Ah single lithium-ion battery was chosen based on market availability and good storage characteristics. For the inverter, Method 2's calculation of 6.0 kVA was chosen over Method 1's 5.0 kVA. This higher capacity ensures the inverter can safely handle peak power

demands from the pump and provides a necessary safety margin (25-30% larger than total wattage, as per Method 2's principle).

The proposed SPV system's maximum direct current (DC) and voltage were determined to be 336 A and 24 V, respectively, based on the selected panel configuration. The maximum alternating current (AC) and voltage for the system's output were 20 A and 230 V, respectively, aligning with standard electrical specifications for farm equipment.

Table 3: Summary of Calculated SPV System Design Results (Component Sizing)

Component	Parameter	Method 1 Value	Method 2 Value	Method 3 Value	Final Selected Design Value	Justification for Selection
Solar Panels	Number of Panels (NP)	34.01	33.7	32.11	36	Most conservative/safest (rounded up from highest method for future resilience).
Charge Controller	Amperage (A)	189	50.2	50.2	189	Highest value selected to ensure adequate handling capacity.
Batteries	Number of Batteries (NB)	21	24	N/A	24	Higher value from Method 2 ensures greater autonomy/storage.
Inverter	Input Power (kVA)	5	6	N/A	6.0	Higher value from Method 2 provides safety margin for peak loads.
System Output	Max. DC Voltage (V)	N/A	N/A	N/A	24	Determined by series panel configuration.
	Max. DC Current (A)	N/A	N/A	N/A	336	Calculated based on total panel capacity and system voltage.
	Max. AC Voltage (V)	N/A	N/A	N/A	230	Standard AC voltage.
	Max. AC Current (A)	N/A	N/A	N/A	20	Calculated based on inverter output.
Overall	Daily Energy Requirement (kWh)	36.3	36.3	36.3	36.3	From pump load analysis.
	Total Wattage (kW)	4.5	4.5	4.5	4.5	From pump load analysis.

D. System Performance Analysis

Table 4 provides a detailed breakdown of the system's monthly energy performance and solar performance ratio. The average hourly energy output (E_h) of the system is 21361 Wh, and the average monthly theoretical energy output (E_{thm}) is 4360 kWh. The average monthly actual estimated output energy (E_{ActM}) is 1104 kWh. The overall theoretical energy generated by the system annually is 52325 kWh. Crucially, the daily actual estimated energy output of the pumping machine is 36.3 kWh (from Table 4.1). When compared against the minimum theoretical monthly output energy of 2076 kWh and maximum of 7591 kWh, it is evident

that the proposed SPV pumping system is designed to consistently meet the daily water supply needs of the agricultural farmland throughout the year. The higher theoretical output capacity provides a significant safety margin, ensuring reliability even under less ideal conditions. The average solar performance ratio (SPR) of the system was determined to be 81.6% over the year. This high SPR value signifies that the SPV system efficiently converts solar irradiance into electrical power, indicating a well-designed and optimized system with minimal energy losses. SPR values above 75% are generally considered very good for grid-independent PV systems.

Table 4: Monthly Energy Output and Solar Performance Ratio (SPR)

Month (S/N)	Hourly Solar Radiation (I_T) ($Wh/m^2/h$)	Hourly Output Energy (E_h) (Wh)	Theoretical Monthly Output Energy (E_{thm}) (kWh)	Actual Monthly Output Energy (E_{ActM}) (kWh)	Solar Performance Ratio (SPR) (%)
1	295.9	13800	6056	1125	46.3
2	594.1	27720	7591	1016	36.3
3	769.6	35910	5351	1125	56.7
4	879.5	41040	5113	1088	76.7
5	967.1	45120	4124	1125	83.9
6	860.3	40140	2930	1088	108.9
7	748.6	34930	2837	1125	105.7
8	579.2	27020	2076	1125	138.5
9	313.4	14620	2683	1088	111.4
10	204.3	9534	2949	1125	100.9
11	178.8	8340	4806	1088	58.0
12	133.4	6222	5809	1125	46.4
Average	456.2	21361	4360	1104	81.6
Summation	54744	256330	52325	13243	
Minimum	133.4	6222	2076	1016	36.3
Maximum	967.1	45120	7591	1125	138.5

E. Graphical Analysis of System Performance

a. Hourly Output Energy and the Corresponding Solar Radiation

Figure 5 illustrates the hourly output energy (E_h) of the SPV system and the corresponding hourly solar radiation (I_T) over a typical day (January 1st, 2023). Both curves exhibit a classic bell shape, characteristic of solar energy profiles, increasing from 7:00 AM, peaking around 11:00 AM to 12:00 PM, and

then descending towards 6:00 PM. The hourly output energy rises from 13,800 Wh at 7:00 AM to a peak of 45,120 Wh at 11:00 AM before falling to 622 Wh by 6:00 PM. Similarly, hourly solar radiation increases from 295.9 $W/m^2/h$ at 7:00 AM to a peak of 967.1 $W/m^2/h$ at 11:00 AM, then decreases to 133.4 $W/m^2/h$ by 6:00 PM. This strong correlation between solar radiation and energy output confirms the direct dependence of the system's performance on available solar insolation. The system is designed to provide sufficient energy during the peak sun hours to meet the daily load.

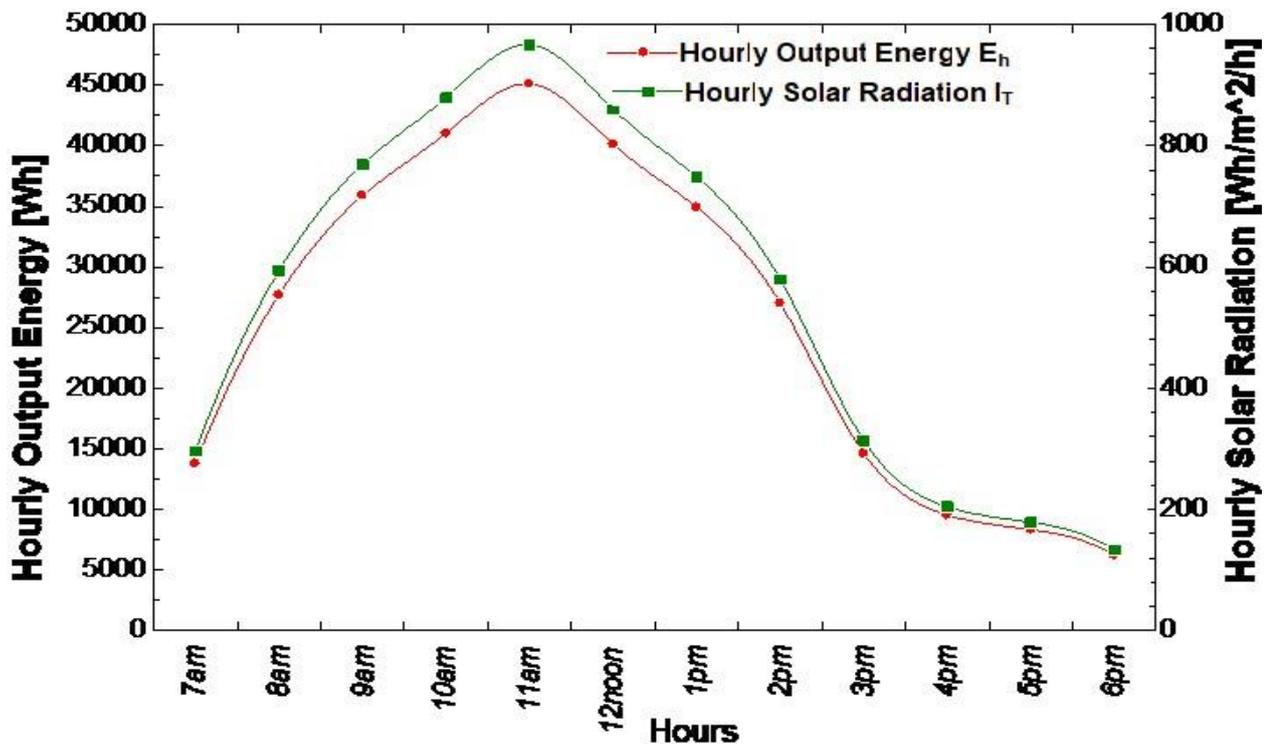


Fig. 5 The hourly output energy and solar radiation.

b. Monthly Variations in the Number of Panels

Figure 6 presents the monthly variations in the number of solar panels calculated using the three different design methodologies. Method 1 shows an average of 34.01 panels, Method 2 an average of 33.7 panels, and Method 3 an average of 32.11 panels. The highest number of panels across methods (e.g., 58.29 panels in August for Methods 1 and 2) occurs during months with lower solar radiation (such as August,

which is typically a rainy month in Nigeria). This highlights the crucial need to size the PV array for the month with the least solar insolation to ensure year-round reliability. The decision to approximate the final design to 36 panels (higher than any average) accounts for a safety factor and potential future improvements, ensuring robustness even during periods of suboptimal solar irradiance.

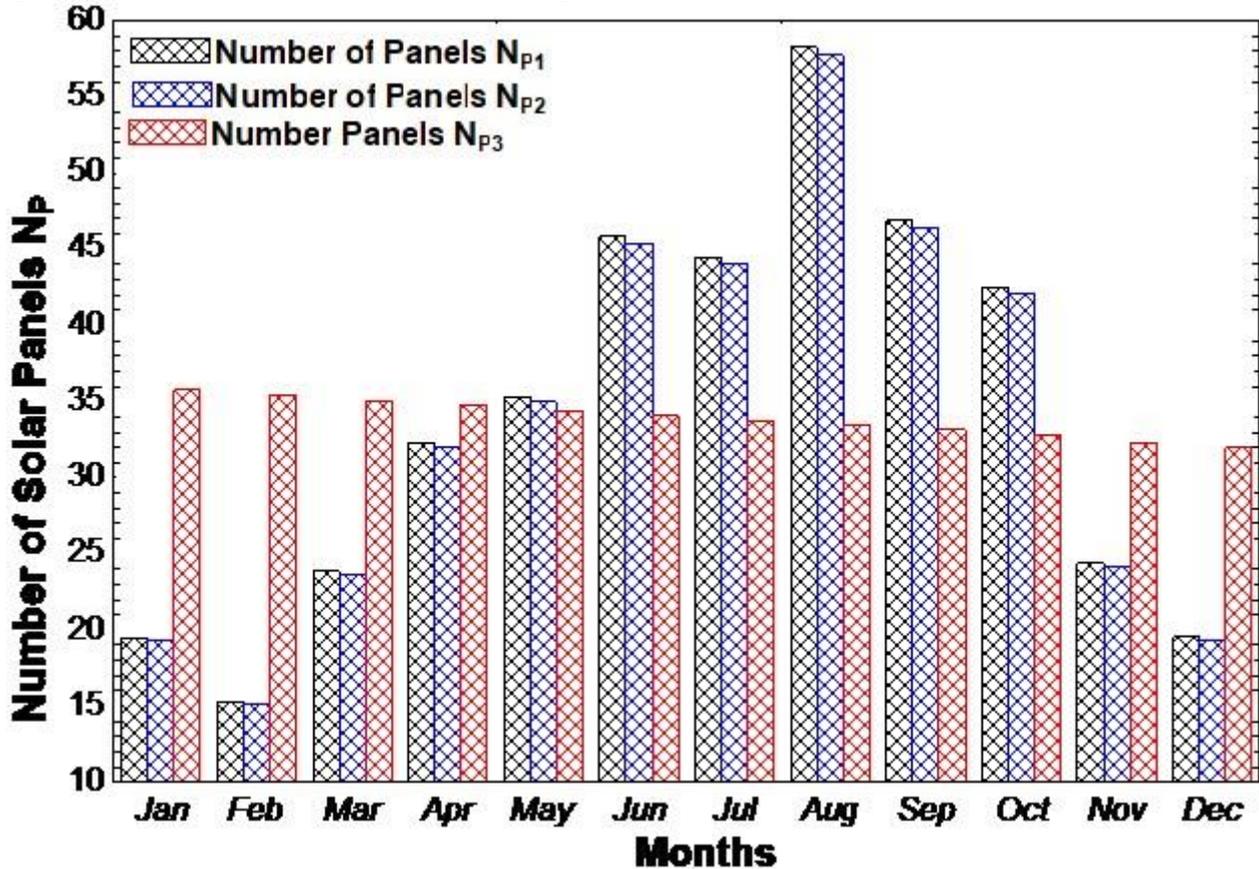


Fig. 6: The Number of solar panels of the solar photovoltaic system.

c. Theoretical and actual monthly output energy of the SPV system

Figure 7 compares the theoretical and actual monthly output energy of the SPV system. The theoretical monthly output energy (E_{thm}) ranges from a minimum of 2076 kWh (in August) to a maximum of 7591 kWh (in February), with an annual total of 52325 kWh. In contrast, the actual estimated monthly energy consumption (E_{ActM}) for the pump remains relatively constant at around 1104 kWh (daily average 36.3

kWh). This visualization clearly demonstrates that the theoretical energy generation capacity of the designed SPV system consistently and significantly surpasses the actual energy demand of the irrigation pump across all months of the year. This overdesign provides a substantial safety margin, guaranteeing that the system can meet the daily water supply needs of the agricultural farmland even during periods of lowest solar radiation.

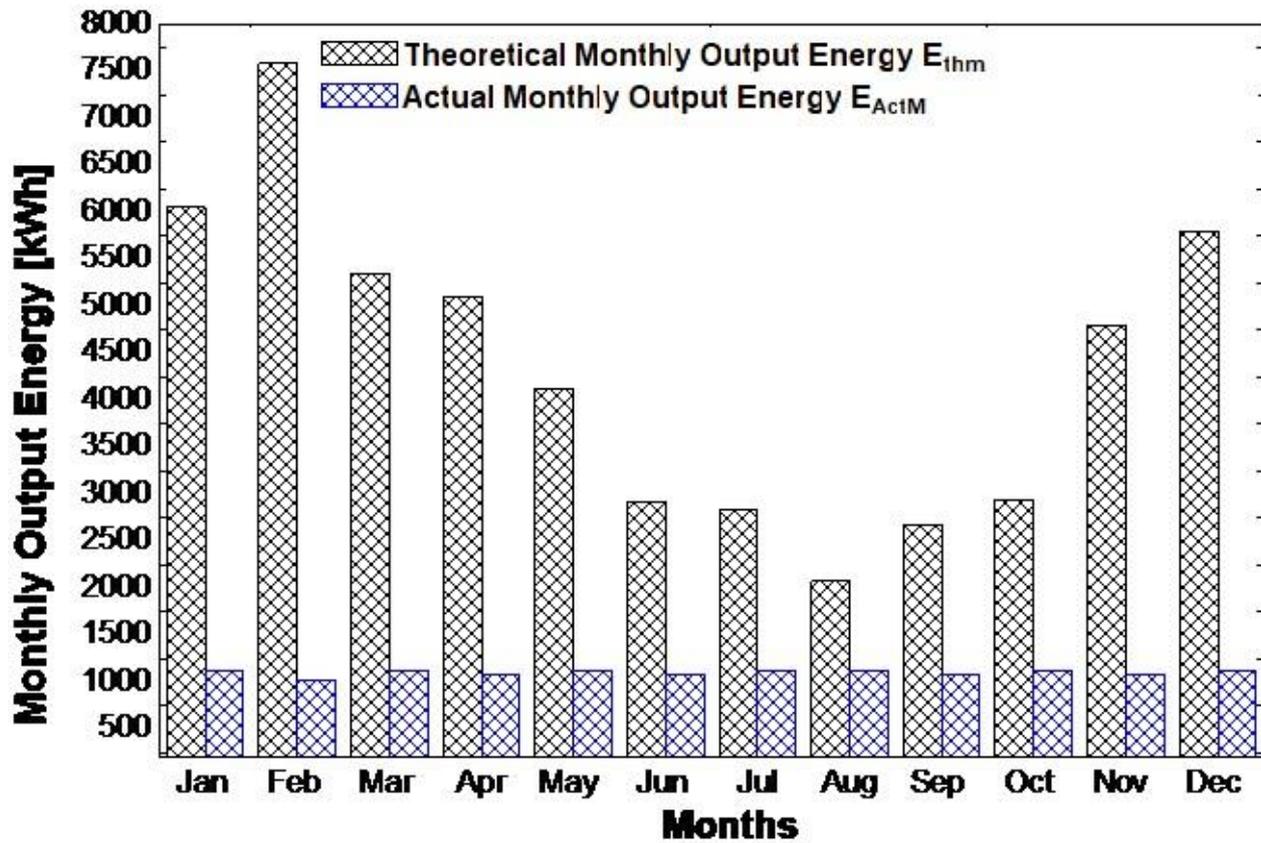


Fig.7: The output energy from the solar photovoltaic system

d. Monthly variation of daily solar radiation (G_d) and the corresponding SPR (%)

Figure 8 illustrates the monthly variation of daily solar radiation (G_d) and the corresponding Solar Performance Ratio (SPR (%)) of the photovoltaic system. Daily solar radiation fluctuates throughout the year, with peaks in dryer months (e.g., February) and lows in rainy months (e.g., August), influencing the system's theoretical output. The SPR, however, maintains a high average of 81.6% over the

year. This consistently high performance ratio demonstrates the system's effectiveness in converting available sunlight into electrical power, irrespective of seasonal variations in insolation. A high SPR confirms the design's efficiency in minimizing energy losses within the system components, ensuring that a significant portion of the harvested solar energy is converted into usable electricity for the irrigation pump, aligning with findings from similar studies (Diyoke et al., 2023; Raghad et al., 2019).

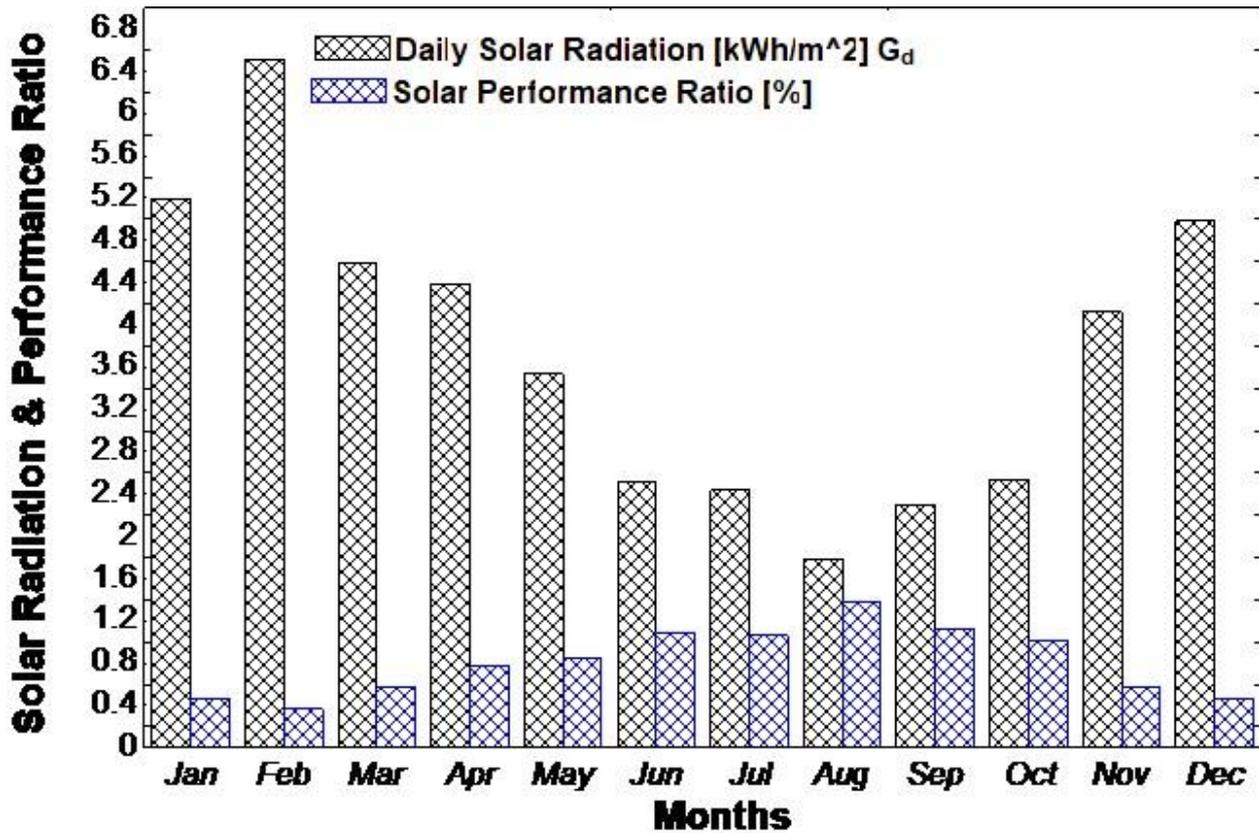


Fig.8: Daily solar radiation and Performance ratio of the solar pumping system

F. Monte Carlo Reliability Analysis

The Monte Carlo simulation results (Table 5) show the **monthly solar resource (G_d in Wh/m²/day), probability of energy deficit, and expected daily energy yields at P50 and P90 confidence levels.** The results indicate that the system experiences high reliability during the months of January to April and November to December, with deficit probabilities not exceeding 6%. In contrast, the period from June to

September represents the most critical deficit months, particularly August, which records a deficit probability of 99.9%, highlighting the risk of severe energy shortfalls in the absence of adequate storage or backup systems. Across all months, P50 values remain consistently higher than P90 values, as expected, with the largest performance gaps occurring in months of low solar irradiance. Fig. 9 presents the monthly deficit probability across all 12 months of the year.

Table 5 Monte Carlo Reliability Results

Month	G_d (Wh/m ² /day)	Deficit Probability (%)	P50 (Wh)	P90 (Wh)
Jan	5192	1.03	65,972	48,972
Feb	6508	0.15	82,670	61,533
Mar	4588	2.96	58,112	43,255
Apr	4384	3.76	55,655	41,379
May	3536	17.54	44,748	33,130
Jun	2512	75.82	31,777	23,542
Jul	2432	81.02	30,850	22,751
Aug	1780	99.90	22,659	16,918
Sep	2300	88.71	29,161	21,715
Oct	2528	73.45	32,085	23,888
Nov	4120	6.20	52,400	38,852
Dec	4980	1.53	63,167	46,509

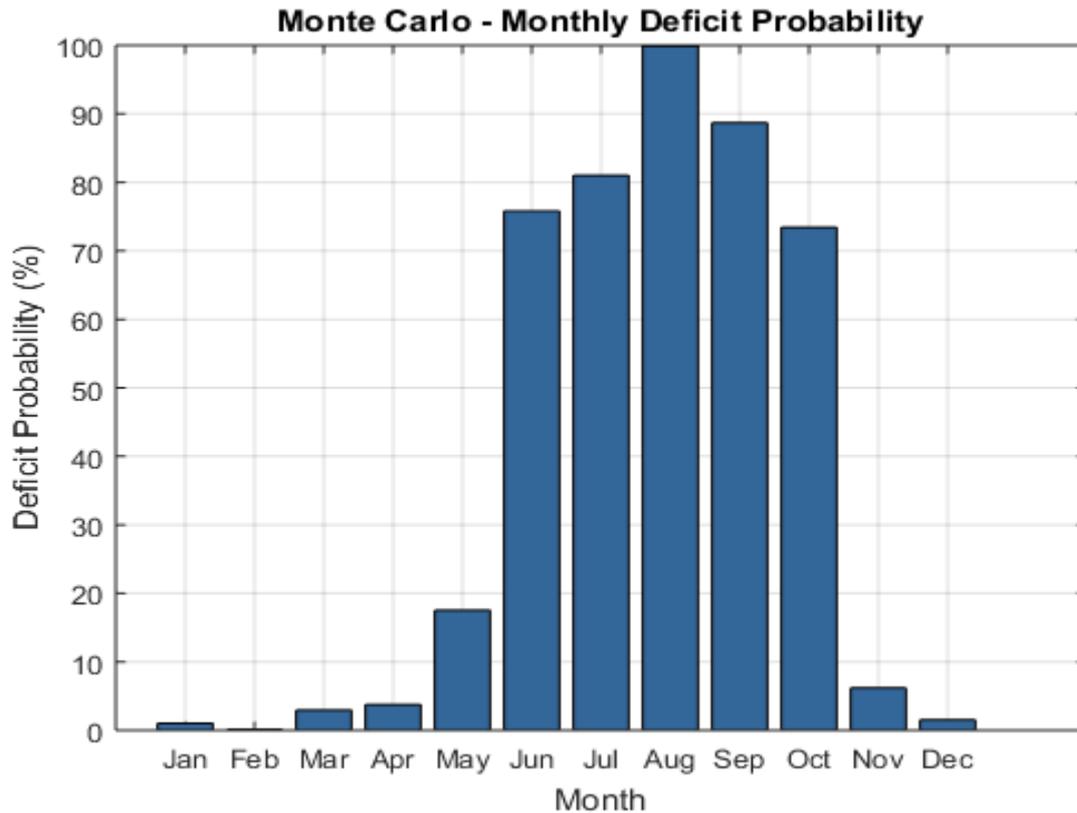


Fig. 9 Monte Carlo-Monthly Deficit Probability

G. Temperature-Corrected Performance

This section accounts for PV output losses due to high ambient temperatures (Table 6). Figure 10 illustrates that the highest temperature-related losses occur in February (9.54%) and December (7.48%) due to slightly higher ambient

temperatures. The lowest losses are recorded in August (2.96%); however, this month also experiences the lowest solar irradiance, which further compounds the reduction in energy output. Overall, seasonal temperature variations have a smaller impact on performance compared to irradiance fluctuations but still contribute to a 3–10% reduction in yield.

Table 6 Temperature-Corrected Daily Energy and Losses

Month	Ambient Temp (°C)	Temp-Corrected Daily Energy (Wh)	Temp Loss (%)
Jan	27.61	61,145	7.16
Feb	29.76	74,678	9.54
Mar	28.94	54,155	6.95
Apr	28.38	52,000	6.49
May	28.74	42,332	5.62
Jun	27.41	30,621	3.90
Jul	27.11	29,711	3.69
Aug	27.24	21,909	2.96
Sep	27.00	28,156	3.49
Oct	27.76	30,768	4.05
Nov	27.32	49,243	5.77
Dec	29.11	58,447	7.48

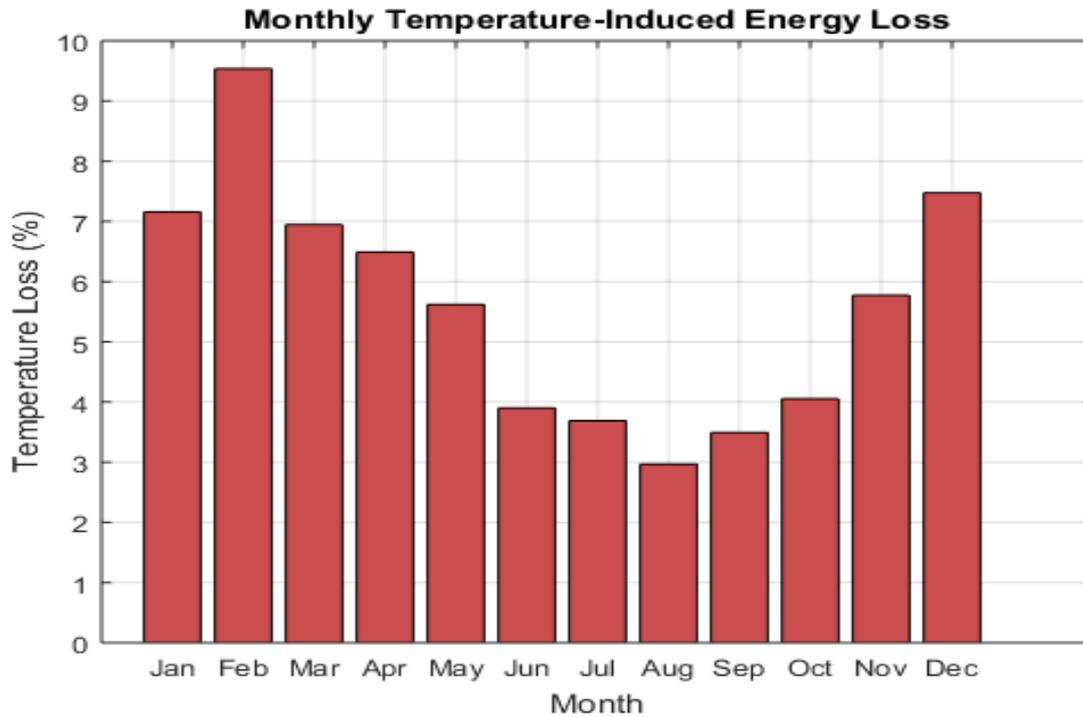


Fig. 10 Monthly Temperature Induced Energy Loss

H. Battery Autonomy Requirement

Fig. 11 indicates that to limit **deficit probability to $\leq 10\%$** in the worst month (August), **at least 1 day of battery**

autonomy is required. This storage buffer can significantly reduce outages during low-solar months.

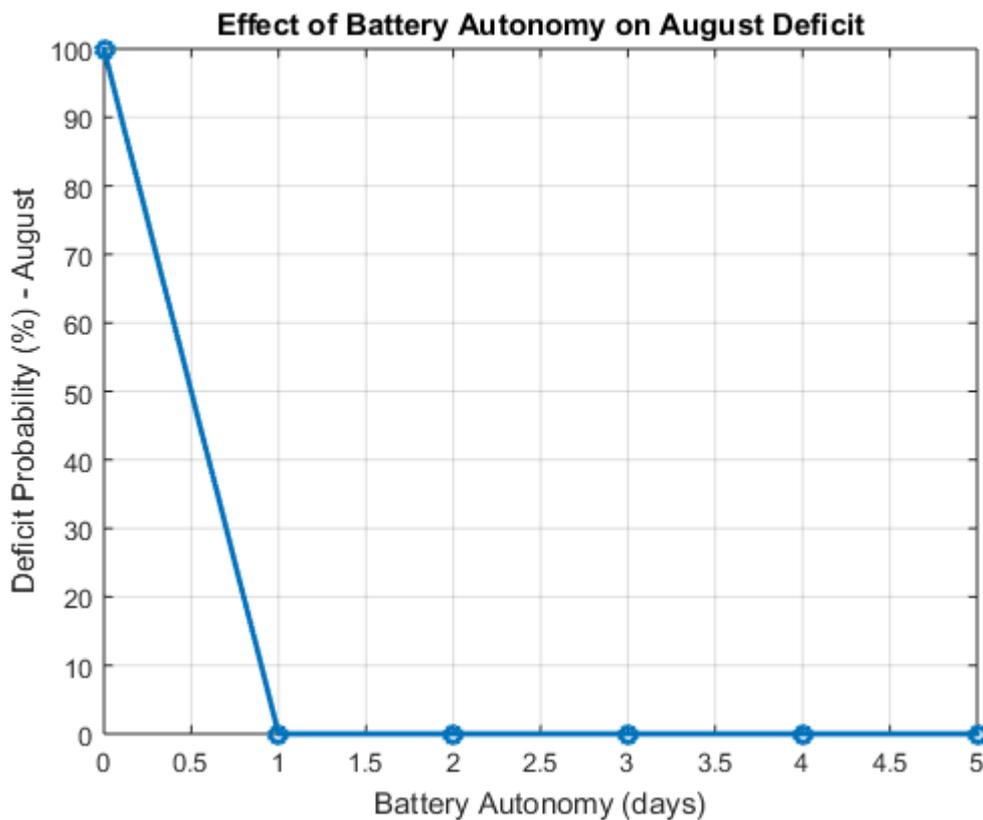


Fig. 11 Effect of Battery Autonomy

IV. CONCLUSION

This study successfully designed and comprehensively evaluated a solar photovoltaic (SPV) irrigation pumping system for the NRCRI farmland in Umudike, Nigeria, demonstrating its technical viability and resilience. The core findings confirm that a robust system, configured with 36 solar panels, 24 batteries, and a 6.0 kVA inverter, can reliably meet the daily 36.3 kWh energy demand for the submerged irrigation pump. The multi-method sizing approach provided cross-validated and conservative design parameters, ensuring system robustness. Crucially, the stochastic reliability analysis via Monte Carlo simulation revealed the impact of daily solar variability, identifying periods of higher deficit probability (e.g., August at 99.9%) but also demonstrating that even minimal battery autonomy (e.g., 1 day) effectively mitigates these risks, enhancing year-round reliability. The temperature-corrected performance analysis quantified seasonal energy losses due to ambient temperatures, further refining efficiency estimates.

Limitations of the Study

This study's primary limitation is its reliance on simulated data for the stochastic analysis rather than real-time, long-term field performance data. While meteorological data from NRCRI was used, the system performance was modeled based on theoretical efficiencies and probabilistic distributions, not continuous empirical measurements from an installed system. Furthermore, a detailed economic analysis was not within the scope of this study, and thus, specific financial metrics like Net Present Value (NPV) or Levelized Cost of Energy (LCOE) were not calculated.

Future Work

Future research should prioritize the experimental validation of the designed SPV system through the construction and monitoring of a pilot installation at the NRCRI farmland. This would allow for the collection of real-world performance data to verify the accuracy of the stochastic and temperature-corrected models. A comprehensive life-cycle cost analysis (LCCA) and environmental impact assessment (EIA) specific to the local context are strongly recommended to provide a more definitive understanding of the system's long-term economic and ecological benefits. Further optimization studies could explore the integration of smart irrigation technologies (e.g., IoT-based soil moisture sensors) to dynamically adjust pump operation based on real-time needs, potentially enhancing efficiency and reducing system size requirements.

V. REFERENCES.

- [1] Ahmed, N.M., Hassan, A.M., Kassem, M.A. et al. (2023). Reliability and performance evaluation of a solar PV-powered underground water pumping system. *Sci Rep*, 13, 14174. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41272-5>
- [2] Ashok Kumar, L., Lakshmiprasad, C. N., Ramaraj, G., & Sivasurya, G. (2022). Design, simulation of different configurations and life-cycle cost analysis of solar photovoltaic–water-pumping system for agriculture applications: use cases and implementation issues. *Clean Energy*, 6(2), 335-352. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac018>
- [3] Bakheet M. A., (2023). Design and Modelling of Solar Energy System for Electrification of a Hospital in Saudi Arabia. *European Journal of Energy Research*. ISSN: 2736-5506; www.ej-energy.org. DOI:10.24018/ejenergy.2023.3.2.106.
- [4] Bhatia A. (2008). *Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems*. www.cedengineering.com.
- [5] Chen, H., Yang, H., Shi, Y., Yu, B., & Yang, J. (2022). Experimental and simulation study on the integration of bifacial photovoltaic modules with buildings. *Thermal Science*, 26(5 Part B), 4413–4422. <https://doi.org/10.2298/tsci220122088c>
- [6] Chetan (2014) Chetan S. S. (2014). *Solar Photovoltaic Technology and Systems*. PHI Learning Private Limited: Delhi-110092. p.19-58, 483-839.
- [7] Diyoke, C., Ngwaka, U., & Ugwu, K. (2023). A comprehensive analysis on the grid-tied solar photovoltaics for clean energy mix and supply in Nigeria's on-grid power. *Journal of Energy Systems*, 7(1), 1-17. <https://doi.org/10.30521/jes.988844>
- [8] Hadole, M.V., Bajpai, P. & Tiwari, K.N. (2022). Modeling and planning operation of directly coupled solar photovoltaic pump operated drip irrigation system with a case study. *Clean Techn Environ Policy*, 24, 2911–2929. <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02376-0>
- [9] Hilarydoss, S. (2023). Suitability, sizing, economics, environmental impacts and limitations of solar photovoltaic water pumping system for groundwater irrigation—a brief review. *Environ Sci Pollut Res*, 30, 71491–71510. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12402-1>
- [10] Jibril, I., Adeoye, P. A., Olorunsogo, S. T., Zubair, S., & Adesiji, A. R. (2022). Design and Selection of Best Pump Capacity for a Solar-Powered Smart Drip Irrigation System for Tomato (*Lycopersicon esculentum*) in Mokwa, Nigeria. <http://repository.futminna.edu.ng:8080/jspui/handle/123456789/18476>
- [11] Kyeyune, I., & Wanyama, J. (2023). Design optimization of communal solar powered irrigation system. *African Journal of Agricultural Research*, 19(3), 272-286. <https://doi.org/10.5897/AJAR2022.16294>
- [12] Mahjoob, A., Noorollahi, Y., Yousefi, H., & Ulbig, A. (2025). Spatial Multi-Criteria Decision Analysis on Underground Water Harvesting Using PV Water Pumping System. *Remote Sensing Applications:*

Society and Environment, 101602.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101602>

- [13] Maka, A. O. M., Mehmood, M., & Chaudhary, T. N. (2023). Design, simulation and performance analysis of photovoltaic solar water pumping system. *Energy Harvesting and Systems*, 10(2), 287-299. <https://doi.org/10.1515/ehs-2022-0040>
- [14] Mohamed, M. E., Abdel-Aziz, A. A., El-Gendy, A. M., Hegazi, A. A., & Hendy, Z. M. (2025). SOFTWARE DESIGN FOR SIMULATION AND MANAGEMENT OF SOLAR-POWERED IRRIGATION PUMPING SYSTEMS. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. <https://doi.org/10.21608/mjae.2025.400724.1159>
- [15] Mulugeta Tadesse and Chernet Merkneh (2020). Design of Solar PV Underground Water Pumping System for Household Water Consumption in Bilate Basin, Ethiopia. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) – Volume 68 Issue 2*; ISSN: 2231-5381; <http://www.ijettjournal.org>.
- [16] Muluken Z., Tassew T., Abdulkadir A. (2014). Optimal sizing of solar water pumping system for small-scale irrigation: a case study of Dangila. *International Journal of Renewable and Sustainable Energy*.
- [17] Raghad Ali Mejeed, Samah Shyaa Oudah, Rasha Yasen Abed (2019). Design of solar photovoltaic pressurised drip irrigation pumping system at Al-Salman District in Samawa Governorate. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*: Vol. 10, No. 3, pp. 1628-1637; ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/ijpeds.v10.i3.
- [18] Tanvir, M. S., Badhon, M. R., Islam, S. T., & Hasan, M. S. B. (2021). *Design and optimization of a solar-powered water pumping system for irrigation and water storage purpose* (Doctoral dissertation, Brac University). <http://hdl.handle.net/10361/15065>
- [19] Umaru, S., Mohammed, M. H., Shekarau, R. A., Mohammed, A., Abubakar, A. S., Adebomehin, A. A., ... & Isah, A. (2024). INNOVATIVE ALGORITHMS FOR WATER AND SOIL MONITORING IN UAV-ASSISTED SOLAR PHOTOVOLTAIC IRRIGATION. *Nigerian Journal of Engineering Science and Technology Research*, 10(2), 291-302.

Appendix A

SUNPOWER
E20/435 SOLAR PANEL

MODEL: SPR-435NE-WHT-D

ELECTRICAL DATA		
Measured at Standard Test Conditions (STC): Irradiance 1000W/m ² , AM 1.5, and cell temperature 25° C		
Nominal Power (+/-5%)	P _{nom}	435 W
Cell Efficiency	η	22.4%
Panel Efficiency	η	20.1 %
Rated Voltage	V _{mpp}	72.9 V
Rated Current	I _{mpp}	5.97 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	85.6 V
Short-Circuit Voltage	I _{sc}	6.43 A
Maximum System Voltage	IEC	1000 V
Temperature Coefficients	Power (P)	- 0.38%/K
	Voltage (V _{oc})	-235.5mV/K
	Current (I _{sc})	3.5mA /K
NOCT		45°C +/- 2°C
Series Fuse Rating		20 A
Limiting Reverse Current (3 strings)	I _r	16.1 A
Grounding		Positive grounding not required

ELECTRICAL DATA		
Measured at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT): Irradiance 800W/m ² , 20° C, wind 1 m/s		
Nominal Power	P _{nom}	323 W
Rated Voltage	V _{mpp}	67.2 V
Rated Current	I _{mpp}	4.81 A
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	80.1 V
Short-Circuit Voltage	I _{sc}	5.20 A

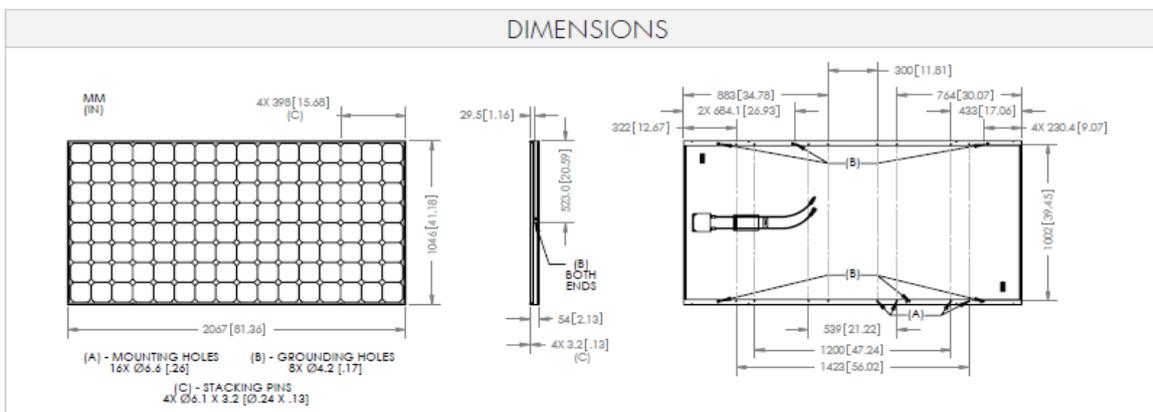
I-V CURVE

Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

TESTED OPERATING CONDITIONS	
Temperature	- 40° C to +85° C
Max load	550 kg/m ² (5400 Pa), front (e.g. snow) w/specified mounting configurations 245 kg/m ² (2400 Pa) front and back (e.g. wind)
Impact Resistance	Hail: 25 mm at 23 m/s

WARRANTIES AND CERTIFICATIONS	
Warranties	25-year limited power warranty 10-year limited product warranty
Certifications	IEC 61215 Ed. 2, IEC 61730 (SCII)

MECHANICAL DATA			
Cells	128 SunPower Maxeon™ cells	Output Cables	700 mm cables / Multi-Contact (MC4) connectors
Front Glass	High-transmission tempered glass with anti-reflective (AR) coating	Frame	Anodised aluminium alloy type 6063 (silver)
Junction Box	IP-65 rated with 3 bypass diodes 32 x 155 x 128 mm	Weight	28.6 kg



Please read safety and installation instructions before using this product, visit sunpowercorp.com for more details.

© 2011 SunPower Corporation. SUNPOWER, the SunPower Logo, and THE WORLD'S STANDARD FOR SOLAR, and MAXEON are trademarks or registered trademarks of SunPower Corporation in the US and other countries as well. All Rights Reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

sunpowercorp.com

Document #001-65752 Rev*A / A4_EN
 CS 11_285

A Comparative Study of Distance Measures for 2DPCA- Based Face Recognition

W. H. Al-Arashi (1,*)

Received: 29/07/2025
Revised: 04/08/2025
Accepted: 05/08/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Faculty of Engineering and Computing, Mechatronics Engineering Department, University of Science and Technology, Aden, Yemen

*Corresponding Author's Email: w.alarashi@ust.edu

A Comparative Study of Distance Measures for 2DPCA-Based Face Recognition

Waled Hussein Al-Arashi
Faculty of Engineering and Computing,
Mechatronics Engineering Department,
University of Science and Technology,
Aden, Yemen
w.alarashi@ust.edu

Abstract— Face recognition is considered a primary technology in biometric systems. Despite its merits, the systems suffer because of the various facial variations. Two-Dimensional Principal Component Analysis (2DPCA) limits these variations by preserving facial spatial information and, at the same time, improves the computational efficiency. Those features give it an advantage in different applications, not only in face recognition but also in artificial intelligence (AI) applications. However, the distance methods used for classifications associated with 2DPCA are a significant issue. This paper explores and modifies various distance measures defined in the literature of the PCA approach for face recognition. These fourteen-distance metrics are modified and compared to the standard Euclidean distance on well-known face databases, namely the ORL, AR, and LFW databases. The experiments on these databases, which have diverse variations in facial images, manifest the superiority of the correlation coefficient-based distance method. Additionally, the results also show remarkable performance of angle-based and Canberra distance methods. These results clarify the importance of this work in enhancing distance metrics within 2DPCA algorithms to enhance the accuracy and robustness of both traditional and AI-driven recognition systems.

Keywords—Two-dimensional PCA, Face recognition, Classification Methods.

I. INTRODUCTION

Face recognition has become a cornerstone of modern biometric systems. This is primarily because of its natural, non-intrusive, and easily deployable attributes in a variety of real-world contexts—from security and surveillance to access control and human-computer interaction [1]. Nevertheless, despite these strengths, achieving high levels of accuracy poses significant challenges due to substantial variations in facial appearance arising from illumination, expression, aging, pose, occlusion, and image quality [1], [23].

Face recognition algorithms are divided into three groups: appearance-based methods, feature-based methods, and hybrid methods. Appearance-based approaches examine holistic pixel intensity data and encompass famous and well-known techniques such as Principal Component Analysis (PCA), Linear Discriminant Analysis (LDA), and Independent Component Analysis (ICA) [2-7]. Feature-based methods focus on extracting local or geometric face characteristics, such as facial landmarks, whereas hybrid methods merge both global and local approaches to enhance robustness.

Among these various techniques, PCA has been widely adopted due to its effectiveness in minimizing dimensionality while preserving essential key variability in facial data [3-4].

PCA transforms high-dimensional face images into a compact set of uncorrelated features, referred to as principal components, which can be utilized for efficient classification. Nevertheless, PCA requires vectorizing two-dimensional images, which leads to the loss of crucial spatial information, potentially impairing recognition performance [8-10].

Following the PCA projection, selecting an appropriate distance measure for comparing feature vectors plays a crucial role in recognition performance. The Euclidean distance is the most frequently employed metric due to its simplicity; nevertheless, other distances, such as Mahalanobis, cosine-based, and correlation-based distances, have proven to offer greater accuracy concerning PCA-based systems [13, 20].

To mitigate the loss of spatial information, Two-Dimensional PCA (2DPCA) is introduced, operating directly on image matrices without the requirement for vectorization [9]. 2DPCA effectively preserves spatial structure and offers superior computational efficiency compared with PCA [9, 10]. Extensions and variants of 2DPCA, including Diagonal PCA (DiaPCA) [10], Selected Coefficient 2DPCA [11], Variation 2DPCA [12], Relaxed 2DPCA [21], and Joint-norm 2DPCA [22], have been developed to further improve both discrimination and robustness.

Recently, the integration of 2DPCA and its variants into artificial intelligence (AI) pipelines has gained significant interest [21-33]. Shallow subspace representations, such as 2DPCA, are frequently utilized as feature extraction stages before feeding data into deep learning models, facilitating hybrid systems that combine traditional statistical methods and neural networks [26, 27]. The implementation of effective distance measures in these intermediate stages can enhance performance in various tasks such as identity verification, clustering, and few-shot learning [28]. Furthermore, they play a critical role in privacy-preserving face systems [29]. Beyond the realm of face recognition, 2DPCA has also been employed as an effective shallow feature extraction technique in AI-driven applications, such as texture classification [26], where it contributes to the enhancement of convolutional neural networks (CNNs) performance when combined in hybrid architectures [30]. In medical image analysis, 2DPCA has also been used to enhance feature representations before feeding them into deep classifiers for tasks such as disease diagnosis and lesion detection [27, 31]. For hyperspectral image classification, 2DPCA aids in dimensionality reduction while preserving spatial-spectral information, yielding better results when integrated with deep learning frameworks [28, 32]. Likewise, in handwriting recognition, 2DPCA-based features have been

combined with deep neural networks to improve accuracy in multilingual character recognition systems [29, 33]. As AI-driven recognition systems continue to evolve, understanding and optimizing these distance measures within 2DPCA frameworks has become increasingly crucial for developing robust, efficient, and interpretable solutions.

Thus, studying and optimizing distance measures in 2DPCA-based algorithms is essential not only for enhancing traditional face recognition accuracy but also for advancing AI applications that depend on robust similarity measurement [21-22, 24-25]. In systems powered by AI, feature extraction techniques such as 2DPCA often serve as a bridge between raw data and deep learning classifiers or embedding models [26-27], [30-31]. The choice of distance metric has a direct impact on subsequent tasks such as clustering, identity verification, few-shot learning, and adversarial robustness [28, 32]. By enhancing the discriminative power of 2DPCA feature spaces with optimized distance functions, these systems can achieve higher generalization ability and stability across diverse datasets and operational conditions [22, 25, 33]. Furthermore, these enhancements can lead to more interpretable and trustworthy AI models, which is particularly crucial for applications involving security, healthcare, and human-centered AI solutions [31-32, 34]. As a result, systematically investigating distance measures within the 2DPCA framework offers a foundation for building more powerful and reliable hybrid AI systems [21, 25, 30, 34].

In spite of advancements in feature extraction, most 2DPCA-based face recognition systems continue to rely primarily on Euclidean distance for classification. Nevertheless, 2DPCA-based studies have shown that alternative distance measures, including volume-based, assembled matrix, reweighted angle, RowAMD, and row-kNN distances, can lead to significant improvements [16-20, 35-36]. Applying these advanced distance measures within the 2DPCA framework remains an open question for further research.

Motivated by this gap, this paper explores fourteen distance measures, originally developed for PCA-based recognition, and modifies them to 2DPCA-based systems. The evaluation of their impact on recognition accuracy is conducted using standard face datasets under various conditions, including changes in illumination and expression.

The remaining of this paper is organized as follows. Section 2 briefly explains a 2DPCA algorithm. Section 3 depicts modified versions of the distance measures. Section 4 provides experimental results and discussion on three famous face databases. Finally, section 5 introduces the conclusion and future work.

II. 2DPCA ALGORITHM

Let us consider a random matrix A characterized by dimensions $m \times n$, which projects onto an X n -dimensional unitary column vector via linear transformation as illustrated in Eq. (1):

$$Y = AX \quad (1)$$

Y is referred to as the projected feature vector of the image A . To ascertain the most effective projection vector X which encompasses the total scatter of the projection samples, the trace of the covariance matrix criterion is employed as illustrated in Eq. (2):

$$J(X) = tr(S_x); \quad (2)$$

where, $J(X)$ represents the trace of S_x , and S_x refers to the covariance matrix of the projected feature vectors obtained from the training images. Thus, S_x can be expressed as:

$$\begin{aligned} S_x &= E(Y - E(Y))E(Y - E(Y))^T \\ &= E(AX - E(AX))(AX - E(AX))^T \\ &= E((A - E(A))X)((A - E(A))X)^T \end{aligned} \quad (3)$$

Hence,

$$tr(S_x) = tr(X^T E((A - E(A))^T (A - E(A)))X) \quad (4)$$

Assuming there are M training face images, the covariance matrix, referred to as G_t can be expressed as in Eq. (5):

$$G_t = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (A_i - \bar{A})^T (A_i - \bar{A}) \quad (5)$$

where, the A_i represents the i th training images. M denotes the number of training images and \bar{A} is the average image of all training images. By calculating the eigenvectors of G_t and selecting the eigenvectors $X_1; \dots; X_d$ corresponding to the largest eigenvalues, we obtain the optimal projection axes. Since the size of G_t is only $n \times n$, the computation of its eigenvectors proves to be more efficient than that of PCA.

The feature matrix for each image in the gallery is obtained by multiplying it by the selected eigenvectors as outlined in Eq. (8):

$$Y = AX \quad (6)$$

where, X is the selected eigenvector matrix and Y indicates the feature matrix corresponding to the image A . The identical equation applies to the test image. Following this, the nearest neighbour, which has a defining distance, is utilized for classification.

III. DISTANCE MEASURES

A range of distance methods have been introduced alongside the 2DPCA algorithm. In this paper, different variations of distance methods are tailored based on the structure of distance methods presented in [20]. Let Y_t is the feature matrix of a test image, Y_i is a feature matrix of a train image. The definitions of modified distance methods are as follows:

A. **Minkowski distance (L_p metrics):** it is the same as AMD distance methods:

$$d_{AMD}(Y_t; Y_i) = (\|Y_t - Y_i\|_p^p)^{1/p}$$

B. **Manhattan distance (L_1 metrics, city block distance)**

$$d_{2MAND}(Y_t; Y_i) = |Y_t - Y_i|$$

C. **Euclidean distance (L_2 metrics):** it is the same as 2D Euclidean distance

$$d_{2D}(Y_t; Y_i) = \|Y_t - Y_i\|_2$$

D. **Squared Euclidean distance (sum square error, SSE), mean square error (MSE)**

$$d_{2SSED}(Y_t; Y_i) = \|Y_t - Y_i\|_2^2$$

$$d_{2MSED}(Y_t; Y_i) = \frac{1}{n} \|Y_t - Y_i\|_2^2$$

Where n is the number of selected eigenvectors.

E. **Angle-based distance**

$$d_{2ANGD}(Y_t; Y_i) = \frac{Y_t \cdot Y_i}{\sqrt{Y_t^2 \cdot Y_i^2}}$$

F. **Correlation coefficient-based distance**

$$d_{2ANGD}(Y_t; Y_i) = \frac{n * Y_t .* Y_i}{\sqrt{(n * (Y_t^2 - Y_t^2) .* (Y_i^2 - Y_i^2))}}$$

Where n is the number of selected eigenvectors.

G. Mahalanobis distance and Mahalanobis distance between normed vectors

$$d_{2MAHD}(Y_t; Y_i) = z * (Y_t - Y_i)^T * (Y_t - Y_i) \quad z = \sqrt{\frac{A}{A + \alpha^2}}$$

$$d_{2MAHND}(Y_t; Y_i) = \frac{z * (Y_t - Y_i)^T * (Y_t - Y_i)}{\sqrt{Y_t^2} \sqrt{Y_i^2}} \quad z = \sqrt{\frac{1}{A}}$$

Where A is the sorted eigenvector and $\alpha = 0.25$

H. Weighted Manhattan distance

$$d_{2WMAND}(Y_t; Y_i) = z * |(Y_t - Y_i)| \quad z = \sqrt{\frac{1}{A}}$$

Where A is the sorted eigenvector.

I. Weighted SSE distance

$$d_{2WSSED}(Y_t; Y_i) = z * \|Y_t - Y_i\|_2^2 \quad z = \sqrt{\frac{1}{A}}$$

Where A is the sorted eigenvector.

J. Weighted angle-based distance

$$d_{2ANGD}(Y_t; Y_i) = \frac{z * Y_t .* Y_i}{\sqrt{Y_t^2 .* Y_i^2}} \quad z = \sqrt{\frac{1}{A}}$$

K. Chi square distance

$$d_{2CHSD}(Y_t; Y_i) = \frac{(Y_t - Y_i)^2}{Y_t + Y_i}$$

L. Canberra distance

$$d_{2CNBD}(Y_t; Y_i) = \frac{|Y_t - Y_i|}{|Y_t| + |Y_i|}$$

M. Modified Manhattan distance

$$d_{2MMAND}(Y_t; Y_i) = \frac{|(Y_t - Y_i)|}{|Y_t| .* |Y_i|}$$

N. Modified SSE-based distance

$$d_{2MSSED}(Y_t; Y_i) = \frac{\|Y_t - Y_i\|_2^2}{\|Y_t\|_2 .* \|Y_i\|_2^2}$$

O. Weighted modified Manhattan distance

$$d_{2WMMAND}(Y_t; Y_i) = \frac{z * |(Y_t - Y_i)|}{|Y_t| .* |Y_i|} \quad z = \sqrt{\frac{1}{A}}$$

P. Weighted modified SSE-based distance

$$d_{2WMSSED}(Y_t; Y_i) = \frac{z * \|Y_t - Y_i\|_2^2}{\|Y_t\|_2 .* \|Y_i\|_2^2} \quad z = \sqrt{\frac{1}{A}}$$

IV. EXPERIMENTS AND DISCUSSION

A. Result tested on ORL database

The ORL database [37] contains 400 images for 40 individuals, with 10 different images for each one. The image measures 112×92 . The images were captured against a dark homogeneous background at different times, with facial expressions (open/closed eyes, smiling / not smiling), lighting variations, and facial details (glasses / no glasses), while allowing for some lateral movement. Some examples of ORL are shown in Fig. 1.



Fig. 1: Examples from the ORL database used in the experiments

To evaluate the different distance methods on the ORL database, the first 1 to 9 images are selected for training, and the remaining images are used for testing. It is evaluated with a different number of eigenvectors. Table 1 shows the best accuracy with the corresponding number of eigenvectors.

Table 1: Best accuracy of ORL database with the corresponding number of eigenvectors for modified distance methods

NO of training Images	Manhattan		Squared Euclidean (SSE)		Mean square Euclidean (MSE)		Angle-based		Correlation coefficient-based		Weighted Manhattan		Mahalanobis Norm		Weighted SSE		Weighted angle-based		Chi square		Cannberra		Modified Manhattan distance		Modified SSE-based		Weighted modified Manhattan		Weighted modified SSE-based		2D Euclidean	
	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors	accuracy	No. eigenVectors		
1	75.56	3	73.06	2	73.06	2	68.89	5	63.89	6	74.17	2	65.56	5	74.44	2	65.56	5	68.06	2	71.39	2	73.61	2	70.56	4	63.61	2	70.83	2	75.56	6
2	85.94	4	84.06	2	84.06	2	78.13	6	75.63	12	85.63	4	74.69	5	85.94	2	74.69	5	78.13	2	78.75	2	83.13	4	80.63	4	72.19	2	79.69	2	85.94	2
3	88.21	6	85.71	14	85.71	14	79.29	4	79.64	6	87.86	4	78.21	8	86.43	4	78.21	8	83.57	2	83.21	2	82.86	2	81.43	2	77.50	2	82.14	2	87.86	6
4	91.25	11	89.17	8	89.17	8	83.33	5	82.08	6	90.00	4	83.33	9	89.58	4	83.33	9	80.42	2	86.25	2	87.50	5	85.00	4	80.83	2	83.33	2	90.83	12
5	93.50	9	91.50	8	91.50	8	86.50	4	84.00	9	93.00	4	82.00	9	91.00	4	82.00	9	80.50	1	86.00	5	91.00	3	88.50	4	85.00	2	86.50	4	93.50	15
6	96.88	3	96.88	6	96.88	6	93.13	4	90.00	7	96.25	3	88.13	7	96.88	5	88.13	7	89.38	1	91.88	2	97.50	3	95.00	3	93.13	2	96.25	3	97.50	7
7	96.67	2	96.67	6	96.67	6	93.33	4	91.67	7	96.67	2	90.83	8	96.67	5	90.83	8	89.17	1	94.17	5	99.17	3	95.83	3	90.83	2	97.50	3	97.50	3
8	96.25	2	96.25	5	96.25	5	96.25	4	93.75	7	97.50	3	95.00	9	96.25	5	95.00	9	87.50	1	96.25	5	98.75	3	96.25	3	92.50	2	97.50	3	97.50	3
9	95.00	3	95.00	6	95.00	6	100.00	4	97.50	7	97.50	3	95.00	6	95.00	3	95.00	6	87.50	2	95.00	2	97.50	3	95.00	3	95.00	2	97.50	3	95.00	3

It can be seen from Table 1 that the angle-based method achieves the best accuracy when the number of training images is 9, which is 100%. In contrast, for the other sets of training images, both Manhattan and modified Manhattan

demonstrate superior results compared to other distance methods. Figure 2 displays the average accuracy outlined in Table 1.

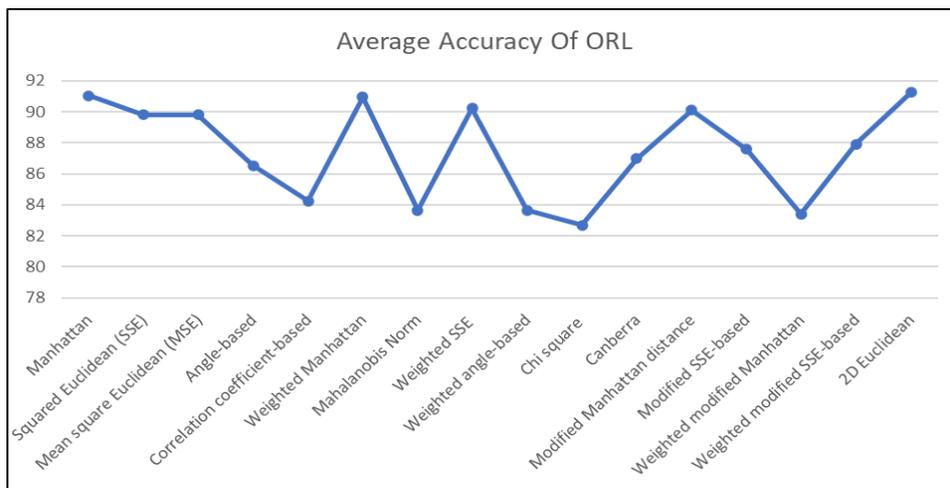


Fig. 2: Average Accuracy of the ORL database

It is evident from Fig. 2 that Manhattan and 2D Euclidean distance methods yield the best average accuracies. In terms of the number of eigenvectors utilized, the chi-square distance method requires the fewest eigenvectors; nevertheless, it results in the lowest average accuracy. On the other hand, Weighted Manhattan and Weighted SSE utilize the least number of eigenvectors while still achieving satisfactory average accuracies.

B. Results on AR database

The AR face database [38] contains 2,600 warped frontal color images of 100 persons. Each subject has 26 different images registered in two separate sessions; each held in a different week. Each session consists of 13 images featuring various expressions and conditions: neutral expression, smile, anger, scream, left light on, right light on, all side lights on, wearing sunglasses, wearing sunglasses with left light on,

wearing sunglasses with right light on, wearing a scarf, wearing a scarf with left light on, and wearing a scarf with right light on. The images were captured under controlled conditions of illumination and viewpoint using the same camera. All images were converted to grayscale and have a size of 165×120 pixels. Examples from the AR database are shown in Fig. 3.



(a) Session 1 (b) Session 2
Fig. 3. Examples of one subject in the AR face database

Natural images of the two sessions are used for training, and the rest of the expressions and conditions are used for testing individually for both sessions. Table 2 shows the best

accuracy and the corresponding number of eigenvectors for each state individually for both sessions.

Table 2: Best accuracy of AR database with the corresponding number of eigenvectors for modified distance methods

No of training Images	Manhattan		Squared Euclidean		Mean square Euclidean		Angle-based		Correlation coefficient-		Weighted Manhattan		Mahalanobis Norm		Weighted SSE		Weighted angle-based		Chi square		Canberra		Modified Manhattan		Modified SSE-based		Weighted modified		Weighted modified SSE-		2D Euclidean	
	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors		
smile	94.00	14	97.50	20	97.50	20	95.50	18	96.00	15	99.00	9	94.00	14	98.00	10	98.00	10	91.00	1	99.50	15	94.50	2	89.50	1	92.00	2	89.50	1	98.00	12
anger	85.50	18	90.50	9	90.50	9	86.50	18	87.50	20	93.50	9	85.50	18	92.50	7	92.50	7	74.00	1	96.50	11	88.00	3	78.50	13	81.50	2	77.00	13	91.50	12
scream	45.50	6	61.50	6	61.50	6	49.00	16	49.00	11	77.50	6	45.50	6	64.50	8	64.50	8	33.50	1	84.00	17	51.00	2	42.50	2	45.50	2	42.00	2	63.50	6
left light on	90.00	4	19.00	20	19.00	20	90.00	4	93.50	4	82.50	20	90.00	4	51.00	20	51.00	20	22.00	14	81.00	20	82.50	4	84.00	4	32.50	4	83.00	4	53.50	19
right light on	76.50	20	15.50	18	15.50	18	67.00	20	94.50	15	56.00	20	76.50	20	36.50	20	36.50	20	9.50	15	51.00	20	36.00	3	54.50	3	20.50	3	54.00	3	38.50	20
all side lights on	87.50	18	2.50	7	2.50	7	87.50	19	93.50	18	59.00	20	87.50	18	14.50	20	14.50	20	9.50	10	68.00	20	42.50	14	33.50	13	8.50	8	29.00	9	22.50	20
wearing sunglasses	73.00	18	42.50	14	42.50	14	76.00	19	78.50	19	90.50	7	73.00	18	67.00	20	67.00	20	26.50	16	95.00	12	79.50	2	40.00	15	73.50	2	39.50	2	67.00	15
sunglasses with left light on	51.50	20	37.50	17	37.50	17	54.50	20	67.00	20	64.50	20	51.50	20	53.50	20	53.50	20	16.50	2	65.00	19	24.50	4	13.50	4	5.50	4	13.50	4	55.00	20
sunglasses with right light on	33.50	19	25.50	20	25.50	20	30.50	19	61.50	19	34.50	11	33.50	19	35.50	20	35.50	20	13.00	2	41.00	20	11.50	13	7.00	11	3.50	8	7.00	11	41.00	19
wearing a scarf	73.00	20	9.50	14	9.50	14	74.00	20	75.50	20	51.50	9	73.00	20	12.00	15	12.00	15	10.50	18	90.50	16	80.00	14	60.50	15	23.00	2	57.00	13	17.50	20
scarf with left light on	55.00	20	13.00	15	13.00	15	57.00	20	62.50	20	36.00	20	55.00	20	24.00	19	24.00	19	8.50	20	51.50	20	42.00	4	32.00	4	10.00	4	33.00	4	33.00	19
scarf with right light on	34.00	20	13.00	10	13.00	10	23.00	3	55.00	20	12.50	4	34.00	20	12.50	4	12.50	4	4.50	3	16.00	20	21.50	3	17.50	3	6.50	2	17.00	3	17.50	12

From Table 2, it can be observed that Canberra provides the best accuracy result of 99.5% when the image is normal and the person is smiling. Nevertheless, the Correlation coefficient-based approach achieves better accuracies in most

cases. The Chi-square method remains unchanged, as observed in the ORL database, which produces the lowest accuracies. Figure 4 illustrates the average accuracy outlined in Table 2.

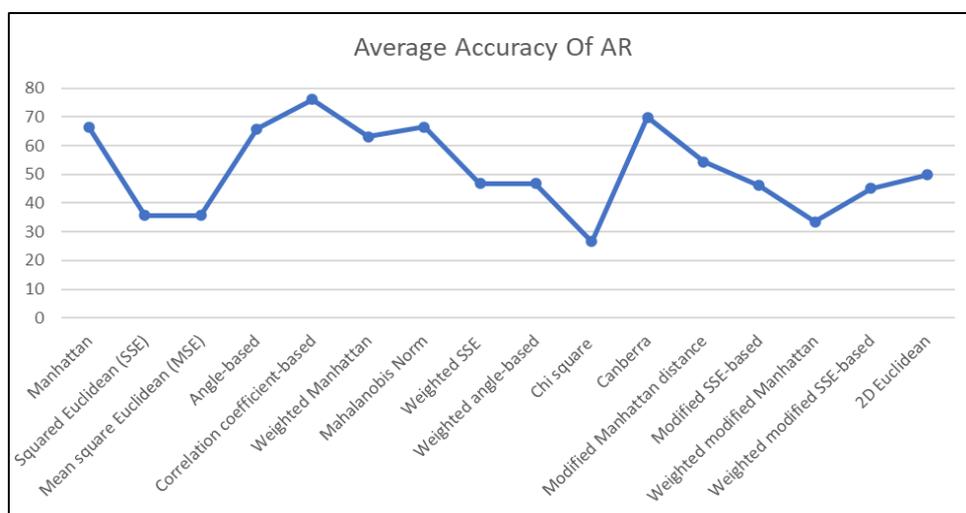


Fig. 4: Average Accuracy of the AR database

It is apparent from Fig. 4 that the Correlation coefficient-based and Canberra methods yield the best average accuracies. Regarding the number of selected eigenvectors, the Weighted modified Manhattan distance method requires the fewest eigenvectors; nonetheless, it results in a low average accuracy. Conversely, the Correlation coefficient utilizes more than the average number of eigenvectors while achieving the best average accuracy.

V. Results on LFW database

Labeled Faces in the Wild (LFW) [39] was developed by the University of Massachusetts, Amherst. It contains 13,233 images of 5,749 individuals, featuring significant variations

in pose, occlusion, illumination, and expression. The database comprises images of famous people from the internet, aimed at studying the face recognition problem in unconstrained environments. Among the individuals, 1,680 have two or more distinct images, while the remaining individuals have only one image. The images are in JPEG format, each measuring 250×250 pixels. While some images are grayscale, the majority are in color. A sub-database is derived from this dataset, selecting individuals with 10 or more images, from which 10 images are chosen. Consequently, the new database consists of 100 individuals, each with 10 images. These images are cropped, resized to 80×60 pixels, and aligned using the method described in [40]. Examples from the LFW face database are shown in Fig. 5.



Fig. 5. Examples of three subjects in the LFW database

To evaluate the different distance methods on the LFW database, the first 1 to 9 images are selected for training, and the rest are for testing. It is evaluated with a different number

of eigenvectors. Table 3 shows the best accuracy with the corresponding number of eigenvectors.

Table 3: Best accuracy of AR database with the corresponding number of eigenvectors for modified distance methods

NO of training Images	Manhattan		Squared Euclidean (SSE)		Mean square Euclidean (MSE)		Angle-based		Correlation coefficient-based		Weighted Manhattan		Mahalanobis Norm		Weighted SSE		Weighted angle-based		Chi square		Canberra		Modified Manhattan distance		Modified SSE-based		Weighted modified Manhattan		Weighted modified SSE-based		2D Euclidean	
	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors	accuracy	No. eigen Vectors		
1	16.67	17	18.67	8	18.67	8	25.44	1	33.11	6	20.22	12	25.44	1	19.78	13	25.44	1	14.11	1	20.11	10	16.67	8	14.33	1	13.11	1	14.33	1	20.44	8
2	25.25	12	26.88	15	26.88	15	33.13	9	42.00	11	28.13	9	31.13	9	27.38	17	31.13	9	18.88	1	30.13	18	25.25	9	20.63	4	17.13	1	20.75	4	28.88	17
3	30.71	9	33.00	15	33.00	15	41.57	11	52.14	9	34.14	8	40.00	9	33.43	9	40.00	9	22.00	1	37.14	15	30.71	11	27.57	9	22.00	1	25.86	9	34.71	9
4	37.17	9	40.83	11	40.83	11	48.00	11	59.17	9	41.50	9	47.00	9	40.17	9	47.00	9	28.17	1	43.50	15	37.17	9	33.17	9	26.33	1	31.17	4	43.00	9
5	40.80	10	44.00	16	44.00	16	52.00	11	61.80	9	45.60	8	49.40	6	44.40	17	49.40	6	30.00	1	49.80	14	40.80	9	35.80	9	28.40	1	35.20	4	46.40	9
6	44.50	15	44.50	16	44.50	16	55.25	10	63.25	9	50.50	9	53.00	9	49.50	18	53.00	9	34.50	1	52.75	18	44.50	9	39.00	9	30.50	1	37.25	4	49.00	14
7	46.67	15	52.67	16	52.67	16	59.33	10	67.33	9	55.33	9	57.67	9	55.67	13	57.67	9	36.67	1	56.67	18	46.67	10	44.00	4	34.00	1	46.33	4	56.67	12
8	47.50	15	54.00	10	54.00	10	63.00	10	70.00	7	55.50	9	59.50	9	57.00	14	59.50	9	39.00	1	60.00	15	47.50	6	45.50	7	36.50	1	45.00	4	57.50	17
9	50.00	6	58.00	6	58.00	6	67.00	10	70.00	7	59.00	9	61.00	8	61.00	11	61.00	8	43.00	1	59.00	13	50.00	5	46.00	4	41.00	1	46.00	7	62.00	9

From Table 3, one can observe that the method utilizing the Correlation coefficient-based method delivers the best accuracy result of 70%. Furthermore, it also achieves the best

accuracy in all cases. In contrast, the Weighted modified Manhattan produces the lowest accuracies in nearly all cases. Figure 6 depicts the average accuracy presented in Table 3.

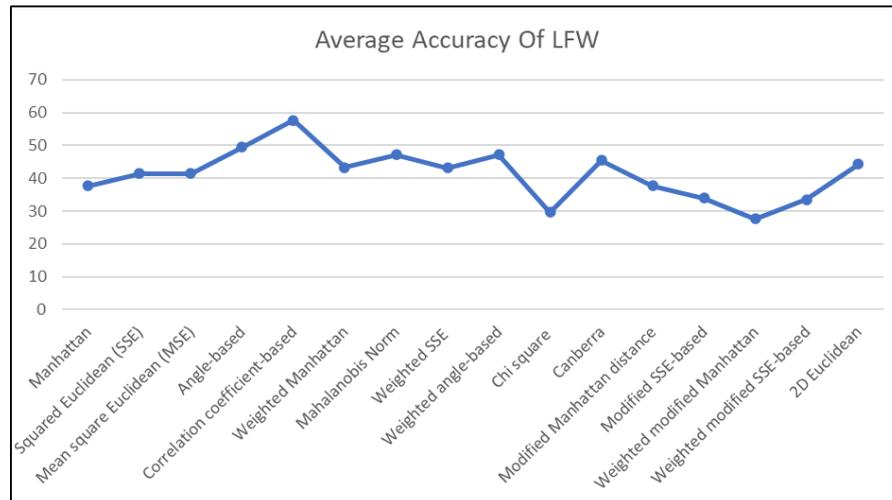


Fig. 6: Average Accuracy of the LFW database

It is clear from Fig. 6 and Table 3 that the Correlation coefficient-based and Angle-based methods deliver the best accuracies. With respect to the number of selected eigenvectors, the Weighted modified Manhattan distance and Chi square methods use the fewest eigenvectors; still, they yield a low average accuracy. On the other hand, the Correlation coefficient utilizes fewer than the average number of eigenvectors and concurrently achieves the best average accuracy.

Based on the analysis of the three databases, it can be inferred that the Correlation Coefficient-based method is superior to other distance methods, particularly regarding accuracy and the number of eigenvectors. Furthermore, it is apparent that both Angle-based and Canberra methods are noteworthy distance methods and require additional research in diverse situations.

VI. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

The efficiency of 14 distance methods applied with Two-Dimensional Principal Component Analysis (2DPCA) in face recognition is examined. Different experiments on three well-known databases are conducted. These experiments show the superiority of the correlation coefficient-based method, which achieves the highest accuracy. This demonstrates its effectiveness under different variations of face conditions. Furthermore, the considerable accuracies of both the angle-based and Canberra distance methods reveal their effectiveness in specific variations. Several tracks need to be explored to reveal the impacts of the different distance methods. Initially, the effect of existing specific different pose variations is a particular issue. Furthermore, what is the impact of the preprocess algorithms with different distance methods? The influence of distance metrics in real-time face recognition systems is a crucial issue in practical deployment regarding security and surveillance. Furthermore, 2DPCA should be explored with advanced machine learning approaches, including deep learning, which may increase the reliability and accuracy of recognition systems.

REFERENCES

- [1] .S. Z. Li and A. K. Jain, Handbook of Face Recognition, Springer, 2005.
- [2] .K. Kim et al., "Face recognition using kernel principal component analysis," IEEE Signal Process. Lett., vol. 9, no. 2, pp. 40–42, 2002.
- [3] .H. Moon and P. J. Phillips, "Computational and performance aspects of PCA-based face-recognition algorithms," Perception, vol. 30, no. 3, pp. 303–321, 2001.
- [4] .R. Tjahyadi et al., "Automatic parameter selection for Eigenfaces," in Proc. ICOTA, 2004.
- [5] .H. Meng and X. Ke, "Further research on principal component analysis method of face recognition," in Proc. ICMA, 2008, pp. 421–425.
- [6] .E. Kokiopoulou and Y. Saad, "PCA without eigenvalue calculations: a case study on face recognition," in SIAM Data Mining Conf., 2005.
- [7] .S. Gupta et al., "A new optimized approach to face recognition using Eigenfaces," Global J. Computing Sci. Technol., 2010.
- [8] .L. Wiskott et al., "Face recognition by elastic bunch graph matching," IEEE Trans. PAMI, vol. 19, no. 7, pp. 775–779, 1997.
- [9] .J. Yang et al., "Two-dimensional PCA: a new approach to appearance-based face representation and recognition," IEEE Trans. PAMI, vol. 26, no. 1, pp. 131–137, 2004.
- [10] .D. Zhang and Z. Zhou, "Diagonal principal component analysis for face recognition," Pattern Recognition, vol. 39, no. 1, pp. 140–142, 2006.
- [11] .A. L. Koerich et al., "Face recognition using selected 2DPCA coefficients," in Proc. IWSSIP, 2010.
- [12] .Y. Zeng et al., "Face recognition based on the variation of 2DPCA," J. Computing Inf. Syst., vol. 7, no. 1, pp. 303–310, 2011.
- [13] .B. A. Draper et al., "Recognizing faces with PCA and ICA," CVIU, vol. 91, no. 1–2, pp. 115–137, 2003.

- [14] .C. D. Meyer, *Matrix Analysis and Applied Linear Algebra*, SIAM, 2000.
- [15] .W. Liwei et al., "On the Euclidean distance of images," *IEEE Trans. PAMI*, vol. 27, no. 8, pp. 1334–1339, 2005.
- [16] .W. Zuo et al., "An assembled matrix distance metric for 2DPCA-based recognition," *Pattern Recognition Lett.*, 2006.
- [17] .J. Meng and W. Zhang, "Volume measure in 2DPCA-based face recognition," *Pattern Recognition Letters*, 2007.
- [18] .Z. Xu et al., "Boosting for learning a similarity measure in 2DPCA," in *Proc. IEEE CSIE*, 2009.
- [19] .W. H. Al-Arashi and S. A. Suandi, "2DPCA-based Row-kNN distance computation for face recognition," in *Proc. SPIE ICDIP*, 2012.
- [20] .V. Perlibakas, "Distance measures for PCA-based face recognition," *Pattern Recognition Letters*, 2004.
- [21] .P. Huang et al., "F-norm distance metric based robust 2DPCA and face recognition," *Neural Computing Appl.*, 2023.
- [22] .B. Zhao et al., "Relaxed two-dimensional PCA for robust face recognition," *Neural Networks*, 2020.
- [23] .W. Zhao et al., "Face recognition: a literature survey," *ACM Computing Survey*, vol. 35, no. 4, pp. 399–458, 2003.
- [24] .F. Alsaqre, "An improved fractional two-dimensional principal component analysis for face recognition," *Jordanian Journal of Computers and Information Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2022.
- [25] .A. Maafiri, Y. Ruichek, L. A. Hussein, and S. A. Al-Mahmoud, "Lwkpca: A new robust method for face recognition under adverse conditions," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 60192–60204, 2022.
- [26] .A. Hafiane, G. Seetharaman, and B. Zavidovique, "Median Gabor 2DPCA for texture classification," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 24, no. 12, pp. 5374–5388, 2015.
- [27] .H. Shan, Y. Li, J. Bi, and T. Liu, "Two-dimensional PCA for medical image feature extraction and disease classification," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 102345–102356, 2021.
- [28] .H. Li, W. Li, Q. Du, and L. Zhang, "A 2DPCA-based feature extraction method for hyperspectral image classification," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 11, no. 5, pp. 1408–1420, 2018.
- [29] .N. Sharma, U. Pal, F. Kimura, and S. Pal, "Recognition of offline handwritten Devanagari characters using quadratic classifier and 2DPCA," *Pattern Recognition Lett.*, vol. 30, no. 5, pp. 430–436, 2009.
- [30] .Z. Zhang, Y. Chen, and C. Li, "Hybrid deep learning and 2DPCA-based texture classification for smart manufacturing," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 118956–118967, 2021.
- [31] .D. Wang, J. Zhang, and X. Liu, "Two-dimensional PCA and CNN hybrid network for early lung cancer detection," *Computers in Biology and Medicine*, vol. 137, 104795, 2021.
- [32] .L. Fang, Y. Li, and B. Wang, "Spectral-spatial feature extraction using 2DPCA and 3D-CNN for hyperspectral image classification," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 3, p. 456, 2020.
- [33] .F. Li, Z. Huang, and X. Xiao, "Handwritten character recognition combining 2DPCA features and convolutional recurrent neural networks," *Pattern Recogn. Lett.*, vol. 139, pp. 151–158, 2020.
- [34] .W. Ge, J. Li, X. Wang, and T. Zielinska, "Robust two-dimensional PCANet with F-norm distance metric," *Knowledge-Based Systems*, vol. 295, p. 111777, July 2024.
- [35] .Z. Tan and H. Yang, "Reweighted angle two-dimensional principal component analysis for feature extraction," *Pattern Recognition*, vol. 168, pp. 111817, December 2025.
- [36] .Al-Arashi, W. H., Shing, C. W., and Suandi, S. A., "RowAMD Distance: A Novel 2DPCA-Based Distance Computation with Texture-Based Technique for Face Recognition," *Transactions on Internet and Information Systems (TIIS)*, vol. 11, pp. 5474-5490, 2017.
- [37] .ORL, "The ORL face database at the AT&T (Olivetti) Research Laboratory." Available from: <http://www.uk.research.att.com/facedatabase.html> (1992).
- [38] .Martínez, A. M. and Kak, A. C., "PCA Versus LDA," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, pp. 228–233, 2001.
- [39] .Huang, G. B., Mattar, M., Berg, T. and Learned-Miller, E., "Labeled Faces in The Wild: A Database for Studying Face Recognition in Unconstrained Environments," *Technical report*, University of Massachusetts, Amherst, pp. 07-49, 2007.
- [40] .Peng, Y., Ganesh, A., Wright, J., Xu, W. and Ma, Y., "RASL: Robust Alignment by Sparse and Low-Rank Decomposition for Linearly Correlated Images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 34, pp. 2233–2246, 2012.
- [41]

تحديد وتصنيف العوامل الرئيسية المؤثرة في تطبيق الحوسبة السحابية في مجال الصحة الإلكترونية (دراسة حالة مستشفيات الثورة والجمهوري في العاصمة صنعاء)

الاستلام: 18/أبريل/2025
التحكيم: 27/أغسطس/2025
القبول: 28/أغسطس/2025

خالد أحمد المسوري^(*)

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ قسم الحاسوب، كلية الحاسوب وتكنولوجيا المعلومات، المعهد الوطني للعلوم الإدارية، صنعاء، اليمن.
* عنوان المراسلة: Khalidahmed2009@gmail.com

تحديد وتصنيف العوامل الرئيسية المؤثرة في تطبيق الحوسبة السحابية في مجال الصحة الإلكترونية

(دراسة حالة مستشفيات الثورة والجمهوري في العاصمة صنعاء)

خالد أحمد المسوري
قسم الحاسوب، كلية الحاسوب وتكنولوجيا المعلومات،
المعهد الوطني للعلوم الإدارية
صنعاء، اليمن
Khalidahmed2009@gmail.com

objective of this research is to identify and classify the effective factors in the use of cloud computing in eHealth. By reviewing the relevant literature and relying on the technology-organization-environment model and the human-institutional-technology alignment model, 16 sub-criteria were identified, grouped into four main factors. The sub-criteria were identified through a survey of 60 experts, university professors, and technology experts. Health information was classified using the Fuzzy Analytical Hierarchy (FASH) process. A review of the existing literature revealed that, due to the novelty of the topic, no studies have been conducted. The research findings show that, according to experts, when making decisions about the use of cloud computing in healthcare, technological, human, organizational, and environmental factors must be considered.

Keywords— *eHealth; Cloud Computing; Cloud Computing Use; Technology-Organization-Environment Model; Human-Organization-Technology Convergence Model*

I. المقدمة

لقد برزت تقنية الحوسبة السحابية في الأونة الأخيرة كواحدة من أهم المواضيع المتعلقة بمجال التطوير، وتعد الحوسبة السحابية نموذجًا جديدًا لاستضافة وتقديم الخدمات على الإنترنت، كما أن الحوسبة السحابية باعتبارها مجالًا مهمًا من مجالات ابتكار تكنولوجيا المعلومات فمن المعروف أن استثمارات واسعة النطاق قد تم تنفيذها في هذا المجال، ويمكن أن تُعزى فوائد الحوسبة السحابية إلى سهولة الاستخدام وخفض التكاليف وسهولة الإدارة، وقابلية التوسع، ويمكن رؤية الفوائد المحتملة لاستخدام الحوسبة السحابية من منظورين: المالي

المخلص:

إن الحوسبة السحابية كتكنولوجيا جديدة مع البنية التحتية للإنترنت والحلول يمكن أن تحقق فوائد كبيرة في تقديم الخدمات الطبية إلكترونياً، ويتطلب تطبيق هذه التكنولوجيا في الصحة الإلكترونية عوامل مختلفة ينبغي أخذها في الاعتبار، والهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحديد وتصنيف العوامل الفعالة في استخدام الحوسبة السحابية في الصحة الإلكترونية، ومن خلال مراجعة أدبيات الموضوع والاعتماد على نموذج (التكنولوجيا والمنظمة والبيئة)، ونموذج (التوافق الإنساني، والمؤسسي، والتكنولوجي) تم تحديد 16 معياراً فرعياً على شكل 4 عوامل رئيسية، وقد تم تحديد المعايير الفرعية من خلال استطلاع رأي 60 خبيراً وأستاذاً جامعياً وخبراء في التكنولوجيا، وتم تصنيف المعلومات الصحية باستخدام عملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي، وقد كشف استعراض الأدبيات الموجودة أنه نظراً لحداثة الموضوع لم يتم إجراء أي دراسات، وتظهر نتائج البحث أنه وفقاً للخبراء عند اتخاذ القرار بشأن استخدام الحوسبة السحابية في الرعاية الصحية يجب أن تأخذ بعين الاعتبار العوامل التكنولوجية البشرية والتنظيمية والبيئية.

الكلمات المفتاحية الصحة الإلكترونية، الحوسبة السحابية، استخدام الحوسبة السحابية، نموذج التكنولوجيا - التنظيم - البيئة، نموذج التوافق البشري - التنظيمي - التكنولوجي.

Identifying and Classifying the Key Factors Influencing the Implementation of Cloud Computing in eHealth (A Case Study of Al-Thawra and Al-Jumhuri Hospitals in Sana'a)

Abstract— Cloud computing, as a new technology, coupled with Internet infrastructure and solutions, can bring significant benefits to the delivery of electronic medical services. The application of this technology in eHealth requires various factors to be considered. The primary

الأجهزة باهظة الثمن، ويوفر ترخيص البرامج فوائد كبيرة للمنظمة (Lin et al, 2022).

يتم تصنيف نماذج تقديم الخدمة في الحوسبة السحابية إلى أربعة أنواع: البرمجيات كخدمة، والمنصة كخدمة، والبنية الأساسية كخدمة، والخدمات، وتقدم كل من هذه المجموعات الأربع أنواعًا مختلفة من المنتجات لعملاء مختلفين (Lin & Chen 2022). ومع ذلك فإنهم يتشاركون نموذج أعمال مشترك، وتسمح باستخدام موارد الحوسبة الخاصة بها (بما في ذلك الخدمات والتطبيقات)، ولا تزال عوامل الجذب الاقتصادي والمرونة التي توفرها الحوسبة السحابية موضع جدل كبير في هذا المجال، وهناك قضايا مثل الأمان، واحتجاز البائعين، ووقت التوقف عن العمل والتي تحتاج إلى معالجة (Sultan & Sultan, 2022).

الصحة الإلكترونية:

تعمل تكنولوجيا المعلومات مع التقنيات الجديدة على تحسين الجودة وخفض التكاليف، ولقد أصبح المديرون التنفيذيون بمثابة شركات، ولا يشكل قطاع الرعاية الصحية استثناءً من هذا التأثير، فشبكات المعلومات الصحية، وشبكات الطب عن بعد، وشبكات التعاون العلمي الطبي، تُعد أجهزة المساعدة الطبية الذكية والسجلات الصحية الإلكترونية أمثلة لتطبيقات تكنولوجيا المعلومات في الرعاية الصحية والصحة الإلكترونية وهي مجال جديد (Marlene et al, 2021). وتتم إدارة المعلوماتية الطبية والصحية العامة والتجارة الإلكترونية من خلال الإنترنت، إن شبكة الويب العالمية والتقنيات المرتبطة بها تتطور وتحسن، والصحة الإلكترونية باعتبارها الاستخدام الآمن والفعال من حيث التكلفة لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات تُعد دعماً للصحة والمجالات ذات الصلة بالصحة، بما في ذلك الخدمات الصحية (Anderson, 2022).

إن الصحة الإلكترونية لأول مرة تقدم الاستشارات الطبية لرواد الفضاء والعلاج، وقد تم تحديد أهدافهم من خلال الطب عن بعد الذي تقدمه وكالة ناسا (Marlene et al., 2021). ويمكن استخدام الصحة الإلكترونية لتحسين جودة الرعاية الصحية وتوفيرها ومن أبرز المزايا للحوسبة الإلكترونية في المجالات الصحية، فهي تعتمد على سرية معلومات المريض، وتقوم بالمساواة في الوصول إلى الرعاية الصحية الإلكترونية بشكل مستقل بدون النظر إلى اللون واللغة والموقع الجغرافي والثقافة، وتقدم توافق بين أنظمة المعلومات، وهناك فوائد كبيرة للصحة الإلكترونية من خلال استخدام تكنولوجيا المعلومات (AbuKhoua et al. 2022).

في استطلاع أجري بين أطباء الرعاية الأولية في أمريكا، ذكر حوالي 75 بالمائة منهم أن الصحة الإلكترونية تقلل من الأخطاء والتي تصل إلى 70%، ولقد زادت تكنولوجيا المعلومات من الإنتاجية، ويعتقد أكثر من 60 بالمائة أن أدوات تكنولوجيا المعلومات خفضت التكاليف، وفي الصحة الإلكترونية يتم تخزين جميع بيانات المرضى في مكان واحد ويمكن للأطباء الوصول إليها بسهولة. ويمكنهم أيضاً الوصول بسهولة إلى معلومات صحة المريض من خلال السجلات الإلكترونية (Rolim et al, 2020).

وتواجه الصحة الإلكترونية أيضاً تحديات، حيث ذكر (AbuKhoua et al. 2022) بعضاً من القيود الحالية لأنظمة الصحة الإلكترونية، والتي تشمل تكاليف التنفيذ المرتفعة، والحفاظ على تكنولوجيا المعلومات الصحية، وحماية بيانات المرضى، وتطوير خطة صحية سحابية، وتطوير المعايير، ونشر تكنولوجيا المعلومات الصحية، والتبادل غير الكافي لبيانات المرضى (AbuKhoua et al. 2022).

والتكنولوجي، ولقد تم تقييم تقنية الحوسبة السحابية على نطاق واسع في إدارة الموارد وقد تمت مناقشته في المجالات الأكاديمية والتشغيلية، واستفادت صناعة الرعاية الصحية أيضاً من ذلك (Lian et al, 2022). إن الحوسبة السحابية تشكل بالتأكيد تغييراً عاماً في هيكل وطبيعة أنظمة معلومات المستشفيات، وعلى وجه الخصوص التغييرات في توسع خدمات الطب عن بعد والصحة المتنقلة، ومع ذلك يؤكد الباحث أنه ينبغي تقييم المستشفيات بشكل جدي قبل اعتماد الحوسبة السحابية، لذلك وبالنظر إلى أهمية ومزايا وتحديات استخدام الحوسبة السحابية في مجال الصحة الإلكترونية تهدف هذه الدراسة إلى تحديد العوامل التي تأخذها المستشفيات في الاعتبار عندما يفكرون في استخدام الحوسبة السحابية (Kou, 2021). وبعد المراجعة والتحليل أظهر تحليل الأدبيات الموجودة أربع فئات من العوامل التنظيمية والبشرية والتكنولوجية والبيئية، ولتحقيق هذا الهدف، تمت الإجابة على الأسئلة الآتية من خلال استطلاع رأي الخبراء:

1. ما العوامل الرئيسية المؤثرة في قرار اعتماد الحوسبة السحابية في الرعاية الصحية؟
2. ما ترتيب هذه العوامل من حيث الأهمية والأولوية؟

II. الأسس النظرية:

الحوسبة السحابية:

لقد تم تقديم العديد من التعريفات للحوسبة السحابية، وفي الوقت نفسه دراسة (McKinsey, 2020) تظهر التي طبقها في شركة استشارات إدارية عالمية أن هناك 22 تعريفاً منفصلاً للحوسبة السحابية، إلا أن هناك تعريفاً شاملاً وكاملاً قدمه سلطان وسلطان وفقاً لهؤلاء المؤلفين فإن الحوسبة السحابية هي طريقة تستخدم التقدم في تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، مثل المحاكاة الافتراضية والحوسبة الشبكية، من خلال البرمجيات والأجهزة، وذلك من أجل يتم توفير مجموعة واسعة من الخدمات من خلال شبكات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات الافتراضية وفقاً لطلبات العملاء واحتياجاتهم (Sultan & Sultan, 2022).

يقدم سلطان وسلطان طريقة عامة (الإنترنت)، أو خاصة، أو مزيج من الطريقتين، وفي تعريف آخر تشير الحوسبة السحابية إلى التطبيقات المقدمة عبر الإنترنت والأجهزة وبرامج النظام في مراكز البيانات، كما يعرف المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا الحوسبة السحابية على أنها: نموذج لتوفير سهولة الوصول إلى مجموعة من الموارد عبر الشبكة، وهي أيضاً حوسبة قابلة للتطوير وقابلة للتكوين بناءً على طلب المستخدم، مثل: الشبكات والخوادم ومساحة التخزين والتطبيقات والخدمات، بحيث يمكن تحقيق هذا الوصول بأقل قدر من التكلفة ويتم تلبية الحاجة إلى إدارة الموارد أو الحاجة إلى التدخل المباشر من جانب مقدم الخدمة بسرعة (Armbrust et al, 2020).

عندما ظهرت الحوسبة السحابية في عام 2007م أثارت ردود فعل متباينة، وفي حين رأى بعض المحللين مزاياها، رأى آخرون، مثل لاري رايًا مغايرًا، فقد اعتبر إليسون الثالث (مؤسس شركة أوراكل) أن هذا نموذج أعمال عديم الفائدة، لكن اكتسبت الحوسبة السحابية الكثير من المعجبين، وزاد عدد الشركات التي تبنتها، وزادت وبدأت في تقديم العديد من خدماتها في السحابة، كما أن للحوسبة السحابية مجموعة متنوعة من البرامج والأجهزة الأساسية، مثل: التطبيقات، والتخزين، وتوفر خوادم افتراضية على الويب (مثل السحابة)، وفي النتيجة هي إمكانية التوسع وعدم الحاجة إلى استثمارات كبيرة في

فشركة (NEC Corporation)، وشركة (Fujitsu) تشجعان على استخدام الحوسبة السحابية في المستشفيات اليابانية كحل لهذه المشكلة، واقترح شركة (IBM) استخدام الخدمة في الولايات المتحدة، ويقترح الحوسبة السحابية المبنية على نظام إدارة المعلومات السريرية في المستشفيات العديد من شركات البرمجيات الكبرى في العالم، مثل مايكروسوفت، وأوراكل، وتستثمر أمازون بشكل كبير في السحابة لتوفير خدمات الحوسبة في العالم (Lian et al, 2023).

العوامل المؤثرة في اعتماد الحوسبة السحابية:

أجرى (Lian et al, 2022) دراسة استكشافية لفهم العوامل الحيوية في دراسة بعنوان: العوامل المؤثرة على قرار اعتماد الحوسبة السحابية في المستشفيات التابوئية، وتمت دراسة العوامل التكنولوجية والبشرية والتنظيمية والبيئية، والتي تشمل العوامل البشرية والابتكار، وفي هذه الدراسة يُنظر إلى المدير الأعلى على أنه يتمتع بالمعرفة والكفاءة الفنية، وتم اعتبار التكاليف بمثابة عوامل تكنولوجية، وأخيرًا العوامل البيئية تشمل السياسات الحكومية والضغط الصناعية الملموسة. كما قام (Jabreil et al, 2021) في بحثهم المعنون: العوامل المؤثرة على نجاح تنفيذ إدارة المشاريع والعوامل التنظيمية وعوامل نظام معلومات في المستشفى، وقاموا بفحص الجوانب الإنسانية والتقنية، وتأتي أهمية هذه العوامل بحسب ترتيب إدارة المشروع، والعوامل الفنية، وتم إعطاء الأولوية للعوامل البشرية والتنظيمية. قام (Lin & Chen, 2022) في دراستهما بعنوان "الحوسبة السحابية باعتبارها ابتكارًا"، باستخدام نظرية روجرز في انتشار الابتكار، وكان هناك خمسة عوامل لمزايا "الموقف والتطبيق": النسبية، والاتساق، والتعقيد، والقدرة على الملاحظة، والقدرة المطلوبة على الاختبار، لذلك بالنظر إلى الحالات فإن الابتكار له تأثير مهم، وبالنظر إلى الأبحاث السابقة يمكن إظهار العوامل المؤثرة في اعتماد الحوسبة السحابية في الجدول (1).

الحوسبة السحابية في الرعاية الصحية:

تتم مناقشة مواضيع الحوسبة السحابية على نطاق واسع في المجالات العلمية والتطبيقية، ولقد تمت مناقشة هذا الأمر، وصناعة الرعاية الصحية ليست استثناءً، فقد أفاد العديد من المديرين والخبراء أن الحوسبة السحابية يمكن أن تعمل على تحسين خدمات الرعاية الصحية، وزيادة اعتماد وتطبيق تكنولوجيا المعلومات في مجال الصحة بشكل كبير (Chatman 2020).

وقد أشارت العديد من الدراسات السابقة إلى الفوائد المحتملة للحوسبة السحابية والنماذج، وقد تم اقتراح أطر عمل مختلفة لتحسين الخدمات الصحية (Kuo, 2021). على سبيل المثال قام (Rolim et al, 2020) بتطوير نظام قائم على السحابة لأتمتة عملية جمع بيانات المريض الحيوية من خلال شبكة من أجهزة الاستشعار المتصلة بالأجهزة، وقد اقترح الباحثون توفير هذه البيانات لقاعدة بيانات للتخزين والمعالجة والتوزيع (Rolim et al, 2020).

وقد وضعت منظمة الصحة العالمية في جمعيتها الثامنة والخمسين في عام 2015م البنية التحتية لتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وإنشاء مراكز للاداء أكثر ملاءمة للصحة الإلكترونية، وإنشاء أنظمة معلومات صحية لتوفير إمكانات هائلة لسهولة الوصول إلى السجلات الطبية الإلكترونية. إن الوصول السريع إلى التاريخ الطبي للشخص يمكن أن يسرع العلاج ويساعد في الوقاية (Guttlieb et al, 2022)، بالإضافة إلى ذلك يمكن للسحابة تسريع تتبع التاريخ الطبي للمرضى، والآن أصبح حماية الخصوصية وضمان أمن المعلومات المتعلقة بالصحة أمرًا في غاية الأهمية، وهناك قضايا في المستقبل، كما تناول نيلسون التفاصيل الفنية والاقتصادية والقانونية والأمنية (Nelson, 2021).

يمكن أن توفر الحوسبة السحابية فوائد من خلال مشاركة معلومات المرضى المخزنة، وهذا الأمر سوف يحقق فوائد كبيرة في تقديم الخدمات الطبية إلكترونياً، ويُعد خفض التكاليف، وسهولة وصول الأطباء إلى معلومات المرضى، واستقلالية الجهاز والموقع، وقابلية التوسع من أهم العوامل في معالجة الحوسبة السحابية في الرعاية الصحية، وجود هذه التكنولوجيا مع البنية التحتية للإنترنت والحلول الجديدة يوفر للأطباء إمكانية الوصول إلى أي معلومات طبية في أي وقت ومكان، وهذا ما جعله ضرورة في بعض الدول (Rao et al, 2020).

الجدول (1) المتغيرات التي تم أخذها في الاعتبار عند اتخاذ قرار اعتماد الحوسبة السحابية.

المراجع	العوامل المؤثرة في اعتماد الحوسبة السحابية
AbuKhoua et al. 2022	العوامل التنظيمية
Gupta et al. 2022	العوامل البشرية
Premkumar & Roberts 2021	العوامل البيئية
Jabreil et al, 2020	العوامل التكنولوجية
Chang et al. 2022	التكاليف
Chang et al. 2022	المزايا النسبية
Thong 1999	دعم كبار المديرين
Sultan & Sultan 2022	موارد تنظيمية كافية
Kaletsch & Sunyaev 2021	الثقة
kuo 2011	خبرة الموظفين
Gupta et al. 2021	قبول التكنولوجيا
Lian et al. 2023	إبداع مدير تكنولوجيا المعلومات
Lin & Chen 2022	القضايا السياسية
Lin et al. 2022	الارتباط مع المورد
Tornatzky & Fleischer 1990	القضايا القانونية
Gupta et al. 2022	الشركات الداعمة
Chang et al. 2022	التأقلم والموائمة
Yusof et al. 2020	التعقيد
Gupta et al. 2020	سهولة الوصول

العوامل التنظيمية التي تؤدي دورًا هامًا في القيادة الجديدة، كما تتمتع الميزانية بالموارد التنظيمية الكافية لتنفيذ التكنولوجيا الجديدة، ومن بين الموارد التنظيمية المطلوبة توفير الدعم الكافي من الموارد البشرية والوقت الكافي، ومن بين أهم القضايا التي تثار في مجال تطبيق وتنفيذ التكنولوجيا الجديدة في المنظمة هي أنها تشير إلى دعم المدير الأعلى، الذي يفتقر إلى الاهتمام الكافي، على الرغم من توفر كل الظروف المناسبة، وهذا سيجعل استخدام التكنولوجيا الجديدة فاشلاً (Chang et al., 2022). يبينون أن الإدارة العليا تدعم تنفيذ أنظمة المعلومات، وأن إنشاء منصة الحوسبة السحابية لمختلف أنواع المعلومات يُعد أمرًا فاعلاً في المستشفيات، كما أن هناك مجموعة متنوعة من الاستثمارات في مجالات مثل الأجهزة والبرامج والتكامل، تتطلب الأنظمة تكاليف كبيرة، لذلك ونظرًا للتنوع الكبير في التكاليف، فإن هذا العامل يمكن أن يكون عاملاً حاسماً في اعتماد الحوسبة السحابية (Lian et al., 2023).

العوامل التكنولوجية:

نظرًا للطبيعة الخاصة لتكنولوجيا الحوسبة السحابية، فإن أمن البيانات وسريتها لهما أهمية قصوى، وهناك مخاوف رئيسية بشأن استخدام، وخصوصًا في قطاع الرعاية الصحية، فعلى سبيل المثال تتطلب السجلات الصحية الإلكترونية للمرضى بيئة آمنة (Kuo 2021)، ويجب اتخاذ تدابير أمنية خاصة به، وتظهر الدراسات السابقة أيضًا أن تعقيد أنظمة المعلومات يؤدي دورًا في اتخاذ قرار استخدام تكنولوجيا المعلومات، والتعقيد هو المدى الذي يُعتقد أنه من الفعال استخدامه. إن (Chang et al. 2020)، و (Lin & Chen, 2022) يدان الابتكار مهمة صعبة، وقد قدم (Sultan & Sultan, 2022) واحدة من أهم المشكلات في الحوسبة السحابية، وهي الانقطاع، وأكد أنه يجب أن تكون خدمات الحوسبة السحابية متاحة دون انقطاع في جميع الأوقات، وإن توافر الخدمات بحفز المستخدمين يدفعهم نحو استخدام التكنولوجيا، وإذا كانت تكنولوجيا الحوسبة السحابية تشكل عاملاً رئيساً آخر في البعد التقني، فيجب أن تكون الأنظمة والتطبيقات المتوفرة في مراكز الرعاية الصحية متوافقة مع استخدام الحوسبة السحابية، وأن تكون أكثر فائدة وعملية (Lian et al., 2023).

العوامل البيئية:

تُعد العوامل البيئية من بين العوامل المؤثرة في استخدام أنظمة المعلومات الجديدة، وتظهر الدراسة التي أجراها (Hsiao et al., 2022) أن السياسات الحكومية لها تأثير إيجابي في جهود المستشفيات لتطبيق تكنولوجيا أنظمة المعلومات، ويعتبر الاعتماد على بائع المعلومة الجديدة عاملاً مؤثرًا في قرار اعتماد الحوسبة السحابية، والبائع هو أحد الحالات التي يكون فيها المشتري معتمدًا على البائع وغير قادر على الحصول على السلع أو الخدمات التي يحتاجها من بائع آخر، لأنه في العادة ما تجبر الأساليب غير الصحية المشتري على شراء سلعهم أو خدماتهم من بائع آخر، وتقديم السحابة باعتبارها تقنية جديدة تتطلب التدريب، والأهم من ذلك الدعم المستمر، ومن الضروري التغلب على العقبات والمشكلات، بمعنى آخر يجب أن يكون هناك آليات للدعم وذلك لأن دعم الأنظمة يُعد أحد العوامل المهمة والمحددة في استخدام التكنولوجيا (Lian et al., 2023).

بالنظر إلى الخلفية البحثية واستنادًا إلى نموذج التكنولوجيا والمنظمة والبيئة (Tornatzky & Fleischer 1990)، ونموذج التوافق البشري والتنظيمي والتكنولوجي (Yosuf et al, 2018)، في هذه الدراسة تم استخدام نموذج مركب رباعي الأبعاد (الإنساني والتكنولوجي والتنظيمي والبيئية) (الشكل 1). إن مدل (التكنولوجيا - المنظمة - البيئة) يساعد في فهم العوامل الحاسمة التي تؤثر في تنفيذ واستخدام تكنولوجيا المعلومات الجديدة في المنظمة، يتضمن هذا الإطار ثلاثة عوامل: العوامل التنظيمية والتكنولوجية والبيئية، وهي العوامل التي تؤثر في عملية تنفيذ الابتكار التكنولوجي، وعلى الرغم من أن هذا الإطار ليس له تأثير في الصحة والعلاج، ولكن يمكن استخدامه لتسهيل فهم أنظمة المعلومات المطبقة في صناعة الرعاية الصحية (Chong & Chan, 2022).

وأما بالنسبة لنموذج التوافق البشري والتنظيمي والتكنولوجي فيمكن استخدامه في أنظمة المعلومات في مؤسسات الرعاية الصحية وفي قطاع المستشفيات المركزي، ويتم تحقيق هذا النموذج من خلال الجمع والتكامل بين الأبعاد البشرية والتنظيمية، ومن الناحية التكنولوجية يقوم بتقييم أنظمة المعلومات الصحية، بعبارة أخرى هذا النموذج لديه ثلاثة أبعاد، فهو يشمل العوامل التي يجب مراعاتها عند تنفيذ أي ابتكار في مجال التكنولوجيا في مجال الرعاية الصحية (Yosuf et al, 2018).

العوامل البشرية:

يساعد هذا البعد موظفي أنظمة معلومات المستشفيات عند تنفيذ التكنولوجيا الجديدة، وبالنسبة للمستشفيات تُعد تقنية الحوسبة السحابية نوعًا من الابتكار في تكنولوجيا المعلومات، لذلك يؤدي مدير المعلومات دورًا مهمًا في اتخاذ قرار استخدام هذا الابتكار وموافقة رئيس قسم المعلومات فيما يتعلق باستخدام التكنولوجيا الجديدة؛ وذلك لأنه يخلق موقفًا جيدًا وإيجابيًا في المنظمة، وتُعد القدرة التكنولوجية أو كفاءة الموظف مهمة أيضًا عند استخدام التكنولوجيا، وبعبارة أخرى فإن المعلومات الجديدة لها تأثير كبير في المستشفى (Lin et al., 2022)، ويجب أن يكون لدى الموظفين المعرفة والمهارات اللازمة لاستخدام التكنولوجيا الجديدة. وقضية أخرى من القضايا المتعلقة باستخدام التكنولوجيا الجديدة مسألة قبول التكنولوجيا الجديدة من قبل الموظفين. يذكر (Wang et al. 2023) وانج وزملاؤه أنه على الرغم من التكاليف الضخمة، فإن التقارير تشير إلى أنه على الرغم من إمكانية الوصول إلى التقنيات الجديدة فإن المستخدمين لا يستخدمونها فعليًا، وبعبارة أخرى لا يتم قبول التقنيات الجديدة من قبل المستخدمين (Wang et al., 2023).

العوامل التنظيمية:

العوامل التنظيمية تؤثر في نية المستشفيات لاستخدام تكنولوجيا نظم المعلومات، وتُعد الميزة النسبية أحد العوامل المؤثرة التي تؤكد تأثير الحوسبة السحابية في خفض التكاليف التشغيلية وزيادة الأرباح التشغيلية للمستشفى. تتضمن الميزة النسبية للحوسبة السحابية التكاليف، ورأس المال، والقدرة، ومرونة التنفيذ، والموثوقية، والتوافق، وسهولة الاستخدام، وتظهر الدراسة التي أجراها (Premkumar & Roberts, 2019) أن المرونة هي المزايا النسبية وهي تؤثر في الشركات وتدفعها نحو استخدام تكنولوجيا المعلومات، ومن بين

الصحية الإلكترونية، ولتحقيق هذه الغاية تم تنفيذ هذا البحث على مرحلتين، في المرحلة الأولى تم تحديد العوامل المؤثرة في استخدام الحوسبة السحابية باستخدام الدراسات والمقالات المكتبية والأبحاث التي أجريت في المراكز الصحية والعلاجية، وبيّن الجدول (1) مجموعة العوامل التي تم تحديدها في هذه الدراسة. وفي المرحلة الثانية تم تحديد العوامل من خلال الاستبانة وبمساعدة تقنية عملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي وعلى أساسها تم صياغة أسئلة البحث، ويوضح الشكل (2) التسلسل الهرمي للعوامل المؤثرة في اعتماد الحوسبة السحابية.

IV. مجتمع الدراسة والعينة الإحصائية:

ونظراً لتخصص موضوع البحث فإن المجتمع الإحصائي لهذه الدراسة يتكون من خبراء تكنولوجيا المعلومات الصحية، وأساتذة من جامعة صنعاء للعلوم الطبية، والذين لهم دراية كافية بمجال تكنولوجيا المعلومات الصحية في مستشفى الثورة والمستشفى الجمهوري، ومن ناحية أخرى ونظراً لمحدودية عدد السكان الإحصائيين تم إرسال الاستبانة إلى (61) خبيراً، وتم استلام (52) استبانة، وأخيراً وبعد مراجعته تمت عملية تحليل النتائج على (50) استبانة.

ادوات جمع البيانات:

ومن أجل الحصول على آراء الخبراء في مصفوفة المقارنة الزوجية تم استخدام استبانة، وقد تم تصميم الاستبانات لإعطاء المشاركين فرصة مقارنة المعايير والمعايير الفرعية في أزواج داخل مجموعتهم الخاصة، وتم تحديد أهمية كل منها، ولتقييم مدى صحة الاستبانة تم الحصول على آراء خبراء تكنولوجيا المعلومات، ولقد تم الاستعانة بأساتذة الصحة والجامعات أيضاً، ومن أجل قياس موثوقية الاستبانة تم الاستعانة بمعدل عدم التوافق (الذي يجب أن يكون أكبر من 0,1)، وهذا ما يمكن مشاهدته في الجدول (3)، وبعد جمع إجابات الخبراء على شكل عبارات شفهية، وجب تحويل الاستجابات المذكورة إلى مقياس ضبابي، والمقياس المستخدم في هذه الدراسة هو عبارة عن مقياس ضبابي مكون من (9) نقاط، (الجدول 2) قام كل من (Koul & Verma, 2011) بتطويره على أساس مقياس كل ساعة.

الجدول (2) الطيف الضبابي والتعبيرات اللفظية المقابلة.

الرمز	العبارات الكلامية	العدد الضبابي	الرمز	العبارات الكلامية	العدد الضبابي
1	أهمية متساوية	(1,1,1)	6	أهمية كبيرة قريبة للقيمة الكبيرة جداً	(5,6,7)
2	أهمية أقل من المتوسط	(1,2,3)	7	أهمية كبيرة جداً	(6,7,8)
3	أهمية متوسطة	(2,3,4)	8	أهمية كبيرة جداً قريبة للقيمة القصوى	(7,8,9)
4	أهمية أكبر من المتوسط	(3,4,5)	9	أهمية قصوى	(8,9,10)
5	أهمية كبيرة	(4,5,6)			

عام 1992م، اقترح (Chang) طريقة بسيطة للغاية لتوسيع عملية التسلسل الهرمي التحليلي وتقديم مساحة غامضة، وتعتمد هذه الطريقة على المتوسط الحسابي لآراء الخبراء والتي كانت عبارة عن معايير للساعة، وتم تطويره باستخدام أرقام مثلثة غامضة، وقد لاقى استحساناً كبيراً.

وقد حدد (AbuKhoua et al, 2022) أبو خاسو وزملاؤه أحد القيود الحالية لأنظمة الصحية الإلكترونية، وذكروا أن المشكلات القانونية تعتبر من أهم القيود، ويذكر (Kaletsch & Sunyaev, 2021) أنه لا توجد قاعدة عامة لحماية خصوصية المريض فيما يتعلق بالتبادلات الإلكترونية للبيانات الطبية بين البلدان، علاوة على ذلك لا توجد عوامل تؤثر في استخدام الكمبيوتر.



الشكل (1) العوامل المؤثرة في استخدام الحوسبة السحابية في الصحة الإلكترونية.

III. منهجية البحث:

الدراسة الحالية هي بحث وصفي مسحي ذو طبيعة تطبيقية، وفي هذه الدراسة نحن نتطلع إلى تحديد وتصنيف العوامل التي يمكن للمستشفيات الاستعانة بها لاستخدام الحوسبة السحابية في الرعاية

عملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي (Thomas L. Saaty) تم تقديم عملية التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) من قبل (Thomas L. Saaty) في السبعينيات من القرن العشرين، وهي تقنية اتخاذ القرار الأكثر شهرة والأكثر تطبيقاً هي تقنية اتخاذ القرار متعددة السمات، وتعتمد هذه الطريقة على مقارنة زوجية كامنة (FAHP)، وعملية تحليل التسلسل الهرمي الضبابي الكلاسيكية باستخدام الأرقام والحسابات الضبابية هي للتعامل مع الغموض في الآراء البشرية، وفي

حسابات عملية التسلسل الهرمي التحليلي الضبابي باستخدام طريقة (Chang)

إن استخدام الهيكل الهرمي (الشكل 2) واتباع خطوات العملية يتضمن ما سبق ذكره في البداية من آراء الخبراء (من خلال تحويل التعبيرات اللفظية) إلى أرقام مثلثية ضبابية وفقاً للجدول (2)، ولضمان اتساق معدل عدم توافق مصفوفات تم الاستعانة بطريقة (Gogus & Boucher, 1998) في (الجدول 3)، ووفقاً لهذا الطريقة تم حساب وزن كل معيار على المستويين الثاني والثالث من الهيكل الهرمي.

خطوات تنفيذ هذه الطريقة هي كما يأتي:

المرحلة الأولى: رسم شجرة هرمية، في هذه المرحلة يتم أولاً تحديد الهيكل الهرمي للقرار، تم توضيح استخدام مستويات الهدف والمعايير والمعايير الفرعية.

المرحلة الثانية: تشكيل مصفوفة المقارنة الزوجية، في هذه المرحلة يتم إعداد مصفوفات الاتفاق وتشكيل شجرة القرار باستخدام آراء الخبراء ومن ثم حساب معدل التناقض وفقاً لذلك.

المرحلة الثالثة: هذه المرحلة هي مرحلة حساب المتوسط الحسابي للأراء.

المرحلة الرابعة: في هذه المرحلة يتم حساب مجموع عناصر الصف.

المرحلة الخامسة: هذه المرحلة هي مرحلة تطبيع أوزان الصفوف.

المرحلة السادسة: في هذه المرحلة يتم تحديد درجة احتمالية أن تكون أكبر.

المرحلة السابعة: هذه المرحلة هي المرحلة الطبيعية لتحلل متجه الوزن.

المرحلة الثامنة: هذه المرحلة هي مرحلة دمج الأوزان من أجل الحصول على الأولويات.



الشكل (2) شجرة هرمية للعوامل المؤثرة في قرار استخدام الحوسبة السحابية.

الجدول (3) معدل توافق المصفوفات المجمع.

المستويات الهيكلية	عنوان المصفوفة المجمع	قيمة المواءمة
المستوى الثالث	المصفوفة المجمع للمقارنات الزوجية للمعايير الفرعية للعوامل التنظيمية	0,059
	المصفوفة المجمع للمقارنات الزوجية للمعايير الفرعية للعوامل البشرية	0,072
	المصفوفة المجمع للمقارنات الزوجية للمعايير الفرعية للعوامل التكنولوجية	0,084
المستوى الثاني	المصفوفة المجمع للمقارنات الزوجية للمعايير الفرعية للعوامل البيئية	0,065
	المصفوفة المجمع للمقارنات الزوجية للمعايير المؤثرة في استخدام الحوسبة السحابية	0,074

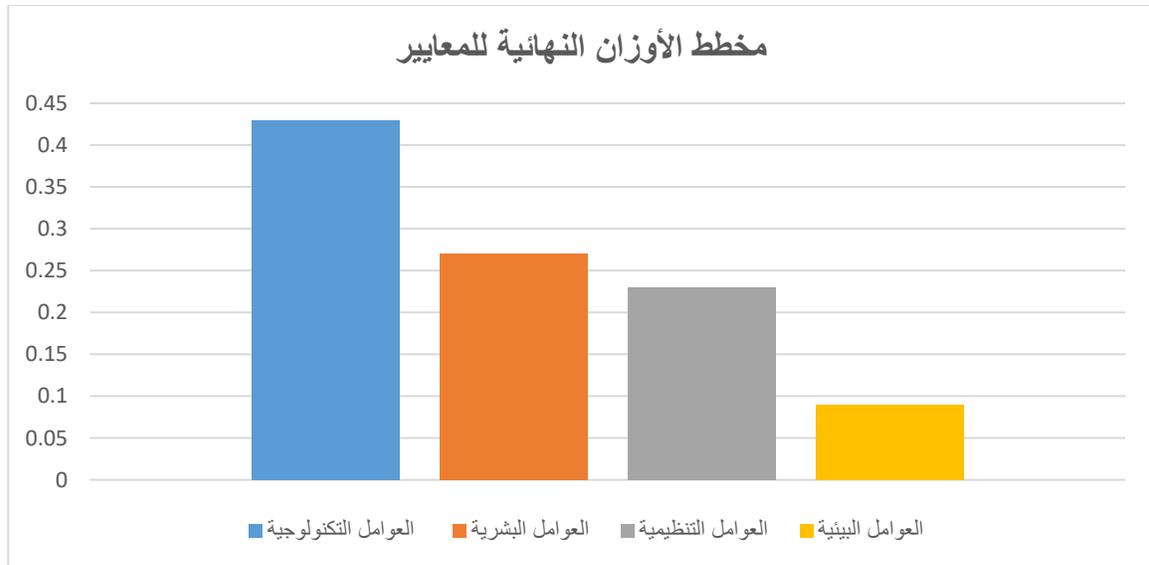
لحساب الوزن النهائي لكل معيار فرعي، مع الإشارة إلى أهميته وبحسب الخبراء فإن من الضروري إدراج أوزان المعايير الفرعية من المستوى الثالث ضمن وزن المعيار المعني، وفي الجدول (4) وزن المعايير الفرعية للمستوى الثاني (بالنسبة إلى معايير المستوى الهدف) ووزن المعايير الفرعية للمستوى الثالث والوزن النهائي لكل معيار فرعي.

الجدول 4 الأوزان النهائية للمعايير والمعايير الفرعية

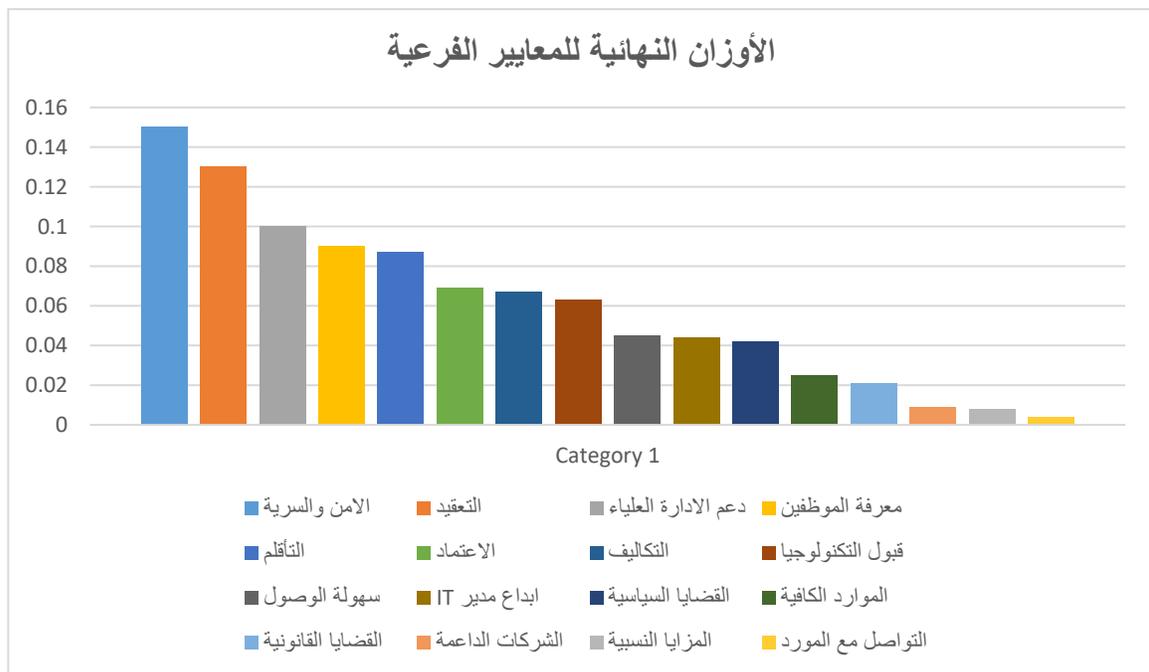
المعيار	الوزن	العيار الفرعي	الوزن المحلي	الوزن النهائي
العوامل التنظيمية	0,224	التكاليف	0,301	0,067
		المزايا النسبية	0,059	0,013
		دعم الإدارة العليا	0,495	0,110
		الموارد الكافية	0,126	0,028
العوامل البشرية	0,278	الاعتماد الوثوقية	0,275	0,076
		معرفة وخبرة الموظفين	0,348	0,096
		قبول التكنولوجيا	0,233	0,064
		إبداع مدير IT	0,167	0,046
العوامل التكنولوجية	0,412	التأقلم والمواءمة	0,231	0,095
		التعقيد	0,297	0,122
		سهولة الوصول	0,118	0,048
		الأمن والسرية	0,365	0,150
العوامل البيئية	0,084	القضايا السياسية	0,549	0,046
		التواصل مع المورد	0,049	0,004
		القضايا القانونية	0,259	0,021
		الشركات الداعمة	0,162	0,013

يوضحان الرسم البياني الشريطي للأوزان النهائية للمعايير والمعايير الفرعية.

بالنظر إلى الأوزان النهائية للمعايير والمعايير الفرعية في الجدول (4)، فإنه يمكن ترتيب العوامل المؤثرة في إعطاء الأولوية لاستخدام الحوسبة السحابية في الصحة الإلكترونية. الشكلان رقم (3) و (4)



الشكل (3) مخطط الأوزان النهائية للمعايير.



الشكل (4) مخطط الأوزان النهائية للمعايير الفرعية.

الصحية في أربع فئات من العوامل التنظيمية والبشرية والبيئية والتقنية، إلى جانب (16) عاملاً فرعياً تم فحصهم وتحديدهم، وأخيراً تم تحديد هذه العوامل وتم تصنيفها إلى عوامل فرعية. وتشير نتائج البحث إلى أن العوامل الفنية تأتي في المرتبة الأولى بين العوامل من وجهة نظر الخبراء، وهو عامل فعال في تطبيق الحوسبة السحابية في الصحة الإلكترونية، وهو ما يتفق مع نتائج (Lian et al, 2023)، وإن ما يميز الحوسبة السحابية في المستشفيات وغيرها

V. المناقشة والاستنتاج:

تظهر الدراسات الحديثة أن (75) بالمئة من مديري تكنولوجيا المعلومات أفادوا وأشاروا إلى أنهم سيحتاجون إلى استخدام الحوسبة السحابية في المستقبل القريب، وإن استخدام الحوسبة السحابية مثل استخدام أي نوع آخر من الابتكار، يتطلب الدراسة والتأمل ويأخذ في الاعتبار أبعاداً وعوامل مختلفة، وفي هذه الدراسة تم تحديد العوامل الرئيسية المؤثرة في استخدام الحوسبة السحابية في قطاع الرعاية

"A view of cloud computing," *Communications of the ACM*, vol. 53, pp. 50–58, 2020.

[4] D. Y. Chang, *Extent Analysis and Synthetic Decision, Optimization Techniques and Applications*, Singapore: World Scientific, vol. 1, pp. 352, 1992.

[5] I. C. Chang, H. G. Hwang, M. C. Hung, M. H. Lin, and D. C. Yen, "Factors affecting the adoption of electronic signature: Executives' perspective of hospital information department," *Decision Support Systems*, vol. 44, no. 1, pp. 350–359, 2022.

[6] C. Chatman, "How cloud computing is changing the face of health care information technology," *Journal of Health Care Compliance*, vol. 12, no. 3, pp. 37–70, 2022.

[7] A. Y. L. Chong and F. T. S. Chan, "Structural equation modeling for multistage analysis on Radio Frequency Identification (RFID) diffusion in the health care industry," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 10, pp. 8645–8654, 2021.

[8] L. K. Gottlieb, E. M. Stone, D. Stone, L. A. Dunbrack, and J. Calladine, "Regulatory and policy barriers to effective clinical data exchange: Lessons learned from meds Info-ED," *Health Affairs*, vol. 24, no. 5, pp. 1197–1204, 2020.

[9] O. Gogus and T. Boucher, "Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 94, no. 1, pp. 133–144, 1998.

[10] P. Gupta, A. Seetharaman, and R. J. Rudolph, "The usage and adoption of cloud computing by small and medium business," *International Journal of Information Management*, vol. 33, pp. 861–874, 2023.

[11] S. J. Hsiao, Y. C. Li, Y. L. Chen, and H. C. Ko, "Critical factors for the adoption of mobile nursing information systems in Taiwan: The nursing department administrators' perspective," *Journal of Medical Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 369–377, 2019.

من مرافق الرعاية الصحية هو أنه يمكن أن يكون القلق بشأن أمن البيانات والمعلومات سبباً لأهمية العوامل التقنية من منظور الأعمال، وتحتاج البيانات والمعلومات في مجال الرعاية الصحية إلى بيئة آمنة وأنظمة لديها القدرة على التخزين والاسترجاع، كما أن القضايا المتعلقة بالخصوصية تُعد من المواضيع الرئيسية، لذلك ينبغي بذل أقصى جهد ممكن في قطاع الرعاية الصحية، وفي هذه الدراسة جاءت العوامل البشرية في المرتبة الثانية بعد العوامل التقنية من حيث العوامل المؤثرة في استخدام الحوسبة السحابية كما هو متوقع، مع الأخذ في الاعتبار أن فعالية استخدام هذه التقنية من قبل الموظفين ومستخدمي أنظمة المعلومات المستشفيات لها أهمية كبيرة، ومن الواضح أن هذه التكنولوجيا غير مقبولة من قبل الموظفين نظراً لعدم وجود ثقة ومعرفة كافية لدى الموظفين، ولهذا فإن استخدام هذه التكنولوجيا سيؤدي إلى الفشل، وفي هذه الدراسة فإن قبول التكنولوجيا - على الرغم من أهميته - يحتل مرتبة أقل، فهو يعتمد على معرفة وثقة الموظفين، وقد دفعت هذه القضية الخبراء إلى اعتبار المعرفة والمهارات في استخدام هذه التكنولوجيا أكثر أهمية من القبول.

تأتي العوامل التنظيمية والبيئية في المرتبة الثالثة والرابعة على التوالي، وتشمل العوامل التنظيمية التكلفة والفوائد النسبية ودعم الإدارة العليا والموارد التنظيمية الكافية، ويُعد دعم الإدارة العليا أحد أهم المعايير الفرعية في هذا ويحتل في هذا البحث أيضاً المرتبة الثالثة ضمن المعايير الفرعية الستة عشر، ومن الواضح أن استخدام تكنولوجيات المعلومات الجديدة دون دعم الإدارة العليا وتخصيص الموارد، والاهتمام بالقضايا السياسية، والاعتماد على البائعين، والقضايا القانونية، والشركات الداعمة ليس من الممكن، وفيما يتعلق بالعوامل البيئية يتطلب استخدام هذه التكنولوجيا وجود لوائح حكومية كافية وواضحة، فضلاً عن الشركات الداعمة وذلك من أجل حل المشكلات والقضايا المحتملة، وأخيراً يمكن لنتائج هذه الدراسة أن تساعد المستشفيات في تحديد العوامل التي ينبغي أن تؤخذ في الاعتبار عند نشر الحوسبة السحابية، وكذلك أولوية هذه العوامل وبعبارة أخرى يمكن للمستشفيات استخدام نتائج هذه الدراسة لاتخاذ القرارات حول استخدام الحوسبة السحابية بشكل أفضل وأكثر فعالية، وقيل استخدام هذه التكنولوجيا يجب عليهم التركيز والانتباه لكافة القضايا والعوامل المعنية.

I. المراجع

[1] E. AbuKhoua, N. Mohamed, and J. Al-Jaroodi, "e-Health Cloud: Opportunities and Challenges," *Future Internet*, vol. 4, pp. 621–645, 2022.

[2] J. G. Anderson and E. A. Balas, "Computerization of primary care in the United States," *Int. J. Health Inform. Syst. Inform.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–23, 2020.

[3] M. Armbrust, A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica, and M. Zaharia,

- [21] G. Premkumar and M. Roberts, "Adoption of new information technologies in rural small business," *OMEGA – International Journal of Management Science*, vol. 27, no. 4, pp. 467–484, 1999.
- [22] G. S. V. R. K. Rao, K. Sundararaman, J. Parthasarathi, and Dhatri, "A pervasive cloud initiative for primary healthcare services," in *14th IEEE Int. Conf. Intelligence in Next Generation Networks (ICIN)*, Berlin, Germany, 2010.
- [23] C. O. Rolim, F. L. Koch, C. B. Westphall, J. Werner, A. Fracalossi, "A cloud computing solution for patient's data collection in health care institutions," in *Proc. 2nd Int. Conf. e-Health, Telemedicine, and Social Medicine*, New York, NY, Feb. 10–16, 2020.
- [24] N. Sultan and Z. Sultan, "The application of utility ICT in healthcare management and life science research: A new market for a disruptive innovation?" in *EURAM Conf.*, Rotterdam, The Netherlands, 2022.
- [25] J. Y. L. Thong, "An integrated model of information systems adoption in small businesses," *Journal of Management Information Systems*, vol. 15, no. 4, pp. 187–214, 1999.
- [26] L. G. Tornatzky and M. Fleischer, *The Process of Technological Innovation*, Lexington: Fleisher, 1990.
- [27] Y. Wang, H. Lin, and T. Tang, "Determinants of user acceptance of internet banking: An empirical study," *International Journal of Service Industry Management*, vol. 14, no. 5, pp. 501–519, 20XX.
- [28] M. M. Yusof, A. Papazafeiropoulou, R. J. Paul, and L. K. Stergioulas, "Investigating evaluation frameworks for health information systems," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 77, no. 6, pp. 377–385, 2020.
- [12] A. Kaletsch and A. Sunyaev, "Privacy Engineering: Personal Health Records in Cloud Computing Environments," in *Proc. Int. Conf. Inf. Syst. (ICIS)*, Shanghai, China, pp. 4–7, 2021.
- [13] A. M. H. Kuo, "Opportunities and challenges of cloud computing to improve health care services," *Journal of Medical Internet Research*, vol. 13, no. 3, e67, 2021.
- [14] J. Lian, D. Yen, and Y. Wang, "An exploratory study to understand the critical factors affecting the decision to adopt cloud computing in Taiwan hospital," *International Journal of Information Management*, 2023. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2013.09.004>
- [15] A. Lin and N.-C. Chen, "Cloud computing as an innovation: Perception, attitude, and adoption," *International Journal of Information Management*, vol. 32, pp. 533–540, 2012.
- [16] C. H. Lin, I. C. Lin, J. S. Roan, and J. S. Yeh, "Critical factors influencing hospitals' adoption of HL7 version 2 standards: An empirical investigation," *Journal of Medical Systems*, vol. 36, no. 3, pp. 1183–1192, 2022.
- [17] C. Low and Y. Chen, "Understanding the determinants of cloud computing adoption," *Industrial Management & Data Systems*, vol. 111, no. 7, pp. 1006–1023, 2021.
- [18] M. Marlene, M. Maheu, P. Whitten, and A. Allen, *E-Health, Tele-health, and Telemedicine: A Guide to Start-up and Success*, Amsterdam: Elsevier Science Publishers B. V., vol. 43, no. 4, pp. 1287–1304, 2020.
- [19] S. Marston, Z. Li, S. Bandyopadhyay, and A. Ghalsasi, "Cloud computing—The business perspective," *Decision Support Systems*, vol. 51, pp. 176–189, 2021.
- [20] M. R. Nelson, "The cloud, the crowd, and public policy," *Issues in Science and Technology*, 2020.

Fintech-Driven Risk and Return Analysis of Shariah-Compliant Mutual Funds: Evidence from Oman

A. Aborujilah (1, *)
W. H. Al-Arashi(2)
R. Abdulghafor (3)

Received: 12/06/2025
Revised: 30/07/2025
Accepted: 31/07/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Department of Management Information System, College of Commerce & Business Administration, Dhofar University, Salalah, Oman

² University of Science and Technology Aden, Yemen

³ Faculty of Computer Studies (FCS), Arab Open University – Oman, P.O.Box 1596, P.C Muscat, Oman

*Corresponding Author's Email: aaborujilah@du.edu.om

Fintech-Driven Risk and Return Analysis of Shariah-Compliant Mutual Funds: Evidence from Oman

Abdulaziz Aborujilah
Department of Management
Information System, College of
Commerce & Business
Administration, Dhofar University,
Salalah 211, Oman
aaborujilah@du.edu.om

Waled H. Al-Arashi
University of Science and
Technology
Aden, Yemen
w.alarashi@ust.edu

Rawad Abdulghafor
Faculty of Computer Studies
(FCS), Arab Open University –
Oman, P.O.Box 1596, P.C
Muscat 130, Oman
rawad.a@aou.edu.om

Abstract— Shariah-compliant mutual funds widen the scope of ethical investing avenues available in Islamic finance. The enhancement of portfolio performance in these funds becomes increasingly more important with the application of new age fintech and its considerations to risk-return relationships. Moreover, there are limited studies on the risk-return configuration of Shariah mutual funds in Oman, particularly the effect of year-to-date (YTD) volatility. This study analyzes the impact of fintech-driven risk measures on the performance of the Al Kawthar Shariah-compliant mutual fund in Oman using regression analysis of monthly data from 2017 to 2024. It applies fintech techniques to determine how YTD volatility is associated with key financial parameters like Standard deviation, Sharpe ratio, and Beta, Information Ratio, and Annualized Alpha in case of Al Kawthar fund. Using regression analysis, we assess the effect of these parameters on YTD returns and risk-adjusted performance using monthly data from December 2017 to March 2024. The analysis demonstrates that the scope of prediction of these indicators accounts for 27.1% of variability in the YTD return with higher Annualized Alpha and Sharpe Ratio contributing positively to fund outcomes while YTD Volatility undermines it. The report forwards understanding of Oman's Shariah-compliant mutual funds as well as demonstrates the efficacy fintech can have in advancing risk management frameworks and assisting fund managers towards optimized risk-return configurations.

I. INTRODUCTION

In the era of increasing globalization, the stock markets of the Gulf Cooperation Council (GCC) are particularly important for investors hoping to capitalize on lucrative opportunities amid the perceived risks. According to the Arab Monetary Fund (2017), GCC markets stand out in the Arab world because they have high market capitalization, considerable transaction activity, and a broad range of companies listed on them. For instance, Saudi Arabia dominantly led the region in market capitalization in 2017, with US\$451.15 billion, while Bahrain lagged substantially with US\$21.603 billion. Though transaction volumes also varied markedly from Saudi Arabia's US\$3,590.5 million to Bahrain's US\$130 million, the aggregate figure for the GCC economies was US\$173.74 billion. This average market capitalization firmly cements their status as the premier stock exchanges of not only the Arab world but also emerging markets [1]. The stringent ethical and compliance guides create unique risks for Shariah-compliant businesses. Fintech, particularly through its powerful risk management

and analysis tools, offers new solutions for meeting these compliances. It is critical for the businesses to balance higher return expectations with the risk bound to these technologies, however, [7]. Besides pursuing profitability and growth, some successful firms use fintech for their advanced risk management systems and indeed, gain the competitive edge [8]. The Oman financial system has significantly changed after the Central Bank of Oman implemented Shariah compliance governance in 2012. The governance created a regulatory Shariah framework with defined boundaries and policies. Incorporating sophisticated fintech into this framework is intended to improve operational compliance, reduce compliance burdens, enhance risk management, and thus, restore investor trust in the expanding Islamic finance industry in Oman. Despite Oman emerging as a rapidly growing financial market, very little research exists around Shariah compliant investment risks and returns, particularly regarding how the trading volume relates to the volatility of the investment returns. As Oman seeks to bolster its position in the global financial system, this work intends to fill that gap by analyzing the risk-return characteristics of Shariah compliant mutual funds, particularly the Al Kawthar Fund. Oman's Capital Market Authority regulates The Al Kawthar Fund which aims for capital growth by investing in Shariah compliant equities and Sukuks in the Gulf Cooperation Council countries. This research using advanced analytics through fintech examines the fund's monthly factsheets from December 2017 to March 2024. The study analyzes the data using year-to-date (YTD) performance metrics of the funds – Standard Deviation, Sharpe Ratio, Beta, Information Ratio, and Annualized Alpha – and investigates the degree to which these metrics quantifying fund performance are associated with risk and return. The rationale behind our research in this paper will be presented as follows: in the first section, the Theoretical Framework will outline the central theories and concepts that guide the study; then, the Methodological Approaches and Techniques, which explain the research design and the methods that were used; next, the Results section where we provide the outcome of the analysis; last, the Findings Analysis Discussion and Future Work will look at the results, consider what the results mean, and offer recommendations on what else needs to be looked at; finally, the Conclusion captures the essence of the study. We believe that integrating these parts into one continuous narrative will tell the complete story of the subject being studied and present the research results clearly. Literature Review

Theoretical Framework

The Capital Asset Pricing Model (CAPM) was developed to estimate the expected return of an asset dependent on its risk. With CAPM, returns are primarily influenced by systematic market risks, and specific, diversifiable risks have little to no effect on returns [11]. CAPM is common in practice for calculating the cost of capital and assessing the returns from various portfolios and securities. On the other hand, Andrei et al. [12] claim that investment pricing models overly adjust risk and return while using beta as the risk metric. They argue that securities are predominantly impacted by market returns, based on the notion of a portfolio that contains every asset available in the capital market [13]. The performance of mutual funds, especially in relation to benchmarks such as the Composite Stock Price Index (IHSG), is deeply connected with their return and risk characteristics. Earlier studies put more emphasis on mutual fund return-risks relationships, but more recently, there is focus on Risk-Adjusted Return, which takes into account the risk taken to achieve the returns [10]. Such change highlights the growing need to assess how returns and risks are measured, particularly in light of the favorable results detected in some mutual funds. Often previous studies have relied on single random samples, whereas this research studies several mutual fund products employing multiple sampling techniques. The constant rise in marketing and investment activities along with mutual fund trends is drawing attention to application of Sharpe ratio in performance evaluation of mutual funds [14]. Within the framework of Shariah-compliant stocks, every business has a certain risk level based on the revenue fluctuations relative to the ROI (Return of Investment) expectations. Systematic risk is one of the most important ones in making financial decisions, and it is measured with beta which shows the degree a company's actions relate to the movement of the market. CAPM utilizes beta as a determinant in estimating the return of an asset based on the expected return from the market and forms the basis of portfolio management that aims at optimizing risk and return by investing in several companies. These investments are made in relation to the size of the market along with other risk-free securities [15]. Discussions about the factors of systematic risk are abundant throughout the financial literature shedding light on a focused research gap in the context of stock market studies [16-18]. Despite a wide scope of coverage on various firms and industries around the globe, there has been no identified systematic risk that is consistently affected by universally applicable factors [19]. There are some cases where Shariah compliant In addition, few papers investigate the systemic risk in the market of Shariah compliant companies in Malaysia. This study seeks to add to the body of knowledge by examining the main drivers of systemic risk of Shariah-compliant firms in Malaysia. The study analyzes the accounting and market panel data of Shariah-compliant listed companies on Bursa Malaysia for the period 2009–2018. Seven financial ratios—Company size, Profitability, Liquidity, Debt Equity Ratio, Growth, and Operational Efficiency—are used as proxies for independent variables that determine systemic risk. These proxies were picked according to standard market models, finance theories, and

previous studies [20][23]. RVAR as described in Sharpe (1999) is a ratio that can be used for analyzing portfolio returns vis-a-vis a given risk. To compute the Sharpe ratio, one divides the risk premium (which is the excess average return of a mutual fund over the risk free rate) by its standard deviation [23]. This reasoning paves way into the analysis of mutual funds from 2016 to 2018 focusing on the indicators of Sharpe Ratio, Treynor Ratio, Jensen Alpha, and M-Square to evaluate the performance of equity mutual funds [16]. For investors who actively manage their portfolio, the correlation between year to date (YTD) stock performance and several risk metrics: Standard Deviation, Sharpe, Beta, Information and Annualized Alpha, yields important insights [21-29]. Standard Deviation measures the level of a financial asset's return variability/volatility. The higher the Standard Deviation, the greater the risk associated with the asset. The Sharpe Ratio will indicate whether YTD performance justifies the risk by measuring reward per risk unit footed. Beta indicates stock volatility compared to the market which means a Beta greater than one indicates the stock is more volatile than the market. The Information Ratio measures how a stock performed year-to-date in relation to a specific benchmark, adjusting for tracking errors. On the other hand, it demonstrates consistency against the benchmark. Annualized Alpha computes an investment's excess return in relation to the benchmark index earnings, measuring risk against performance. A positive Alpha signifies that the stock outperformed the set expectations given the risk involved. In aggregate, these estimates make up a comprehensive perspective about the stock's of the past year performance and performance risks.

Hypotheses:

H1: Between YTD performance figures and both Annualized Alpha and Sharpe Ratio, there exists positive correlation and hence dependency.

H2: There exists positive correlation between YTD performance and Beta.

H3: There exists negative correlation between YTD performance and Standard Deviation.

H4: There exists positive correlation between YTD performance and Information Ratio.

These assumptions direct empirical analysis to explore how YTD performance interacts with risk, return, and other factors considered important for efficient portfolio management in financial markets. Regression analysis is employed to evaluate the hypothetical relationships by controlling for other variables that could effect the results.

II. RESEARCH METHODOLOGY

This study is a quantitative one with a descriptive analysis. The chosen sample for this research study is from the Al Kawthar Fund Dataset. Al Kawthar Fund is an open-ended investment fund under the Omani Capital Market Authority which works in a partnership model with the investors and an Investment Manager. The investors buy Units in the Fund

which constitute a proportionate share in the Fund's net assets and aim to achieve a return through investment in Shariah equities and Sukuks. The Fund undertakes both top-down and bottom-up investment strategies, actively seeking to capitalize on perceived price inefficiencies and arbitrage opportunities. The primary objective is to achieve growth by capital appreciation through investing in the stock markets of the GCC countries. The required information is obtained from the secondary source of the Al Kawthar Fund Monthly Factsheet from December 2017 to March 2024.

Sampling Technique

This study has a quantitative approach with purposive sampling and includes 82 months of Al Kawthar Fund monthly factsheets (December 2017 to March 2024). Based on Sugiyono's criteria [30], a sample is referred to as purposive when it is selected based on predetermined standards applicable to the set goals of the study. In this case, the year-to-date (YTD) performance risk analysis of Sharia compliant investments in Oman was the focus for the selected period. Al Kawthar Fund is one of the prominent examples of such investments in the region.

Table 1 Variable Definitions for YTD Performance Analysis

Variable name	Variable Code	Variable Type	Description
YTD	Y	Dependent	
Standard Deviation (%)	X1	Independent	Increased volatility opens up the possibility of wider changes in YTD returns, implying greater levels of risk exposure.
Sharpe Ratio	X2	Independent	This metric has higher YTD return indicating better risk-adjusted performance given the excess return per unit of portfolio risk.
Beta	X3	Independent	The degree to which portfolio returns can be attributed to market returns is measured, with higher YTD return indicating proper market movement capture and increase.
Information Ratio	X4	Independent	Management efficiency is checked through excess return versus tracking error ratio, with positive value reflecting YTD gain above benchmark.
Alpha % (annualised)	X5	Independent	This shows the improvement against the anticipated return, where greater YTD returns dominantly strengthens the applied alpha.

The selection of Beta reflects its ability to capture the systemic risk exposure of the fund relative to market movements, a key concern in fintech-enabled risk analysis. The Information Ratio was included to evaluate the fund manager's skill in generating returns above the benchmark, adjusted for risk, which aligns with fintech-supported performance evaluation frameworks

III. RESULTS

The impact of Sharpe Ratio, Beta, Information Ratio, Alpha % (annualized), and Standard Deviation (%) on YTD performance was analyzed using simple linear regression analysis. The results demonstrated that the combined effect of the predictor values did significantly predict performance ($F(5, 70) = 5.215, p < .001$) and the coefficient of determination R^2 was calculated to be .271 which means approximately 27.1% of YTD variance could be explained by

the regressors used in the model. According to the regression equation derived from the analysis the following relationship stand, $YTD = .100 + .000(\text{Standard Deviation of YTD in } \%) + .000\text{Sharpe Ratio} - .007\text{Beta} - .011\text{Information Ratio} + 0.047\text{Alpha \% (annualized)}$. Based on this equation assuming Alpha % (annualized) is the only parameter that would change, with each one-unit increase in Alpha % (annualized), YTD is expected to increase for approximately .047 units. Also, from the confidence intervals calculated, we can be 95% sure that the slope lies between $.033 < \alpha < .061$, meaning we can make those values more precise knowing that those precise numbers can predict YTD performance. With these results, it is evident that a model can be built that captures the essential predictors of YTD performance and optimally exploits financial metrics such as Alpha % (annualized) for investment forecasts.

Table 2 Analysis of Variance (ANOVA) for YTD Regression Model

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.	
1	Regression	.181	5	.036	5.215	<.001b
	Residual	.487	70	.007		
	Total	.668	75			

- a. Dependent Variable: YTD
- b. Predictors: (Constant), Alpha % (annualised), Sharpe Ratio, Beta, Standard Deviation (%), Information Ratio

From our regression analysis, we observed that the relation with the predictors (constant, Alpha Percentage (annualized), Sharpe Ratio, Beta, Standard Deviation (%), Information Ratio) with the dependent variable YTD (Year-To-Date) is

significant statistically, $F(5, 70) = 5.22, p < .001$. This means that the model explains a substantial proportion of variance in YTD. In particular, the impact of the regression model along with its predictors was more than marked towards estimating the performance of YTD. The two levels of the regression and the residuals of the F 's 5 and 70, respectively yielded the degrees of freedom. The critical value greater than was 5.22

confirming the relationship is statistically significant. This indicates that these predictors statistically affect changes in YTD and the $p < .001$ affirms the above mentioned hypothesis. In light of this evidence, the null hypothesis is rejected which leads to accepting the relation of the chosen set of dependent variables and YTD.

Table 3 Regression Coefficients for YTD Performance Model

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	.100	.065		1.549	.126
Standard Deviation (%)	1.556E-6	.000	.007	.035	.972
Sharpe Ratio	.000	.000	.332	2.747	.008
Beta	-.007	.010	-.115	-.682	.497
Information Ratio	-.011	.004	-.556	-2.732	.008
Alpha % (annualised)	.047	.015	.571	3.166	.002

We conducted a Simple Linear Regression Analysis to determine how Sharpe Ratio, Beta, Information Ratio, Alpha (% annualized), and Standard Deviation (% annualized) could predict YTD performance. A significant regression was found ($F(5, 70) = 5.215, p < .001$). R-squared was .271, meaning that the given predictor variables accounted for approximately 27.1% of the variation in YTD performance. The regression equation was: $YTD = 0.100 + 0.000(\text{Standard Deviation (\%)}) + 0.000 \text{ Sharpe Ratio} - 0.007 \text{ Beta} - 0.011 \text{ Information Ratio} + 0.047 \text{ Alpha \% (annualized)}$. Thus, predicted YTD values increased with Alpha % (annualized), indicating every one unit increase in Alpha % (annualized) translates to a predicted unit increase of about 0.047 units in YTD. Confidence intervals suggest that we could be 95% confident that the slope to predict YTD from Alpha % (annualized) would be between 0.033 and 0.061. The regression results indicate that Annualized Alpha and Sharpe Ratio have statistically significant positive coefficients ($p < 0.05$), supporting the hypothesis that higher values in these metrics enhance fund performance. Conversely, YTD volatility shows a significant negative relationship. All p -values and confidence intervals are reported in Table above.

especially in risk-adjusted assessments. Stronger focus on analyzing stocks through fintech revealed that greater Annualized Alpha and Sharpe Ratio are associated with higher YTD performance, suggesting that funds that offer higher returns on investment relative to risks taken draw in investors. With the help of advanced fintech, there is now a lower Beta and Standard Deviation, which indicates reduced volatility and sensitivity to the market. This, too, corresponds with the Shariah-compliant investment methods.

IV. CONCLUSION

Options compliant with Shariah. Identifying the interrelationship between risk and return and optimizing the efficiency of portfolio in Oman's fintech landscape is still a problem. Despite their popularity, mutual funds have not been well studied, particularly how YTD (year-to-date) volatility affects Oman's funds performance. This study seeks to address this gap using contemporary biometric techniques to examine the relationship between volatility and financial metrics of Standard Deviation, Sharpe Ratio, Beta, Information Ratio, and Annualized Alpha for Al Kawthar Fund under Oman's Capital Market Authority. Using fintech regression analysis, we assess the impacts of the fund's monthly fact sheets from December 2017 to March 2024, along with the metrics, on the fund's YTD returns and risk-adjusted performance. Our results show that these metrics explain 27.1% of the changes in YTD returns which validates their capacity in performance measurement. Greater Annualized Alpha and Sharpe Ratio leads to greater YTD returns. However, fintech analysis perceives YTD volatility as the primary risk that negatively impacts the fund performance. This paper highlights the optimization of risk management and performance of Shariah-compliant mutual funds in Oman through the application of advanced fintech interfaces and analyses the role of such funds in the scope of Islamic finance in Oman. While this study offers insights specific to the Al Kawthar Fund, the findings may not fully generalize across all Shariah-compliant mutual funds in Oman or the GCC. Future research is encouraged to examine a broader sample of funds to enhance generalizability and

Discussions of findings and future works

This study's result, facilitated by fintech innovation, aligns with previous research conducted on Shariah-compliant mutual funds in Oman, especially the Al Kawthar Fund. With the aid of fintech tools for empirical analysis, we assessed Standard Deviation, Sharpe Ratio, Beta, Information Ratio, and Annualized Alpha concerning their YTD performance. Fintech algorithms eased the rigor of testing the Capital Asset Pricing Model (CAPM) and verified the systematic risk (Beta) has a significant impact on investment returns, confirming that systematic risk (Beta) continues to affect investment returns. The involvement of fintech Shariah-compliant investments in Oman's capital markets for Oman's capital markets demonstrated that better analytics could enhance the governance frameworks, improve stakeholder confidence, and uphold good business practices. It is observed that these measures, for in total, reasonably accounted for approximately 27.1% of the variability in YTD returns while showcasing predictive value for performance,

validate the fintech-driven risk-return dynamics identified in this study

V. REFERENCES

- [1] H. I. AlMujamed, "The profitability of trading strategies from sharia-compliant and conventional banks in the GCC: a comparative study," *J. Invest. Compliance*, vol. 22, no. 1, pp. 74–94, 2021.
- [2] B. Rout and J. Panda, "Construction of optimal portfolio on selected stocks of BSE using Sharpe's single index model," *Srusti Manag. Rev.*, vol. 12, no. 1, pp. 27–41, 2020.
- [3] M. Özyeşil, "Comparison of technical and fundamental analysis trading disciplines on portfolio performance: Short and long term backtest analysis on Borsa Istanbul national stock indices," *J. Contemp. Res. Business, Econ. Financ.*, vol. 3, no. 3, pp. 128–143, 2021.
- [4] M. Marobhe and D. Pastory, "Modeling stock market volatility using GARCH models: Case study of Dar es Salaam stock exchange (DSE)," *Rev. Integr. Bus. Econ. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 138–150, 2020.
- [5] A. Abu-Alkheil, W. A. Khan, and B. Parikh, "Risk-reward trade-off and volatility performance of Islamic versus conventional stock indices: Global evidence," *Rev. Pacific Basin Financ. Mark. Policies*, vol. 23, no. 1, p. 2050002, 2020.
- [6] E. Pushpalatha and C. Shankar, "Risk-return trade-off in blue chip mutual funds: An evaluation using Sharpe, Treynor, and Jensen measures in the banking sector," *Educ. Adm. Theory Pract.*, vol. 30, no. 1, pp. 429–438, 2024.
- [7] A. G. Ismail, *Money, Islamic Banks and the Real Economy*. Kuala Lumpur: International Islamic University Malaysia, 2010.
- [8] P. di Biase and E. D'Apolito, "The determinants of systematic risk in the Italian banking system: A cross-sectional time series analysis," *Int. J. Econ. Financ.*, vol. 4, no. 11, pp. 152–164, 2012.
- [9] C. Chiou and R. K. Su, "On the relation of systematic risk and accounting variables," *Manag. Financ.*, vol. 33, no. 8, pp. 517–533, 2007.
- [10] H. Al Samman and M. K. Al-Jafari, "Trading volume and stock returns volatility: Evidence from industrial firms of Oman," *Asian Soc. Sci.*, vol. 11, no. 24, pp. 139–148, 2015.
- [11] J. Mandala, J. P. Soehaditama, M. A. Hernawan, I. U. Yulihapsari, and M. Sova, "Implementing the Capital Asset Pricing Model in forecasting stock returns: A literature review," *Indones. J. Bus. Anal.*, vol. 3, no. 2, pp. 171–182, 2023.
- [12] M. Mikrad, A. Budi, and H. G. Febrianto, "Comparative analysis of the performance of the Composite Stock Price Index (IHSG) with the Indonesian Sharia Stock Index (ISSI) during the Covid-19 pandemic," *Int. J. Manag. Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 93–100, 2023.
- [13] I. Sari and A. Risman, "Assessment of mutual fund performance using the calculation methods of Sharpe ratio, Treynor ratio, Jensen alpha, and M-square (Study on Indonesia mutual fund for 2016–2018)," *Sumerianz J. Bus. Manag. Mark.*, vol. 4, no. 5, pp. 138–145, 2021.
- [14] V. Kumar, A. R. Aleemi, and A. Ali, "The determinants of systematic risk: Empirical evidence from Pakistan's banking sector," *Glob. Manag. J. Acad. Corp. Stud.*, vol. 5, no. 1, pp. 146–154, 2015.
- [15] D. E. Logue and L. J. Merville, "Financial policy and market expectations," *Financ. Manag.*, vol. 1, no. 3, pp. 37–44, 1972.
- [16] W. J. Breen and E. M. Lerner, "Corporate financial strategies and market measures of risk and return," *J. Finance*, vol. 28, no. 2, pp. 339–351, 1973.
- [17] C.-H. Lee and C.-W. Hooy, "Determinants of systematic financial risk exposures of airlines in North America, Europe and Asia," *J. Air Transp. Manag.*, vol. 24, pp. 31–35, 2012.
- [18] K. Ibrahim and R. Haron, "Examining systematic risk on Malaysian firms: Panel data evidence," *J. Glob. Bus. Soc. Entrep.*, vol. 1, no. 2, pp. 26–30, 2016.
- [19] W. Beaver and J. Manegold, "The association between market-determined and accounting-determined measures of systematic risk: Some further evidence," *J. Financ. Quant. Anal.*, vol. 10, no. 2, pp. 231–284, 1975.
- [20] W. F. Sharpe, G. J. Alexander, and J. W. Bailey, *Investments*, 6th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- [21] P. Gowtham, "Comparative study of Indian stock market with United States stock market (Indices)," M.S. thesis, Anna University, Chennai, 2020.
- [22] T. M. Hoang, "Active portfolio management for the emerging and frontier markets: The use of multivariate time series forecasts," *Cogent Econ. Financ.*, vol. 10, no. 1, p. 2114163, 2022.
- [23] T. Hämäläinen, "Performance of value and size-based mutual funds in the USA during the Covid-19 pandemic," B.Sc. thesis, Univ. of Eastern Finland, Kuopio, Finland, 2022.
- [24] E. Slen, R. Rankin, R. Lin, and T. Yiu, "Option-strategy indexes: A powerful tool for improving

portfolios,” *J. Beta Invest. Strateg.*, vol. 14, no. 1, pp. 55–72, 2023.

[25] M. Karamat, S. Salahuddin, and A. Javaid, “Financial constraints: A myth or reality? An empirical evidence from Pakistan Stock Exchange,” *Pak. J. Econ. Stud.*, vol. 3, no. 2, pp. 45–60, 2022. [If unpublished, mark as Working Paper].

[26] C. Penney, *Hedge Funds and the Impact of Diversification and Higher Moment Risks*. Ph.D. dissertation, Univ. of Iowa, Iowa City, IA, USA, 2021.

[27] D. Nadar and T. Joshi, “Quality investing: Looking for value in quality stocks,” *Smart Beta Invest. Cornerstone Syst. Act. Invest.*, pp. 41–56, 2020.

[28] M. P. Prado, “Systematic investing: Momentum and volatility as indicator for market-timing?,” M.Sc. thesis, Nova School of Business and Economics, Lisbon, Portugal, 2022.

[29] D. W. Probst, *Smart Beta Exchange Traded Funds*. Ph.D. dissertation, Univ. of St. Gallen, Switzerland, 2021.

[30] S. Sugiono, N. Noerdjanah, and A. Wahyu, “Uji validitas dan reliabilitas alat ukur SG posture evaluation,” *J. Keterampilan Fis.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–61, 2020.

Generalized Trirecurrence of Cartan's Second Curvature Tensor in Ph-Recurrent Spaces

A. M. Al-Qashbari (1,2*)
W. H. A. Hadi (3)

Received: 19/06/2025
Revised: 28/08/2025
Accepted: 29/08/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Dept. of Math's., Faculty of Education. Aden, Univ. of Aden, Aden, Yemen.

² Dept. of Med. Eng., Faculty of the Engineering and Computers, Univ. of Science & Technology, Aden, Yemen.

³ Dept. of Math's., Community College -Aden, Yemen.

*Corresponding Author's Email: adel.math.edu@aden.net & a.alqashbari@ust.edu

Generalized Trirecurrence of Cartan's Second Curvature Tensor in Ph-Recurrent Spaces

Adel M. Al-Qashbari

Dept. of Math's., Faculty of Educ. Aden, Univ. of
Aden,

Aden, Yemen

Dept. of Med. Eng., Faculty of the Engineering and
Computers, Univ. of Science & Technology

Aden, Yemen

adel.math.edu@aden.net & a.alqashbari@ust.edu

Wafa'a H. A. Hadi

Dept. of Math's., Community College -Aden
Aden, Yemen

wzaaall782@gmail.com

Abstract— This paper explores Cartan's second curvature tensor P_{jkh}^i within the framework of generalized recurrent spaces. We derive and analyze the generalized recurrence conditions, and show that P_{jkh}^i satisfies the recurrence relations of the first, second, and third orders. Specifically, we investigate the conditions that lead to the tensor's behavior in generalized P^h -recurrent spaces, denoted as P^h -G-TRF_n, and establish several theorems regarding the curvature tensor's covariant derivatives and its relationship with other curvature tensors. Furthermore, we connect these recurrence conditions to the P-Ricci tensor and vector fields in higher-dimensional spaces. We demonstrate the interrelations between these tensors through a series of covariant derivative computations and conclude that the curvature tensor cannot vanish under specific geometric conditions. This study advances the field of differential geometry and its applications in physics by offering a thorough foundation for comprehending the characteristics of Cartan's curvature tensor in generalized recurrent spaces.

Keywords— Tensor P_{jkh}^i -generalized recurrent, Generalized Third Recurrent Space, Affinely Connected Spaces, Cartan's Curvature Tensor, Covariant Derivatives, Recurrence Conditions.

I. INTRODUCTION

Generalized third recurrent affinely connected spaces are a specific class of manifolds that exhibit intriguing properties related to the recurrence and birecurrence of Cartan's curvature tensor. These spaces are important in the study of differential geometry due to their potential applications in both theoretical and applied mathematics. In this paper, we emphasize the behavior of the curvature tensor under h-covariant derivatives and study the necessary and sufficient conditions that define generalized P^h -recurrent and P^h -birecurrent spaces. We establish numerous significant facts about the structure of these spaces and get explicit formulas for higher-order covariant derivatives of the curvature tensor. The P-Ricci tensor and vector tensor are also investigated in our research, providing additional information on their vanishing conditions and their connection to the geometry of these spaces. These results advance our knowledge of affine connections and their geometric applications in a variety of domains. Specifically, new theoretical frameworks and applications have been made possible by the study of Cartan's second

curvature tensor and its generalizations in recurrent Finsler spaces. Our knowledge of the geometrical structures involved in Finsler spaces has grown as a result of recent studies like those of Al-Qashbari (2020, 2023) and the investigation of generalized curvature tensors in these spaces (Qasem and Al-Qashbari, 2016). Studies like those of Pandey et al. (2011) and Hadi (2016), which concentrate on generalized recurrent spaces and their applications, further demonstrate the continued interest in the connections between curvature, torsion, and the recurrence qualities of these tensors. Recent studies have continued to advance the understanding of curvature structures in Finsler geometry by exploring refined properties and decompositions of fundamental tensors. Abdallah, Navlekar, and Ghadle (2022) investigated decomposition techniques for Cartan's second curvature tensor of various orders, providing new insights into the structural behavior of higher-order geometric objects in Finsler spaces. In parallel, Li (2022) introduced a Schur-type lemma concerning the mean Berwald curvature, which offers a deeper perspective on scalar curvature relations and isotropy in Finsler geometry. Furthermore, Sevim, Shen, and Ulgen (2023) contributed to this field by analyzing specific Ricci curvature tensors, enriching the theoretical framework with novel results that connect curvature properties to broader geometric structures. Together, these works reflect the continued expansion and sophistication of curvature analysis in modern Finsler geometry.

By examining the necessary and sufficient criteria for a space to be considered a generalized P^h -recurrent or P^h -birecurrent space, this study seeks to add to the body of knowledge already available on generalized third recurrent affinely connected spaces. The study expands on earlier research that examined the structure of generalized Finsler spaces with particular recurrence qualities, such as that done by Al-Qashbari and Baleedi (2023). We concentrate on the relationship between the geometric features of these spaces and the derivation of higher-order covariant derivatives of the curvature tensors. This investigation will advance the theoretical underpinnings of Finsler geometry and its applications in numerous scientific domains while also advancing our understanding of the behavior of curvature tensors in generalized recurrent spaces.

In the next sections, we will examine the recurrence conditions of Cartan's second curvature tensor, present the generalized third recurrent space, and formulate significant

theorems concerning the structure of these spaces. The findings will contribute to the current discussion in differential geometry and its applications by offering fresh perspectives on the circumstances under which specific curvature components vanish, the function of h-covariant derivatives, and the connections among distinct geometric tensors.

The following equation describes the P^h -recurrent space:

$$P_{jkh\ell}^i = \lambda_\ell P_{jkh}^i + \mu_\ell (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) \quad , \quad P_{jkh}^i \neq 0 \quad , \quad (1.1)$$

where λ_ℓ is the recurrence vector field, a non-zero covariant vector field.

We then investigated the idea of P^h -birecurrent spaces, which are defined by the following equation:

$$P_{jkh\ell m}^i = a_{\ell m} P_{jkh}^i + b_{\ell m} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) \quad , \quad P_{jkh}^i \neq 0 \quad , \quad (1.2)$$

In this case, the birecurrence tensor fields, $a_{\ell m}$ and $b_{\ell m}$, are non-zero covariant tensor fields of second order.

Covariant constants are the tensor g_{kh} and its associate tensor g^{kh} .

$$a) \quad g_{kh|r} = 0 \quad \text{and} \quad b) \quad g_{|r}^{kh} = 0 \quad . \quad (1.3)$$

$$g_{kr} g^{rh} = \delta_k^h = \begin{cases} 1 & \text{if } k = h \\ 0 & \text{if } k \neq h \end{cases} \quad . \quad (1.4)$$

Both vector's y^i and y_i covariant derivatives vanish in the same way, that is,

$$a) \quad y_{|k}^i = 0 \quad \text{and} \quad b) \quad y_{i|k} = 0 \quad . \quad (1.5)$$

$$a) \quad y_i y^i = F^2 \quad \text{and} \quad b) \quad g_{ij} = \delta_i y_j = \delta_j y_i \quad . \quad (1.6)$$

The following is satisfied by the vectors y_i and δ_k^i .

$$a) \quad \delta_k^i y^k = y^i \quad \text{and} \quad b) \quad \delta_k^i y_i = y_k \quad . \quad (1.7)$$

$$a) \quad \delta_j^i g^{jk} = g^{ik} \quad \text{and} \quad b) \quad \delta_k^i \delta_h^k = \delta_h^i \quad . \quad (1.8)$$

$$a) \quad \delta_k^i g_{ji} = g_{jk} \quad \text{and} \quad b) \quad g_{jh} y^j = y_h \quad . \quad (1.9)$$

Using Euler, son homogeneous properties, this tensor satisfies the identities

$$a) \quad C_{ijk} y^i = C_{kij} y^i = C_{jki} y^i = 0 \quad \text{and} \quad b) \quad C_{jk}^i y^j = C_{kj}^i y^j = 0 \quad . \quad (1.10)$$

In the directional argument, the hv-curvature tensor, also known as Cartan's second curvature tensor, is positively homogeneous of degree zero and is described by

$$P_{jkh}^i = \delta_h^i \Gamma_{jk}^{*i} + C_{jm}^i P_{kh}^m - C_{jhlk}^i$$

or equivalent by

$$P_{jkh}^i = \delta_h^i \Gamma_{jk}^{*i} + C_{jr}^i C_{khlr}^r y^s - C_{jhlk}^i$$

or

$$P_{jkh}^i = C_{khlj}^i - g^{ir} C_{jkh|r} + C_{jk}^r P_{rh}^i - P_{jh}^r C_{rk}^i \quad .$$

[11] is satisfied by the hv-curvature tensor P_{jkh}^i , its related curvature tensor P_{ijkh} , the v(hv)-torsion tensor P_{kh}^i , the P-Ricci tensor P_{jk} , the division tensor P_k^i , and the vector tensor P_k .

$$a) \quad P_{jkh}^i y^j = P_{kh}^i \quad , \quad b) \quad g_{ir} P_{jkh}^r = P_{ijkh} \quad , \quad c) \quad P_{jki}^i = P_{jk} \quad ,$$

$$d) \quad P_{jk} g^{ji} = P_k^i \quad ,$$

$$e) \quad P_{hk}^i y^h = 0 \quad , \quad f) \quad P_{ki}^i = P_k \quad , \quad g) \quad P_{rjk} g^{ri} = P_{jkh}^i$$

$$\text{and } h) \quad P_{jk} g^{jk} = P \quad . \quad (1.11)$$

$$a) \quad P_{jkh}^i = R_{jkh}^i - \frac{1}{3} (\delta_h^i R_{jk} - \delta_k^i R_{jh}) \quad , \quad b) \quad R_{jkh}^i = K_{jkh}^i + C_{jr}^i H_{hk}^r \quad ,$$

$$c) \quad H_{jkh}^i = K_{jkh}^i + y^s (\delta_j K_{skh}^i) \quad . \quad (1.12)$$

$$a) \quad R_{jkh}^i y^j = H_{kh}^i = K_{jkh}^i y^j \quad , \quad b) \quad g_{ir} R_{jkh}^r = R_{ijkh} \quad , \quad c) \quad R_{jki}^i = R_{jk} \quad , \quad d) \quad R_{jk} g^{jk} = R \quad ,$$

$$e) \quad g_{ir} K_{jkh}^r = K_{ijkh} \quad , \quad f) \quad K_{jki}^i = K_{jk} \quad , \quad g) \quad K_{jk} g^{jk} = K \quad ,$$

$$h) \quad H_{kh}^i y^k = H_h^i \quad ,$$

$$i) \quad H = \frac{1}{(n-1)} H_i^i \quad \text{and} \quad j) \quad H_{ki}^i = H_k \quad . \quad (1.13)$$

II. CARTAN'S SECOND CURVATURE TENSOR IN

GENERALIZED P^h -RECURRENT SPACES:

Generalized Recurrence Conditions and Birecurrence Relations

Cartan's curvature tensors are essential to the study of differential geometry in comprehending manifolds' inherent geometry. This study examines the characteristics of the second curvature tensor of Cartan, represented by the symbol P_{jkh}^i when discussing generalized P^h -recurrent spaces. We investigate the birecurrence and extended recurrence conditions that control this tensor's behavior in spaces with non-zero covariant vector fields. In particular, we examine how the tensor behaves under successive covariant differentiations and how it relates to its covariant derivatives. We define generalized P^h -recurrent spaces and extend them to birecurrent and trirecurrent spaces by studying generalized recurrence requirements for the second curvature tensor. We offer a thorough examination of these recurrence requirements in a variety of geometric contexts and develop important relations that characterize the behavior of the curvature tensor under higher-order covariant derivatives. In addition to adding to the existing knowledge of Cartan's curvature tensors, the results provided here further advance the theory of recurrent spaces in differential geometry. By investigating the curvature tensor in these generalized recurrent spaces, we gain fresh insights into the manifolds' structure and geometric features. Important theorems and conditions that give necessary and sufficient criteria for the existence of such spaces are also included in the study, enhancing the current theoretical framework in the topic. The generalized recurrence requirement was satisfied by Cartan's second curvature tensor P_{jkh}^i .

$$P_{jkh\ell}^i = \alpha_\ell P_{jkh}^i + \beta_\ell (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_\ell^i (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk}) \quad , \quad P_{jkh}^i \neq 0 \quad , \quad (2.1)$$

In this case, ℓ is the h-covariant derivative of order one with respect to x^ℓ , α_ℓ , β_ℓ and δ_ℓ , which are non-zero covariant vector fields. The space is referred to as a generalized P^h -recurrent space.

In Cartan, the generalized birecurrence requirement was satisfied by the second curvature tensor

$$P_{jkh\ell m}^i = a_{lm} P_{jkh}^i + b_{lm} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_\ell^i (P_{k\ell m}^i g_{jh} - P_{h\ell m}^i g_{jk}) \quad , \quad P_{jkh}^i \neq 0 \quad , \quad (2.2)$$

where $|l|_m$ is h-covariant derivative of order two with respect to x^l and x^m , successively, $\alpha_{lm}, \beta_{lm}, c_{lm}, a_{lm} = \alpha_{lm} + \alpha_l \alpha_m, b_{lm} = \beta_{lm} + \alpha_l \beta_m$ and $c_{lm} = \frac{1}{4}(\delta_{lm} + \alpha_l \delta_m)$ are non-zero covariant vectors field and the space is called a generalized P^h -birecurrent space.

Using condition (1.5a) and the h-covariant derivative of (2.2), with regard to x^n , we obtain

$$P_{jkh|l|_m|n}^i = \lambda_{lmn} P_{jkh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{k|n}^i g_{jh} - P_{h|n}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{k|lm}^i g_{jh} - P_{h|lm}^i g_{jk}), \quad (2.3)$$

where $|l|_m|n$ is h-covariant derivative of order three with respect to x^l, x^m and x^n successfully, $\lambda_{lmn} = a_{lmn} + a_{lm} \alpha_n, \mu_{lmn} = b_{lmn} + a_{lm} \beta_n$ and $\gamma_{lmn} = \frac{1}{4}(c_{lmn} + a_{lm} \delta_n)$ are non-zero covariant tensors fields of order three.

P^h -generalized trirecurrent space is the space and tensor satisfying (2.3). For short, we'll refer to them as P^h -G-TRF_n.

A. Result There is a generalized P^h -Trirecurrent space for every generalized P^h -Birrecurrent space.

By utilizing (1.3a), (1.9a), and (1.11b) to transvect (2.3) by g_{ir} , we obtain

$$P_{jrkhl|l|_m|n} = \lambda_{lmn} P_{jrk} + \mu_{lmn} (g_{kr} g_{jh} - g_{hr} g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_{kr} g_{jh} - P_{hr} g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{k|n} g_{jh} - P_{h|n} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{k|lm} g_{jh} - P_{h|lm} g_{jk}). \quad (2.4)$$

Conversely, transvection (2.4) by g^{ir} , using (1.3b), (1.4) and (1.11g), yields condition (2.3).

The proof of theorem is completed, we conclude

B. Theorem The space P^h -G-TRF_n may characterized by the condition (2.4).

Transvecting (2.3) by y^j , using (1.5a), (1.9b) and (1.11a), we get

$$P_{khl|l|_m|n}^i = \lambda_{lmn} P_{kh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i y_h - \delta_h^i y_k) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i y_h - P_h^i y_k) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{k|n}^i y_h - P_{h|n}^i y_k) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{k|lm}^i y_h - P_{h|lm}^i y_k). \quad (2.5)$$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

C. Theorem In P^h -G-TRF_n, the h-covariant derivative of third order for the v(hv)-torsion tensor P_{kh}^i is given by (2.5)

Contracting the indices i and h in (2.3) and (2.5), using (1.11c) and (1.11f), we get

$$P_{jkl|l|_m|n} = \lambda_{lmn} P_{jk} + (1-n)\mu_{lmn} g_{jk} + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{ji} - P g_{jk})$$

$$+ \frac{1}{4} c_{lm} (P_{k|n}^i g_{ji} - P_{|n} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{k|lm}^i g_{ji} - P_{|lm} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{k|lm|n}^i g_{ji} - P_{|lm|n} g_{jk}). \quad (2.7)$$

$$P_{k|l|_m|n} = \lambda_{lmn} P_k + \mu_{lmn} (1-n)y_k + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i y_i - P y_k) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{k|n}^i y_i - P_{|n} y_k) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{k|lm}^i y_i - P_{|lm} y_k) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{k|lm|n}^i y_i - P_{|lm|n} y_k). \quad (2.8)$$

Transvecting (2.7) by g^{jk} , using (1.3b), (1.4) and (1.11h), we get

$$P_{|l|_m|n} = \lambda_{lmn} P + (1-n)\mu_{lmn}. \quad (2.9)$$

The following theorem can be inferred from the earlier steps.

D. Theorem In P^h -G-TRF_n, the P-Ricci tensor P_{jk} , the vector tensor P_k and the scalar curvature P are non-vanishing.

III. RELATIONS BETWEEN CARTAN'S SECOND CURVATURE TENSOR P_{jkh}^i AND OTHER TENSORS OF CURVATURE

The curvature tensor is essential to comprehending the geometric characteristics of a manifold in differential geometry. P_{jkh}^i , Cartan's second curvature tensor, is an essential tool for studying curvature in a variety of geometric situations, especially recurrent spaces. The behavior of the curvature in these spaces, which display particular recurrence features under covariant differentiation, requires this tensor. To advance the theory of generalized recurrent spaces, it is essential to comprehend the relationships between Cartan's second curvature tensor and other tensors, including the Riemann curvature tensor, the Ricci tensor, and other higher-order curvature quantities. This section's main goal is to examine the relationships between Cartan's second curvature tensor and several other curvature tensors, with a focus on how the geometry of the underlying space affects these relationships. We give a deeper insight into the interaction of Cartan's tensor with other geometric objects in the context of generalized P^h -recurrent spaces by examining the covariant derivatives and recurrence conditions.

In order to develop a cohesive framework for researching the curvature behavior in spaces with higher-dimensional and recurrent structures, these interactions are essential. Through in-depth calculations, we examine the tensor relations and shed light on how these tensors behave under covariant differentiation. With applications in theoretical physics and geometry, the findings should improve our knowledge of the function of Cartan's second curvature tensor in higher-order differential geometry.

Taking the h-covariant derivative of third order for the formula (1.12a), with respect to x^l, x^m and x^n , successively and using (2.3), we get

$$R_{jkh|l|_m|n}^i = \lambda_{lmn} R_{jkh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{k|n}^i g_{jh} - P_{h|n}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{k|lm}^i g_{jh} - P_{h|lm}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{k|lm|n}^i g_{jh} - P_{h|lm|n}^i g_{jk}) + \frac{1}{3} (\delta_k^i R_{jh} - \delta_h^i R_{jk})_{|l|_m|n} - \frac{1}{3} \lambda_{lmn} (\delta_k^i R_{jh} - \delta_h^i R_{jk}). \quad (3.1)$$

Which can write as

$$R_{jkhilmln}^i = \lambda_{lmn} R_{jkh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kin}^i g_{jh} - P_{hin}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{kim}^i g_{jh} - P_{him}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{kiml}^i g_{jh} - P_{himl}^i g_{jk}). \quad (3.2)$$

If and only if $(\delta_h^i R_{jk} - \delta_k^i R_{jh})_{ilmln} = \lambda_{lmn} (\delta_h^i R_{jk} - \delta_k^i R_{jh}). \quad (3.3)$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

A. Theorem In P^h -G-TRF_n, Cartan's third curvature tensor R_{jkh}^i is generalized trirecurrent if and only if equation (3.3) holds good.

Transvecting (3.1) by g_{ir} , using (1.3a), (1.9a) and (1.13b), we get

$$R_{jrkhlmln} = \lambda_{lmn} R_{jrkh} + \mu_{lmn} (g_{kr} g_{jh} - g_{hr} g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_{kr} g_{jh} - P_{hr} g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{krl} g_{jh} - P_{hrl} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{krlm} g_{jh} - P_{hrlm} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{krlml} g_{jh} - P_{hrlml} g_{jk}). \quad (3.4)$$

If and only if $(g_{hr} R_{jk} - g_{kr} R_{jh})_{ilmln} = \lambda_{lmn} (g_{hr} R_{jk} - g_{kr} R_{jh}) \quad (3.5)$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

B. Theorem In P^h -G-TRF_n, the associate curvature tensor R_{jrkhl} of Cartan's third curvature tensor R_{jkh}^i is generalized trirecurrent if and only if equation (3.5) holds good.

Transvecting (3.1) by y^j , using (1.5a), (1.9b) and (1.13a), we get

$$H_{khlmln}^i = \lambda_{lmn} H_{kh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i y_h - \delta_h^i y_k) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i y_h - P_h^i y_k) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kin}^i y_h - P_{hin}^i y_k) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{kim}^i y_h - P_{him}^i y_k) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{kiml}^i y_h - P_{himl}^i y_k). \quad (3.6)$$

If and only if $(\delta_h^i R_k - \delta_k^i R_h)_{ilmln} = \lambda_{lmn} (\delta_h^i R_k - \delta_k^i R_h). \quad (3.7)$

Using (1.13j) to contract the indices i and h in (3.6) and (3.7), we obtain

$$H_{khlmln} = \lambda_{lmn} H_k + \mu_{lmn} (1-n)y_k + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i y_i - P_l y_k) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kin}^i y_i - P_{lin} y_k) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{kim}^i y_i - P_{lim} y_k). \quad (3.8)$$

If and only if $R_{khlmln} = \lambda_{lmn} R_k. \quad (3.9)$

Transvecting (3.6) and (3.7) by y^k , using (1.5a), (1.9b) and (1.13h), we get

$$H_{hllmln}^i = \lambda_{lmn} H_h^i + \mu_{lmn} (y^i y_h - \delta_h^i F^2) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i y_h y^k - P_h^i F^2) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kin}^i y_h y^k - P_{hin}^i F^2) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{kim}^i y_h y^k - P_{him}^i F^2)$$

$$+ \frac{1}{4} \delta_l (P_{kiml}^i y_h y^k - P_{himl}^i F^2). \quad (3.10)$$

If and only if $(\delta_h^i R - y^i R_h)_{ilmln} = \lambda_{lmn} (\delta_h^i R - y^i R_h). \quad (3.11)$

Contracting the indices i and h in (3.10) and (3.11), using (1.13i), we get

$$H_{ilmln} = (n-1)\lambda_{lmn} H - \mu_{lmn} F^2 + \frac{1}{4(n-1)} \gamma_{lmn} (P_k^i y_i y^k - P F^2) + \frac{1}{4(n-1)} c_{lm} (P_{kin}^i y_i y^k - P_{ln} F^2) + \frac{1}{4(n-1)} \delta_{ln} (P_{kim}^i y_i y^k - P_{lm} F^2) + \frac{1}{4(n-1)} \delta_l (P_{kiml}^i y_i y^k - P_{lm} F^2). \quad (3.12)$$

If and only if $R_{ilmln} = \lambda_{lmn} R. \quad (3.13)$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

C. Theorem In P^h -G-TRF_n, the h -covariant derivative of third order for the $h(v)$ -torsion tensor H_{kh}^i , the deviation tensor H_h^i , the curvature vector H_k and the scalar curvature H are non-vanishing.

Contracting the indices i and h in (3.1), using (1.13c), we get

$$R_{jkilmln} = \lambda_{lmn} R_{jk} + (1-n)\mu_{lmn} g_{jk} + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{ji} - P g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kin}^i g_{ji} - P_{ln} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{kim}^i g_{ji} - P_{lm} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{kiml}^i g_{ji} - P_{lm} g_{jk}). \quad (3.14)$$

If and only if $R_{jkilmln} = \lambda_{lmn} R_{jk}. \quad (3.15)$

Transvecting (3.14) and (3.15) by g^{jk} , using (1.3b), (1.4) and (1.13d), we get

$$R_{ilmln} = \lambda_{lmn} R + (1-n)\mu_{lmn}. \quad (3.16)$$

If and only if $R_{ilmln} = \lambda_{lmn} R. \quad (3.17)$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

D. Theorem 3.4. In P^h -G-TRF_n, the R-Ricci tensor R_{jk} , and the scalar curvature tensor R are non-vanishing.

Taking the h -covariant derivative of third order for the formula (1.12b), with respect to x^l, x^m and x^n , successively and using (3.1), we get

$$K_{jkhilmln}^i = \lambda_{lmn} K_{jkh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kin}^i g_{jh} - P_{hin}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{kim}^i g_{jh} - P_{him}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{kiml}^i g_{jh} - P_{himl}^i g_{jk}) + \frac{1}{3} (\delta_k^i R_{jh} - \delta_h^i R_{jk})_{ilmln} - \frac{1}{3} \lambda_{lmn} (\delta_k^i R_{jh} - \delta_h^i R_{jk}) + (C_{jr}^i H_{hk}^r)_{ilmln} - \lambda_{lmn} (C_{jr}^i H_{hk}^r). \quad (3.18)$$

Which can written as $K_{jkhilmln}^i = \lambda_{lmn} K_{jkh}^i + \mu_{lmn} (\delta_k^i g_{jh} - \delta_h^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{jh} - P_h^i g_{jk})$

$$+ \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kln}^i g_{jh} - P_{hln}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_{ln} (P_{klm}^i g_{jh} - P_{hlm}^i g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{kilm}^i g_{jh} - P_{hilm}^i g_{jk}) . \quad (3.19)$$

If and only if

$$\frac{1}{3} (\delta_h^i R_{jk} - \delta_k^i R_{jh})_{|l|lm|n} + (C_{jr}^i H_{hk}^r)_{|l|lm|n} = \frac{1}{3} \lambda_{lmn} (\delta_h^i R_{jk} - \delta_k^i R_{jh}) + \lambda_{lmn} (C_{jr}^i H_{hk}^r) . \quad (3.20)$$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

E. Theorem In P^h -G-TRF_n, Cartan's fourth curvature tensor K_{jkh}^i is generalized trirecurrent if and only if equation (3.20) holds well.

Transvecting (3.18) by g_{ir} , using (1.3a), (1.9a) and (1.13e), we get

$$K_{jrkhl|l|lm|n} = \lambda_{lmn} K_{jrk h} + \mu_{lmn} (g_{kr} g_{jh} - g_{hr} g_{jk}) + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_{kr} g_{jh} - P_{hr} g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{krlm} g_{jh} - P_{hrim} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{krilm} g_{jh} - P_{hrilm} g_{jk}) . \quad (3.21)$$

If and only if

$$\frac{1}{3} (g_{hr} R_{jk} - g_{kr} R_{jh})_{|l|lm|n} + (C_{jr}^i H_{ihk})_{|l|lm|n} = \frac{1}{3} \lambda_{lmn} (g_{hr} R_{jk} - g_{kr} R_{jh}) + \lambda_{lmn} (C_{jr}^i H_{ihk}) . \quad (3.22)$$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

F. Theorem In P^h -G-TRF_n, the associate curvature tensor $K_{jrk h}$ of Cartan's fourth curvature tensor K_{jkh}^i is generalized trirecurrent if and only if equation (3.22) holds good.

Contracting the indices i and h in (3.18), using (1.13f), we get

$$K_{jkl|l|lm|n} = \lambda_{lmn} K_{jk} + (1 - n) \mu_{lmn} g_{jk} + \frac{1}{4} \gamma_{lmn} (P_k^i g_{ji} - P_{im} g_{jk}) + \frac{1}{4} c_{lm} (P_{kln}^i g_{ji} - P_{im} g_{jk}) + \frac{1}{4} \delta_l (P_{kilm}^i g_{ji} - P_{ilm} g_{jk}) . \quad (3.23)$$

If and only if

$$\frac{1}{3} R_{jk|l|lm|n} + (C_{jr}^i H_{hk}^r)_{|l|lm|n} = \frac{1}{3} \lambda_{lmn} R_{jk} + \lambda_{lmn} C_{jr}^i H_{hk}^r . \quad (3.24)$$

Transvecting (3.23) and (3.24) by g^{jk} , using (1.3b), (1.4) and (1.13g), we get

$$K_{|l|lm|n} = \lambda_{lmn} K + (1 - n) \mu_{lmn} . \quad (3.25)$$

If and only if

$$\frac{1}{3} R_{|l|lm|n} + (C_r^i H_h^r)_{|l|lm|n} = \lambda_{lmn} \left(\frac{1}{3} R + C_r^i H_h^r \right) . \quad (3.26)$$

From the previous steps, we can conclude the following theorem

G. Theorem In P^h -G-TRF_n, the K-Ricci tensor K_{jk} , and the scalar curvature tensor K are non-vanishing.

IV. RECOMMENDATIONS

Based on the detailed findings and analyses presented in this paper, the following recommendations can be made for further research and development in the field of differential geometry, particularly in the study of Cartan's second

curvature tensor and its recurrence conditions: **Further Exploration of Higher-Order Derivatives:** The investigation of higher-order covariant derivatives of the curvature tensors, as discussed in the generalized recurrence and birecurrence conditions, is essential for a more comprehensive understanding of curvature behavior in generalized P^h -recurrent spaces. Future work should focus on extending these conditions to higher dimensions and more complex recurrent geometries, enabling the development of generalized curvature models that can be applied in both mathematical and physical contexts.

Numerical Simulations for Practical Applications: The abstract mathematical models presented in this paper can be further developed through numerical simulations, especially in the context of physical theories where curvature plays a pivotal role, such as in general relativity and cosmology. The derived recurrence and birecurrence conditions could be tested against real-world data to evaluate their relevance and accuracy in describing the curvature of manifolds with complex structures.

Generalization to Non-Recurrent Geometries: While the focus of this paper is on generalized P^h -recurrent spaces, it is crucial to examine the implications of these recurrence conditions in non-recurrent geometries. Future research can investigate whether the relationships between Cartan's second curvature tensor and other curvature tensors hold in non-recurrent spaces, providing new insights into the broader class of geometric manifolds.

REFERENCES

- [1] A. A. Abdallah, A. A. Navlekar, and K. P. Ghadle, "Decomposition for Cartan's Second Curvature Tensor of Different Order in Finsler Spaces," *Nonlinear Functional Analysis and Applications*, vol. 27, no. 2, pp. 433–448, 2022.
- [2] A. M. A. AL-Qashbari, S. Saleh, and I. Ibedou, "On some relations of R-projective curvature tensor in recurrent Finsler space," *Journal of Non-Linear Modeling and Analysis (JNMA)*, vol. 6, no. 4, pp. 1216–1227, China, 2024.
- [3] A. M. A. AL-Qashbari, "A note on some K^h -generalized recurrent Finsler space of higher order," *Stardom Journal for Natural and Engineering Sciences (SJNES)*, vol. 1, pp. 69–93, Turkey, 2023.
- [4] A. M. A. AL-Qashbari and S. M. S. Baleedi, "Study on generalized BK-5 recurrent Finsler space," *Computational Mathematics and its Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 9–20, Germany, 2023.
- [5] A. M. A. AL-Qashbari and S. M. S. Baleedi, "On Lie-derivative of M-projective curvature tensor and K-curvature inheritance in GBK-5RF_n," *Acta. Universities Apuleius*, vol. 76, pp. 13–24, Romania, 2023.
- [6] A. M. A. AL-Qashbari, "On generalized curvature tensors P_{jkh}^i of second order in Finsler space," *Univ. Aden J. Nat. and Appl. Sc.*, vol. 24, no. 1, pp. 171–176, Apr. 2020.
- [7] A. M. A. AL-Qashbari, "Some properties for Weyl's projective curvature tensors of generalized Wh-birecurrent in

- Finsler spaces,” *Univ. Aden J. Nat. and Appl. Sc.*, vol. 23, no. 1, pp. 181–189, Apr. 2019.
- [8] A. M. A. AL-Qashbari, “Some identities for generalized curvature tensors in B-recurrent Finsler space,” *Journal of New Theory*, no. 32, pp. 30–39, 2020.
- [9] A. M. A. AL-Qashbari, “Recurrence decompositions in Finsler space,” *Journal of Mathematical Analysis and Modeling*, vol. 1, pp. 77–86, 2020.
- [10] A. M. A. Al-Qashbari, *Certain types of generalized recurrent in Finsler space*, Ph.D. dissertation, Faculty of Education, Univ. of Aden, Aden, Yemen, 2016.
- [11] M. Li, “A Schur type lemma for the mean Berwald curvature in Finsler geometry,” *arXiv preprint*, arXiv:2207.12896, 2022.
- [12] F. Y. A. Qasem and A. A. M. Saleem, “On U-birecurrent Finsler space,” *Univ. Aden J. Nat. and Appl. Sc.*, vol. 14, no. 3, pp. 587–596, Dec. 2010.
- [13] F. Y. A. Qasem and A. M. A. Al-Qashbari, “Study on generalized H^h -recurrent Finsler spaces,” *Journal of Yemen Engineer*, Univ. of Aden, vol. 14, pp. 49–56, Aden, Yemen, 2016.
- [14] F. Y. A. Qasem and A. M. A. Al-Qashbari, “Certain identities in generalized R^h -recurrent Finsler space,” *International Journal of Innovation in Science of Mathematics*, vol. 4, no. 2, pp. 66–69, 2016.
- [15] E. S. Sevim, Z. Shen, and S. Ulgen, “On some Ricci curvature tensors in Finsler geometry,” *Mediterranean Journal of Mathematics*, vol. 20, article 231, 2023.
- [16] W. H. A. Hadi, *Study of certain types of generalized birecurrent in Finsler space*, Ph.D. dissertation, Univ. of Aden, Aden, Yemen, 2016.
- [17] H. Rund, *The Differential Geometry of Finsler Space*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1959; 2nd ed. (in Russian), Moscow: Nauka, 1981.
- [18] H. S. Ruse, “Three dimensional spaces of recurrent curvature,” *Proc. Lond. Math. Soc.*, vol. 50, pp. 438–446, 1949.
- [19] P. N. Pandey, S. Saxena, and A. Goswani, “On a generalized H-recurrent space,” *Journal of International Academy of Physical Sciences*, vol. 15, pp. 201–211, 2011.

AI in E-Learning: Exploring Challenges and Limitations A Literature Review

N. M. A. Munassar ⁽¹⁾
R. A. Gbr ^(1,*)

Received: 13/07/2025
Revised: 12/09/2025
Accepted: 13/09/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Department, College of engineering and computing, University of Science and Technology, Aden, Yemen

*Corresponding Author's Email: Ryadaligbr@gmail.com, r.gbr@student.ust.edu

AI in E-Learning: Exploring Challenges and Limitations A Literature Review

Ryad Ali Gbr

*IT Department, College of engineering and computing,
University of Science and Technology, Aden, Yemen*
Ryadaligbr@gmail.com, r.gbr@student.ust.edu

Nabil Mohammed Ali Munassar

*IT Department, College of engineering and computing,
University of Science and Technology, Aden, Yemen*
n.munassar@ust.edu

Abstract— This study addresses the critical challenge of water scarcity and high energy costs impacting agricultural productivity in regions like Abia State, Nigeria, by proposing a sustainable solar photovoltaic (SPV) irrigation pumping system. The objective was to design and evaluate an SPV system for underground irrigation at the National Root Crops Research Institute (NRCRI), Umudike, and ensure a reliable water supply for its 5-hectare farmland. The methodology involved determining pump energy demand (36.3 kWh/day), applying three distinct SPV component sizing methods for cross-validation, and performing robust stochastic reliability and temperature-adjusted performance analysis using Monte Carlo simulation. Key results indicate that a system with 36 solar panels, 24 batteries, and a 6.0 kVA inverter can consistently meet the daily energy demand. The stochastic analysis demonstrated that while monthly solar deficits can be high in certain periods (e.g., 99.9% in August), even minimal (e.g., 1 day) battery autonomy drastically reduces the probability of energy shortfall. This research provides a practical and resilient framework for off-grid agricultural irrigation in sun-rich developing regions.

Keywords— solar photovoltaic design, submerged irrigation pump, agricultural farmland, performance ratio, Monte Carlo simulation, economic feasibility.

I. INTRODUCTION

Integrating artificial intelligence (AI) into e-learning is increasingly essential for enhancing learning experiences, as it leverages advanced technologies to make education more effective and relevant. AI tools have shown great potential in offering personalized learning paths tailored to individual needs, delivering instant feedback, and providing real-time progress tracking. They have also enabled the creation of flexible and adaptable educational content that aligns with the unique preferences of each learner (Mahmudi et al., 2023; Radev & Hamid, 2024). While these innovations have significantly boosted student engagement, the practical implementation of AI still faces notable challenges.

The COVID-19 pandemic played a major role in accelerating the adoption of AI in digital education. It also brought to light both the advantages and concerns associated with AI technologies. On one hand, AI-powered platforms offer students remarkable flexibility, allowing them to learn anytime and anywhere (Oubalahcen et al., 2023). On the other hand, several ethical issues have emerged, including concerns over data privacy and protection, questions about accountability and transparency, the potential negative impact of AI on the teaching profession, and algorithmic biases that may lead to unfair assessments (Saqr et al., 2024; Edirisingha, 2024).

In addition to ethical concerns, there are technical limitations that hinder the full effectiveness of AI in education. One such issue is the "cold start" problem in recommendation systems,

where the lack of prior user data makes it difficult to offer meaningful suggestions to new learners. Moreover, the shortage of high-quality data needed to train AI models reduces the ability of these systems to deliver accurate and personalized learning experiences (Oubalahcen et al., 2023; Rudd, 2024).

Regarding social concerns, the increasing reliance on AI tools in the assessment and feedback process has sparked ongoing debates and significant concerns about the fairness and academic integrity of these assessments (Ankerstein, 2024). A number of social challenges have also emerged, perhaps the most significant of which are teachers' resistance to change and their fear of losing their jobs. In addition, there are various cultural barriers and questions about the ability of AI systems to assess complex student work with the same accuracy as human teachers. Furthermore, the inability of everyone to access technology, which leads to inequality in the educational process, is also a factor.

As for the potential for AI to completely replace the human element in education, this is another obstacle to its integration into e-learning, no less significant than the previous ones. While AI provides immediate feedback and personalized learning paths, it falls short in fostering critical thinking, creativity, and emotional intelligence, all of which are vital for inclusive education (Edirisingha, 2024). Important questions also arise about the characteristics of AI and its applications in education, and the challenges and obstacles they face. These include: Should AI be considered a complementary part of teachers' roles, or should it completely replace some teaching responsibilities? A key question that arises is how AI-powered e-learning platforms can be developed in a way that serves both students and educators fairly and effectively.

This research explores the main challenges and limitations arising from the integration of artificial intelligence into e-learning. It then groups these challenges and categorizes them into key categories. This study aims to identify practical solutions that can help improve the implementation of AI-based e-learning. It seeks to address the following research question: *What are the key challenges preventing the effective integration of artificial intelligence into e-learning systems?*

II. LITERATURE REVIEW

The integration of artificial intelligence (AI) into e-learning environments has introduced significant enhancements, including personalized learning paths, adaptive content delivery, and real-time feedback (Mahmudi et al., 2023; Radif & Hameed, 2024). These innovations promise more flexible, engaging, and effective educational experiences. However, despite these potential benefits, the adoption of AI in digital education is constrained by multiple

interrelated barriers. The literature highlights four major categories of challenges: technical, ethical, social, and cost-related. Understanding these challenges is essential for developing AI systems that are both effective and equitable.

A. Technical Challenges

Technical limitations remain a central obstacle to the effective integration of AI in e-learning. A primary issue is the shortage of high-quality data, which undermines AI models' ability to deliver accurate and reliable outcomes (Oubalahcen et al., 2023). In addition, adapting AI systems to diverse educational contexts is challenging, as one-size-fits-all solutions often fail to meet local needs. Infrastructure deficiencies, such as unreliable internet access and inadequate digital devices, particularly in rural or underserved areas, further hinder the accessibility of AI-based platforms (Yahya Jasim & Luay Abdulkhaleq, 2021; Abdulkaleq & Jasim, 2021). Moreover, the "cold start" problem in recommendation systems, which arises from insufficient prior user data, limits the ability of AI to provide meaningful guidance to new learners (Oubalahcen et al., 2023). Collectively, these technical barriers emphasize that both system readiness and contextual adaptation are critical for successful AI integration.

B. Ethical Challenges

Ethical concerns are equally important in constraining AI adoption in education. Key issues include data privacy, algorithmic bias, and the potential displacement of teachers (Saqr et al., 2024; Edirisingha, 2024). Biased algorithms and poor-quality data can lead to unfair assessment outcomes, while inadequate protection of sensitive student data raises risks of misuse or unauthorized access. Several studies emphasize the necessity of implementing robust governance mechanisms, transparent data handling, and secure infrastructure to ensure that AI-supported education is both trustworthy and fair (Edirisingha, 2024; Saqr et al., 2024).

C. Social Challenges

Social barriers encompass resistance from instructors and learners, particularly in regions with limited technological literacy (Rohde et al., 2024). Many students perceive AI-based learning as less beneficial than traditional instruction due to the lack of direct human interaction (Yahya Jasim & Luay Abdulkhaleq, 2021). Cultural and linguistic diversity further complicates adoption, as AI systems may struggle to accurately interpret and evaluate complex student work in multilingual or multicultural environments (Edirisingha, 2024). Teacher training emerges as a critical factor in overcoming these barriers, ensuring that AI tools enhance rather than diminish instructional effectiveness (Radif & Hameed, 2024). Overall, social challenges highlight the need for inclusive strategies that account for both technological and human factors.

D. Cost-Related Challenges

Financial constraints constitute a significant barrier to AI adoption in e-learning. Developing, maintaining, and updating AI systems require substantial investment, which is often beyond the capacity of institutions in emerging or under-resourced countries (Yahya Jasim & Luay Abdulkhaleq, 2021; Rudd, 2024). The high costs associated

with AI infrastructure, coupled with the resource demands of high-quality data and contextual adaptation, exacerbate inequalities between well-funded and resource-limited institutions. Addressing cost-related challenges is therefore essential to promote equitable access to AI-driven educational tools.

E. Challenges Related to Human Interaction

Human interaction is a core component of effective learning, yet AI remains unable to replicate the nuance of teacher-student engagement (Radev & Hamid, 2024). Excessive reliance on AI may diminish teachers' influence, potentially impairing students' emotional and social development. This limitation is particularly critical in professions requiring collaboration and hands-on practice, where interpersonal skills and real-time human feedback are essential (Edirisingha, 2024). Recognizing this challenge underscores the importance of positioning AI as a complementary, rather than substitutive, element in education.

F. Challenges in Ensuring Equity and Accessibility

Ensuring equitable access to AI-powered e-learning is another pressing challenge. Students in rural or underserved regions often face limited access due to inadequate infrastructure, weak connectivity, and lack of essential devices (Abdulkaleq & Jasim, 2021). Furthermore, AI systems frequently fail to accommodate students with special educational needs, exacerbating social exclusion in digital education (Rudd, 2024). These findings highlight the urgent need for inclusive policies and adaptive technologies that address disparities in access.

G. Synthesis of Literature

Collectively, the reviewed literature demonstrates that while AI has transformative potential in e-learning, its effectiveness is constrained by intertwined technical, ethical, social, and financial challenges. Addressing these barriers requires integrated strategies that combine technological innovation, ethical governance, teacher training, and equitable access measures. Understanding these challenges provides a foundation for designing AI-based systems that are effective, inclusive, and responsive to diverse educational contexts.

III. METHODOLOGY

This study employs a descriptive research methodology to systematically explore and analyze the challenges associated with AI-based e-learning systems. The methodology involves three main stages: literature search, selection, and synthesis.

A. Literature Search

Relevant academic sources were identified through a comprehensive search of major databases, including Scopus, IEEE Xplore, and Google Scholar. Keywords used included "artificial intelligence in e-learning", "AI integration challenges in education", and "limitations of AI in digital learning". Boolean operators and filters were applied to refine the search and ensure relevance.

B. Selection Criteria

The study focused on publications from 2020 to 2025 to capture the latest advancements in AI for e-learning. Only peer-reviewed journal articles, conference papers, and credible reports published in English were included. Articles

that exclusively discussed the benefits of AI, without addressing challenges or limitations, were excluded.

C. *Data Extraction and Synthesis*

After screening for relevance, the selected studies were reviewed in detail. Key findings were extracted and categorized into four main types of challenges: technical, ethical, social, and cost-related. The categorization process enabled the identification of recurring themes and patterns across the literature. Critical analysis was applied to compare findings, highlight gaps, and synthesize insights from multiple sources.

This structured approach ensures that the study is replicable, transparent, and comprehensive, providing a clear overview of the barriers to effective AI integration in e-learning systems.

This study thus limits its scope to English-language, peer-reviewed journal articles, conference papers, and credible reports published between 2020 and 2025, retrieved from Scopus, IEEE Xplore, and Google Scholar. This explicit delimitation ensures the study's focus on recent, valid, and high-quality scholarly contributions.

IV. RESULTS

The analysis of the reviewed literature reveals several key challenges in the integration of AI into e-learning systems. These challenges can be grouped into four main categories: technical, ethical, social, and cost-related, with additional considerations regarding equity and human interaction. The following subsections summarize the main insights derived from the literature.

A. *Technical Challenges: Insights from Literature*

Studies consistently indicate that technical limitations hinder the effective implementation of AI in e-learning. Key issues include the lack of high-quality data, difficulties in adapting AI systems to diverse educational contexts, and infrastructure deficiencies such as unreliable internet access and inadequate digital devices in rural or underserved areas (Oubalahcen et al., 2023; Yahya Jasim & Luay Abdulkhaleq, 2021). Moreover, the "cold start" problem in recommendation systems reduces the ability of AI platforms to provide meaningful guidance to new learners (Oubalahcen et al., 2023). Collectively, these findings highlight that successful AI integration requires both robust technical infrastructure and context-sensitive system design.

B. *Ethical Concerns: Statistics & Findings*

The literature emphasizes several ethical barriers that constrain AI adoption. Concerns over data privacy, algorithmic bias, and potential displacement of teachers are frequently mentioned (Saqr et al., 2024; Edirisingha, 2024). Biased algorithms or poor-quality data can result in unfair

assessments, while insufficient protection of sensitive student information raises the risk of misuse. Researchers advocate for robust governance mechanisms, secure data handling, and transparent AI practices to ensure ethical, trustworthy, and equitable AI-supported education.

C. *Social Barriers: Statistics & Findings*

Social challenges emerge from resistance among instructors and students, particularly in contexts with limited technological literacy (Rohde et al., 2024). Students often perceive AI-based learning as less effective than traditional instruction due to reduced direct interaction with teachers (Yahya Jasim & Luay Abdulkhaleq, 2021). Cultural and linguistic diversity also complicates AI adoption, as systems may struggle to interpret and evaluate complex student work in multilingual or multicultural environments (Edirisingha, 2024). Teacher training is highlighted as a critical enabler for successful AI integration, ensuring that AI tools enhance rather than replace instructional effectiveness (Radif & Hameed, 2024).

D. *Cost and Accessibility Issues: Statistics & Findings*

Financial constraints are frequently cited as a barrier to AI adoption in e-learning. Developing, maintaining, and updating AI systems demands significant resources, often beyond the capacity of institutions in emerging or under-resourced countries (Yahya Jasim & Luay Abdulkhaleq, 2021; Rudd, 2024). These financial challenges, combined with the demands of high-quality data and context-specific system adaptation, exacerbate inequalities between well-funded and resource-limited institutions.

E. *Challenges in Human Interaction*

The literature emphasizes that human interaction is a core component of learning. Excessive reliance on AI may diminish teacher influence, potentially affecting students' emotional and social development, particularly in professions requiring collaboration and practical skills (Radev & Hamid, 2024; Edirisingha, 2024). AI is therefore best positioned as a complementary tool, supporting but not replacing the human element in education.

F. *Equity and Accessibility Challenges*

Ensuring equitable access to AI-driven e-learning platforms remains a pressing concern. Students in rural or underserved areas often face limited access due to inadequate infrastructure and digital devices (Abdulkaleq & Jasim, 2021). Moreover, AI systems frequently fail to meet the needs of students with special educational needs, further contributing to social exclusion (Rudd, 2024). Addressing these disparities requires inclusive policies, adaptive technologies, and targeted interventions.

Table 1. Summary of Key Challenges in AI Integration into E-Learning

Challenge Category	Main Issues Identified	Representative Sources
Technical Challenges	Lack of high-quality data; cold start in recommendation systems; infrastructure gaps (internet, devices).	Oubalahcen et al., 2023; Yahya Jasim & Abdulkhaleq, 2021
Ethical Concerns	Data privacy risks; algorithmic bias; unfair assessments; risk of teacher displacement.	Saqr et al., 2024; Edirisingha, 2024
Social Barriers	Resistance from teachers/students; low digital literacy; reduced teacher–student interaction; cultural/linguistic complexity.	Rohde et al., 2024; Yahya Jasim & Abdulkhaleq, 2021; Radif & Hameed, 2024
Cost-Related Challenges	High costs of AI system development, maintenance, and adaptation; inequalities across institutions.	Yahya Jasim & Abdulkhaleq, 2021; Rudd, 2024
Human Interaction	Over-reliance on AI may reduce teacher influence; risks to emotional/social development.	Radev & Hamid, 2024; Edirisingha, 2024
Equity & Accessibility	Limited access in rural/underserved areas; inadequate support for students with special needs.	Abdulkaleq & Jasim, 2021; Rudd, 2024

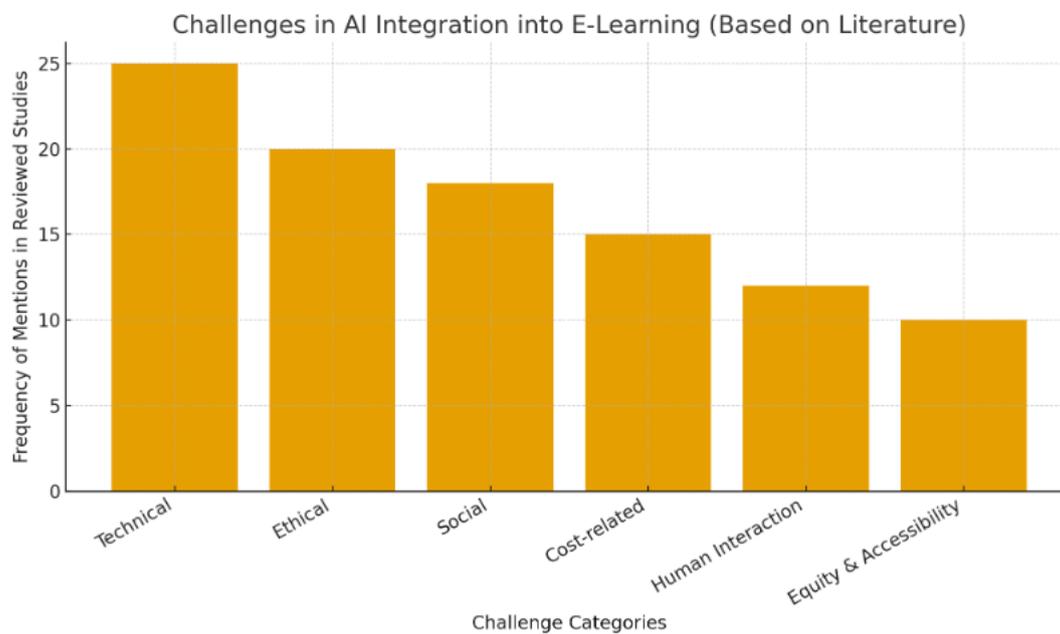


Figure 1. Summary of Key Challenges Identified in Reviewed Literature

V. DISCUSSION

The findings of this study highlight that while AI offers substantial opportunities for personalized and adaptive learning, its adoption in e-learning remains hindered by multiple barriers. The digital divide emerged as one of the most critical challenges. This divide is not only a matter of lacking internet connectivity or devices but also reflects broader socioeconomic inequalities that disadvantage students in rural and low-income communities. Without addressing these structural issues, AI-driven e-learning risks reinforcing existing educational inequities rather than bridging them.

Algorithmic bias presents another layer of concern. Biases in training data and model design can perpetuate unfair outcomes in student assessments and recommendations. Addressing this challenge requires more than institutional policies; it demands technical interventions such as transparent algorithm design, diverse and representative datasets, and regular auditing of AI systems. In this way,

fairness in AI use becomes a shared responsibility between developers, educators, and policymakers. Ethical and privacy issues further complicate AI adoption. Students’ personal data, when used without adequate safeguards, can lead to breaches of trust and discourage engagement with AI systems. Hence, ethical frameworks and stronger regulatory mechanisms are necessary to balance innovation with accountability.

Lastly, the cost dimension highlights that the benefits of AI are unevenly distributed. High implementation costs limit access to advanced AI tools, particularly in developing contexts. Therefore, collaborative initiatives between governments, educational institutions, and technology providers are crucial to ensure scalable and affordable AI solutions. By situating these challenges within broader social, technical, and ethical contexts, this discussion underscores the need for a multi-stakeholder approach that views AI not merely as a technological innovation but as a transformative educational reform requiring careful governance.

VI. CONCLUSION & RECOMMENDATIONS

This research has shown that the integration of AI into e-learning is limited by technical, ethical, social, and financial challenges. To address these barriers, several actionable recommendations are proposed:

1. Infrastructure investment to reduce the digital divide and ensure equal access.
2. Comprehensive teacher training to equip educators with the skills to integrate AI effectively.
3. Robust ethical and legal frameworks to safeguard fairness, transparency, and data privacy.
4. Affordable AI solutions tailored to resource-limited contexts to enable wider adoption.
5. In conclusion, AI has the potential to reshape education, but its promise can only be realized if these challenges are addressed systematically through collaboration between policymakers, educators, and technology developers.

REFERENCES

- [1] Ahn, H. Y. (2024). AI-powered e-learning for lifelong learners: Impact on performance and knowledge application. *Sustainability (Switzerland)*, 16(20). <https://doi.org/10.3390/su16209066>
- [2] Alharbi, L. A. (2023). A systematic literature review on AI algorithms and techniques adopted by e-learning platforms for psychological and emotional states. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(2). www.ijacsa.thesai.org
- [3] Ankerstein, C. A. (2024). ChatGPT and me: Implementing and evaluating a custom GPT for written corrective feedback. **Ubiquity Proceedings*, 4*(1), 32. <https://doi.org/10.5334/uproc.154>
- [4] B, A. M. (n.d.). A comparative study of explainable AI techniques for bias mitigation and trust in e-learning recommendation systems. *Journal of Institutional Research*, 315.
- [5] Dogan, M. E., Goru Dogan, T., & Bozkurt, A. (2023). The use of artificial intelligence (AI) in online learning and distance education processes: A systematic review of empirical studies. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(5). <https://doi.org/10.3390/app13053056>
- [6] Edirisingha, P. (2024). Working with generative AI to support interactive learning and teaching: Reflections from the European Distance and E-Learning Conference in 2024. *Interactive Learning Environments*. Routledge. <https://doi.org/10.1080/10494820.2024.2414152>
- [7] Effendi, H., Hendriyani, Y., & Diva Humaira, J. (n.d.). The future of e-learning: Leveraging VR, AR, and AI for more effective and engaging learning experiences. [URL]
- [8] Gligorea, I., Cioca, M., Oancea, R., Gorski, A. T., Gorski, H., & Tudorache, P. (2023). Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: A literature review. *Education Sciences*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/educsci13121216>
- [9] Halkiopoulou, C., & Gkintoni, E. (2024). Leveraging AI in e-learning: Personalized learning and adaptive assessment through cognitive neuropsychology—A systematic analysis. *Electronics (Switzerland)*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/electronics13183762>
- [10] Hung, N. Q., Phung, T. K., Hien, P., & Thanh, D. N. H. (2021). AI and blockchain: Potential and challenge for building a smart e-learning system in Vietnam. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1022(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1022/1/012001>
- [11] Ince, F. (2021). Opportunities and challenges of e-learning in Turkey (pp. 202–226). <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7607-6.ch013>
- [12] Janakova, M., & Suchanek, P. (2023). AI influencing e-learning to optimize skills for business processes (pp. 69–77). <https://doi.org/10.34916/el.2023.15.06>
- [13] Kashive, N., Powale, L., & Kashive, K. (2021). Understanding user perception toward artificial intelligence (AI) enabled e-learning. *International Journal of Information and Learning Technology*, 38(1), 1–19. <https://doi.org/10.1108/IJILT-05-2020-0090>
- [14] Mahafdah, R., Bouallegue, S., & Bouallegue, R. (n.d.). Enhancing e-learning through AI: Advanced techniques for optimizing student performance. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs>
- [15] Mahmudi, A. A., Fionasari, R., Mardikawati, B., & Judijanto, L. (2023). Integration of artificial intelligence technology in distance learning in higher education. *Journal of Social Science Utilizing Technology*, 1(4), 190–201. <https://doi.org/10.70177/jssut.v1i4.661>
- [16] Modern tools for distance education: Information and analytical prospectus. (2023). *Futurity Education*, 233–247. <https://doi.org/10.57125/fed.2023.06.25.15>
- [17] Mohamed, A., & Alnaqbi, A. (n.d.). The role of using AI techniques in enhancing e-learning in the military education process. [URL]
- [18] Munir, S., Zaheer, M., & Ali, N. Z. (n.d.). Effectiveness of assessment tools used in open distance learning: Perspective of faculty members. *Pakistan Journal of Distance & Online Learning*, II.
- [19] Microsoft. (2023). *Microsoft Digital Defense Report 2023*. <https://www.microsoft.com/en-us/security/security-insider/threat-landscape/microsoft-digital-defense-report-2023>
- [20] Radev, M., & Hamid, O. M. (2024). AI-driven innovations in e-learning: Transforming educational

paradigms for enhanced learning outcomes. *Artseduca*, 38, 404–414. <https://doi.org/10.58262/ArtsEduca.3830>

[21] Rowad Al Aamal. (2023). AI in education: Benefits and challenges. *Rowad Al Aamal Report*.

[22] Rohde, N., Flindt, N., & Rietz, C. (2024). A case for AI to increase benefits and solve challenges of e-learning based on the experiences of pedagogical experts. *Proceedings of the International Conference on Advanced Research in Education, Teaching, and Learning*, 1(1), 115–126. <https://doi.org/10.33422/aretl.v1i1.209>

[23] Rudd, J. (2024). *A global perspective on data powering responsible AI in healthcare*. Springer. <https://doi.org/10.1007/s43681-023-00302-8>

[24] Oubalahcen, H., Tamym, L., & Driss El Ouadghiri, M. L. (2023). The use of AI in e-learning recommender systems: A comprehensive survey. *Procedia Computer Science*, 224, 437–442. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.09.061>

[25] Potode, M. A., & Manjare, M. P. (n.d.). E-learning using artificial intelligence. *International Journal of Computer Science and Information Technology Research*, 3. www.researchpublish.com

[26] Qahman, A. A., Zakaria, H. A. M. S., Dahlan, H. A., Hussin, M., Samra, Y. K. A., Aldaya, R. F., Din, R., & Othman, N. (2023). The adoption of AI-enabled adaptive e-learning environment in Palestinian schools: Integrating extended technology acceptance model and system success model. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 13(12). <https://doi.org/10.6007/ijarbs/v13-i12/20277>

[27] Qahman, A. I. A., Dahlan, H. A., Al-Zaqeba, M. H. li A., & Murad, A. (2025). AI-enabled adaptive e-learning systems adoption in conflict zone: Case study of Palestinian schools. *TEM Journal*, 14(1), 789–804. <https://doi.org/10.18421/TEM141-70>

[28] Radif, M., & Hameed, O. M. (2024). AI-driven innovations in e-learning: Transforming educational

paradigms for enhanced learning outcomes. *Artseduca*, 38, 404–414. <https://doi.org/10.58262/ArtsEduca.3830>

[29] Retracted: The role of machine learning in e-learning using the web and AI-enabled mobile applications. (2023). *Mobile Information Systems*, 1–1. <https://doi.org/10.1155/2023/9869840>

[30] Retraction: Examining the effectiveness of using adaptive AI-enabled e-learning during the pandemic of COVID-19 (Journal of Healthcare Engineering (2021), 3928326). (2023). *Journal of Healthcare Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/9853916>

[31] Robinson, B. (2024). Harnessing AI for structured learning: The case for objective-driven design in e-learning. *International Journal on E-Learning*, 23(4).

[32] Saqr, R. R., Al-Somali, S. A., & Sarhan, M. Y. (2024). Exploring the acceptance and user satisfaction of AI-driven e-learning platforms (Blackboard, Moodle, Edmodo, Coursera, and edX): An integrated technology model. *Sustainability (Switzerland)*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/su16010204>

[33] Silva, P. H. D. D., Sudasinghe, S. A. V. D., Hansika, P. D. U., Gamage, M. P., & Gamage, M. P. A. W. (2021). AI base e-learning solution to motivate and assist primary school students. *ICAC 2021 - 3rd International Conference on Advancements in Computing*, 294–299. <https://doi.org/10.1109/ICAC54203.2021.9671209>

[34] Sinha, M., Fukey, L. N., & Sinha, A. (n.d.). AI in e-learning. [URL]

[35] Stracqualursi, L., & Agati, P. (2024). Twitter users perceptions of AI-based e-learning technologies. *Scientific Reports*, 14(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56284-y>

[36] Szulc, J. (n.d.). Models of e-learning systems architecture using AI components. [URL]

[37] Yahya Jasim, B., & Luay Abdulkhaleq, A. (2021). College of Basic Education Researchers Journal (Issue 17).

An Optimized Hybrid Intelligent System for High-Accuracy Dewpoint Pressure Estimation

I. A. Farea (1,*)
A. A. Al-Gathe (2)
A. A. Kadi (3)
A. A. Aldambi (4)

Received: 09/08/2025
Revised: 01/09/2025
Accepted: 02/09/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Department of Oil and Gas Engineering, faculty of Engineering and IT, Emirates International University, Sanaa, Yemen.

² Department of Petroleum Engineering, Faculty of Engineering and Petroleum, University of Hadhramout, Al-Mukulla, Yemen.

³ Department of oil and gas Engineering, Faculty of Engineering and Computing, University of Science & Technology, Aden, Yemen.

⁴ Faculty of Science, Department of geology, University of Aden, Aden, Yemen

*Corresponding Author's Email: Farea3@ciu-edu.net

An Optimized Hybrid Intelligent System for High-Accuracy Dewpoint Pressure Estimation

Ibrahim A. Farea

Department of Oil and Gas Engineering,
faculty of Engineering and IT, Emirates
International University,

Sanaa, Yemen

Farea3@eiu-edu.net

Al-Gathe, Abdelrigeeb A

Department of Petroleum Engineering,
Faculty of Engineering and Petroleum,
University of Hadhramout, Al-

Al-Mukulla, Yemen

abdelrigeebi@yahoo.com

Abdulrahman A. Kadi

Department of oil and gas Engineering,
Faculty of Engineering and Computing,
University of Science & Technology,

Aden, Yemen

A.alkadi@ust.edu

Abdulla Ali Aldambi

Faculty of Science, Department of
geology, University of Aden Aden,
Yemen

aldambi69@gmail.com

Abstract— Dewpoint pressure (DPP) is a critical property of gas condensate reservoir development. Accurately estimating this property remains a significant challenge. Existing empirical correlations and iterative methods lack sufficient accuracy due to complexity and computational intensity. However, despite their utilization involving complex computations, they have not achieved sufficient accuracy. Several individual intelligent systems have been utilized to predict this property with good accuracy, but the application of hybrid models is less common. Therefore, this study proposes two hybrid intelligent models—Particle Swarm Optimization combined with Neural Networks (PSO-NN) and Neuro-Fuzzy (NFuzzy)—to enhance prediction accuracy of dewpoint pressure. Approximately 860 collected data points were used to develop these hybrid models. Inputs such as temperature (T), hydrocarbon composition, specific gravity, and molecular weight of heptane plus were utilized to predict the dewpoint pressure. In this study, the performance of both intelligent hybrid systems is compared to the most widely published Artificial Intelligence (AI) models. Based on statistical error analysis results, the new hybrid models outperform the published models. The results confirm that the PSO-NN hybrid model achieved the best performance with an absolute percent relative error (APRE) of 2.47%.

Keywords— *Artificial intelligence; Hybrid models; Neuro-Fuzzy; PSO-NN, Dewpoint Pressure*

I. INTRODUCTION

If the wellbore pressure falls below the dewpoint pressure, the productivity of gas condensate reservoirs decreases rapidly. One simulation model is employed to study this phenomenon, revealing the formation of liquid condensate around the wellbore. The saturation of this liquid gradually increases, leading to a rapid reduction in the gas's effective permeability. Consequently, well productivity experiences a sharp decline [18].

The dewpoint pressure (DPP) is a key property for identifying gas condensate reservoirs. Therefore, accurate determination of the dewpoint pressure in gas condensate reservoirs is essential. A variety of methods have been introduced for calculating DPP in gas condensate reservoirs, including intelligent systems, graphical methods [49], different correlations, and even EOS-based approaches. Dewpoint pressure can be predicted using empirical correlations developed from experimental measurements [21]. Additionally, although equations of state can be employed for predicting dewpoint pressure, they have been

reported to exhibit weak performance [46,47]. Devised an empirical correlation for calculating DPP. The impact of H₂S on DPP was investigated by [15], discovering that the volume of liquid decreased with increasing H₂S content using an empirical correlation. To develop an empirical correlation for DPP [24], collected gas-condensate data from western China. An empirical correlation for estimating DPP using data from gas-condensate reservoirs in the Middle East was devised [34]. Study [43] proposed a new empirical model specifically designed for estimating the dewpoint pressure. A new correlation for estimating DPP in gas condensates was introduced, and it was compared with existing correlations using 259 data sets [27]. Using 667 data samples [12] proposed a model based on multiple linear regressions. Although empirical correlations are commonly used for DPP prediction, their accuracy is limited due to dataset specificity and dependence on labor-intensive, costly experimental data. Consequently, various artificial intelligence techniques have been explored for dewpoint pressure prediction [53].

In petroleum engineering, the use of potent forecasting tools like artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) models has been steadily increasing since 2003.

An Artificial Neural Network (NN) model was developed [28] to predict the dewpoint pressure of condensate gas reservoirs using 802 data samples. Various ANN models for predicting DPP were proposed based on 111 data sets [5]. An ANN technique sourced from Middle East reservoirs was developed using 113 data points, which yielded the best results [6]. Additionally, ANN introduced models for predicting DPP [37, 38, 50].

To predict the dewpoint pressure of gas condensate [25, 48], they developed a fuzzy model. using gas composition and reservoir temperature. Various intelligent systems, including support vector machines, fuzzy logic, genetic algorithms, and artificial neural networks, were proposed to estimate DPP [3]. The GA-RBF technique for accurately predicting dewpoint pressure was established [45, 51]. The ANN-PSO model to estimate DPP was utilized [42]. A genetic programming model employed for DPP estimation [4, 36]. A novel empirical equation for estimating the K-value and calculating dew point pressure was formulated based on data from 81 gas condensate reservoir samples reported in prior studies [2].

Meanwhile, [19] utilized a hybrid modeling approach by integrating gene expression programming with multiple

regression techniques for predicting dew point pressure in gas condensate systems.

Numerous studies have introduced intelligent computational methods to estimate dew point pressure in gas condensate reservoirs. For instance, SVM, ANN, and Functional Networks (FN) were implemented in a novel predictive framework [39]. A fuzzy logic-based estimation model was presented in [10], while [30] combined thermodynamic

principles with hybrid intelligent systems to enhance prediction accuracy. In another effort, [32] utilized a dataset of 721 samples to develop ANN-based models, incorporating optimization algorithms such as Genetic Algorithms (GA) and Particle Swarm Optimization (PSO). Similarly, [13] employed a least squares support vector approach tailored to various condensate gas systems. Machine learning techniques also featured prominently in [41], which focused on advanced DPP forecasting models. The Multilayer Perceptron (MLP) model proposed by [16], built on 80 data points, demonstrated high precision with an AARD of just 1.553%. Additional models were constructed using 681 publicly available samples by researchers in [23, 29, 33, 40, 44], and [22] applied ANN to a dataset of 141 entries to estimate dew point pressure effectively.

From the above searches, many iterative methods or empirical correlations have been utilized to predict DPP. However, these correlations are more complex, including a large number of factors, which require longer and more complicated calculations. In addition, the precision of these correlations has become inadequate for optimal estimations due to their limitations [20]. Thus, hybrid intelligent systems are employed to overcome these challenges as well, and these hybrid models are rarely applied in this field, and that is why we do our research.

Fluid properties (e.g., viscosity, bubble point pressure, and formation volume factor) have been effectively calculated using hybrid intelligence models, such as Particle Swarm Optimization Neural Networks (PSO) and Neuro-Fuzzy (NFuzzy) systems.

For instance, [26, 31] utilized a PSO-based approach, while [14] employed an NFuzzy model. Similarly, [7-9] demonstrated the effectiveness of combining PSO and NFuzzy methods in this domain.

The objective of this work is to develop a robust model for accurate dewpoint pressure estimation. To achieve this, two hybrid models, NFuzzy and PSO, were developed to enhance DPP estimation beyond existing approaches.

II. METHODS AND PROCEDURES

A. Particle swarm optimization

PSO is an optimization algorithm based on swarm movement developed by [17]. The PSO algorithm generates a swarm of particles with random positions and speeds in the search space. A statistical activation fit function is used to assess these particles by [52]. The optimal solutions are obtained by optimizing the birds' movement.

The following steps describe how the PSO algorithm runs:

1. The PSO algorithm starts by dispersing a collection of particles throughout the solution area at random.

2. These particles move through the space with certain velocities, iteratively attempting to converge toward the optimal global position, referred to as *gbest*.
3. Each particle modifies its velocity in each iteration within the N-dimensional problem space according to three factors: the swarm's globally best location (*gbest*), its individual best-known position (*pbest*), and its previous velocity.
4. The fundamental principle of PSO involves guiding each particle to accelerate toward both its own best location and the swarm's best-known position, using randomly scaled influence factors at each step.

Fig. 1 depicts the particle flying model. For more detailed descriptions of the PSO technique, refer to [1,17].

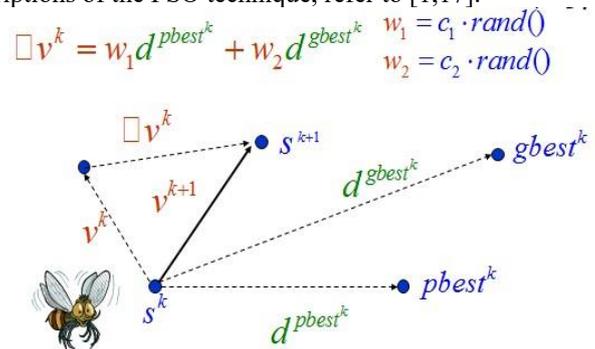


Fig.1 shows particle flying model

B. Development of PSO-ANN model

While Artificial Neural Networks (ANNs) exhibit high accuracy in handling nonlinear problems, they also possess several weaknesses. These include difficulties in figuring out the right number of hidden layers and neurons, delayed convergence, and a propensity to become stuck in local minimum points. The particle swarm optimization approach is frequently used to optimize the ANN model's weights in order to overcome these problems. PSO is renowned for its strong search skills, which allow it to quickly converge and avoid local minimum spots.

Combining the PSO algorithm with the ANN model is essential for achieving faster convergence and higher accuracy. Moreover, this combination can help overcome the weaknesses inherent in both algorithms. This combined model is referred to as the PSO-ANN model. The PSO algorithm rapidly achieves convergence during the initial stages of a global search, whereas around the global optimum, the search process will become very slow. Consequently, integrating NN and PSO can reach faster convergent speed around the global optimum and increase the convergent accuracy at the same time.

The PSO-ANN model operates in two steps. In the first step, PSO is applied to obtain the optimal weights of the networks. In the second step, the ANN model is then utilized to learn the rules and further adjust the weights. Fig. 2 illustrates the learning process steps of the PSO-ANN. First, the neural network initializes its weights and biases as random particles positioned within the problem space. The dimensions of this space correspond to the number of weights and thresholds requiring optimization. Next, the process applies a BP

algorithm to the initial connection weights and thresholds established by the PSO. Finally, for each particle, the system

calculates its velocity and updates its position. Then, the PSO algorithm adjusts the NN parameters, and the adopted

feedforward neural network has one hidden layer. The optimal first hidden layer uses tansig as a transfer function, whereas the other output transfer function is purelin.

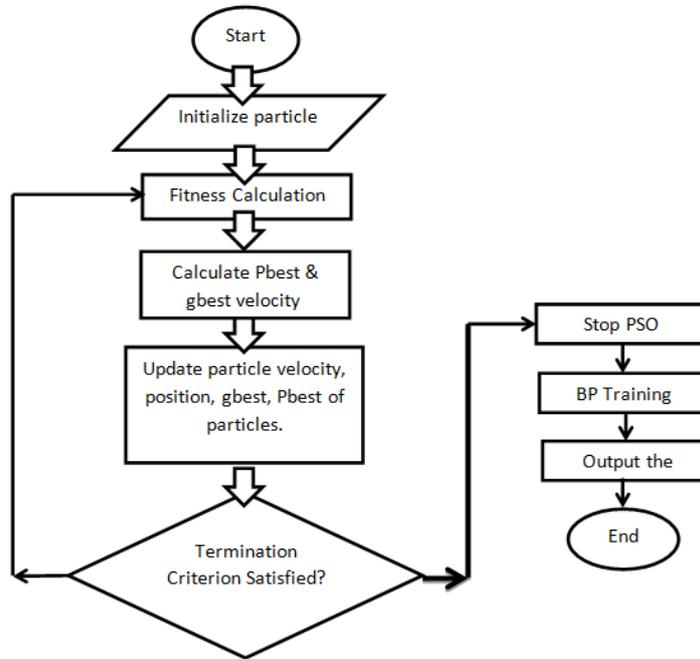


Fig. 2 The fundamental process of PSO.

C. Development of NFuzzy model

The NFuzzy model is the same as the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) in this study. The NFuzzy model uses conditional functions to select parameters by combining fuzzy logic and artificial neural networks.

This hybrid model combines fuzzy and ANN techniques during the training stage to enhance learning capabilities, as described by [35].

In general, the NFuzzy model utilizes Subtractive Clustering type functions, specifically genfis2, to estimate dewpoint pressure. Additionally, the final configuration of the NFuzzy model can be adjusted to minimize computational errors.

III. DATA ACQUISITION

A comprehensive database of approximately 860 samples compiled from literature and experimental studies was used. This dataset includes 579 measured data points obtained from a thesis [46, 47], another 254 measured data points collected from the Middle East field, and 27 data points extracted from literature, as documented by [19]. Notably, this database is larger than those used in previous studies. To ensure data integrity, the collected samples underwent thorough preprocessing steps. These steps involved checking

for data consistency, identifying and removing duplicate entries, and addressing any missing values. This meticulous data preparation process was crucial for minimizing uncertainties in subsequent computations, as emphasized by [44].

Table 1 depicts the ranges of all gas condensate parameters. The input of these data includes the temperature, molecular weight, and specific gravity of heptane plus (C7+), and the fluid composition (C1–C7+, CO₂, H₂S, N₂) of the model, and the output is dewpoint pressure. Data were split 70% for training and 30% for testing.

In addition, the database was normalized to avoid numerical difficulties during the computations. The total data is scaled among 0 and 1 by the following formula:

$$NX = \frac{(\text{Input} - \text{Input}_{\min})}{(\text{Input}_{\max} - \text{Input}_{\min})} \quad (1)$$

Where NX is the normalized output data, Input_{max}, Input_{min}, are the maximum and minimum of data respectively and Input is the original data. Statistical error analysis was used to check the performance and accuracy of those presented models.

TABLE 1. DEPICTS THE RANGES OF GAS CONDENSATE DATABASE

Parameters	Min.	Max.	Mean
Dewpoint pressure, psi	790	11830	4597.7
Reservoir temperature, oF	40	337	202.83
Molecular weight C7+, MWC7+	0	253	146.02
Specific gravity C7+, SGC7+	0	0.89342	0.777
Methane, C1	0.0349	0.9668	0.804
Ethane, C2	0.0037	0.604	0.059
Propane, C3	0.0011	0.19	0.030
Butane, C4	0.0017	0.375	0.023
Pentane, C5	0	0.123	0.012
Hexane, C6	0	0.0977	0.010
Heptane plus, C7+	0	0.153	0.035
Hydrogen Sulfide, H2S	0	0.579	0.007
Carbon dioxide, CO2	0	0.9192	0.017
Nitrogen, N2	0	0.4322	0.009

The models' performance was assessed using statistical metrics including Absolute Percent Relative Error (APRE), Root Mean Squared Error (RMSE), standard deviation, and correlation coefficient (CC), as shown in Table II.

TABLE 2. TYPE OF ERROR ANALYSIS USED IN THIS STUDY

Type of Error	Formula
Residual Error	$E_i = Y - Y_{pred}$
Correlation Coefficient	$CC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y - \bar{Y})^2}$
Root Mean Square Error	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i)^2}$
Absolute Percent Relative Error	$APRE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{ E_i }{Y}$
Standard Deviation	$SD = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}_i)$

IV. RESULTS AND DISCUSSION

Two hybrid models of intelligent systems were created for this study in order to calculate dewpoint pressure. This section discusses the NFuzzy and PSONN models developed for calculating the dewpoint pressure. Furthermore, the accuracy and performance of these models were compared with commonly used dewpoint determination models presented in the literature.

A. Hybrid PSONN Model

An ANN was constructed with a single hidden layer comprising 25 neurons. Subsequently, the PSO algorithm was employed to adjust the weights and biases of the network. Additionally, the ANN model was utilized to train the network. The number of dimensions in the PSO technique corresponds to the number of weights of the network, which is contingent upon the network architecture and input data.

The optimal configuration of the PSONN model is presented in Table 3.

TABLE 3. SHOWS THE OPTIMAL PSONN METHOD CONFIGURATION.

Maximum iteration	200
Number of particles	200
Dimension's	376
Inertia weight (w)	0.8
Maximum velocity, (v)	3
Cognitive parameter (c1)	0.1
Social parameter (c2)	1

The dimensions of PSO algorithm were determined using Equation (2).

$$X = (H \cdot HO) + (I \cdot HI) + H_{bias} + O_{bias} \quad (2)$$

Following adjustments to the ANN model's weights and biases, Fig. 3 displays the PSO technique's performance. The ANN model's structure and performance are shown in Figs. 4 and 5, respectively. For the training and testing datasets, Fig. 6 displays a cross-plot illustrating the relationship between the predicted and actual dewpoint pressures by the PSONN model. Table 4 also presents the results of the error analysis for the PSONN model. The model achieved a correlation coefficient of 0.99 and an APRE of 2.47%. Convergence and scatter plots demonstrate strong predictive accuracy.

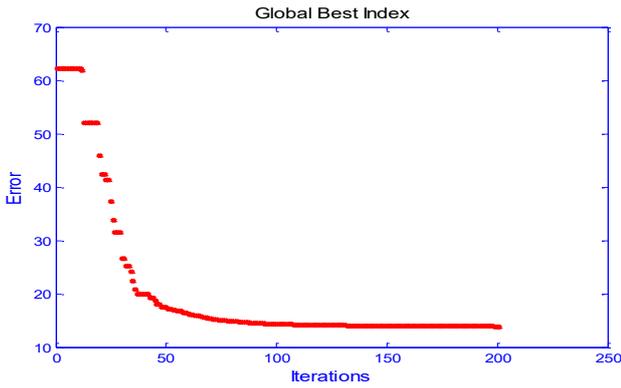


Fig. 3. Comparison of optimization strategies based on convergence.

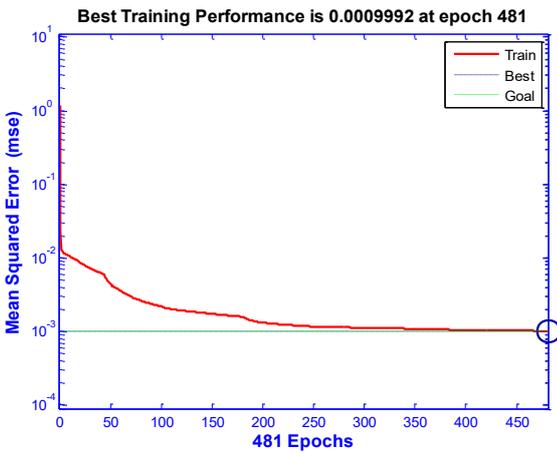


Fig. 4. Convergence of the Particle Swarm Optimization Neural Network during training.

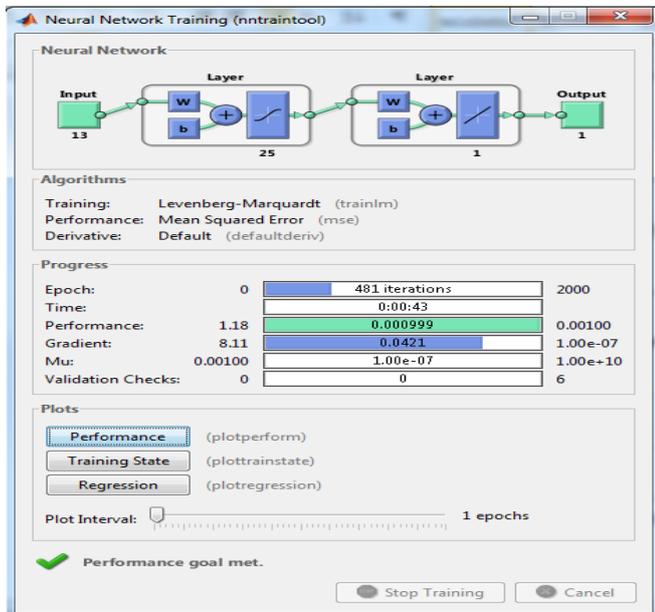


Fig. 5 Training accuracy and loss over epochs for the neural network on Dataset.

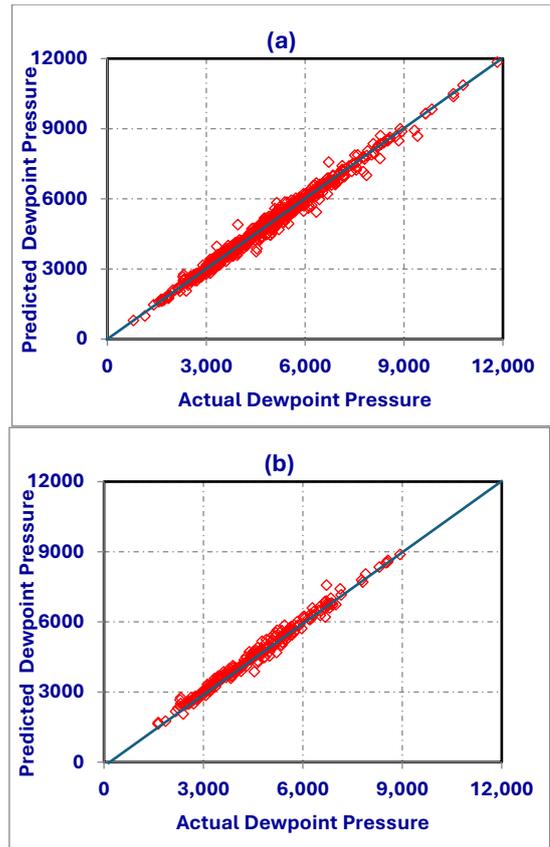


Fig. 6. Scatter plot comparing the PSONN model's predicted values against the actual values-(a)-Training data, (b)-Testing data

B. NFuzzy Model

The NFuzzy model was utilized with various radii to predict the dewpoint pressure of condensate gas. Subsequently, the predicted correlation coefficient and absolute percent relative error were plotted against these radii. The most suitable radius was identified as the one yielding the maximum correlation coefficient and the minimum average percentage relative error. As shown in Fig. 7, a radius of 0.25 produced the highest CC value (0.97) and the lowest APRE (5.86%). Fig. 8 shows the number of NFuzzy model rules, and Fig. 9 shows a cross-plot of the actual dewpoint pressure for both the training and testing phases against the projected values derived from the NFuzzy model. For both training and testing datasets, the accuracy results of the NFuzzy model are summarized in Table 4, which displays a prediction error of 8.78% and a correlation coefficient of 0.970.

Table 4 also presents a comparison between the NFuzzy and PSONN models, demonstrating that the PSONN model outperforms the NFuzzy model. Table 6 shows the good prediction performance of PSONN models for both training and testing datasets.

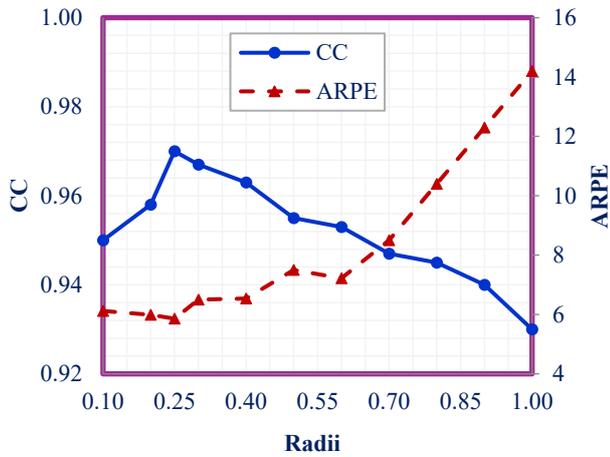


Fig. 7 displays the optimal radii for NFuzzy model.

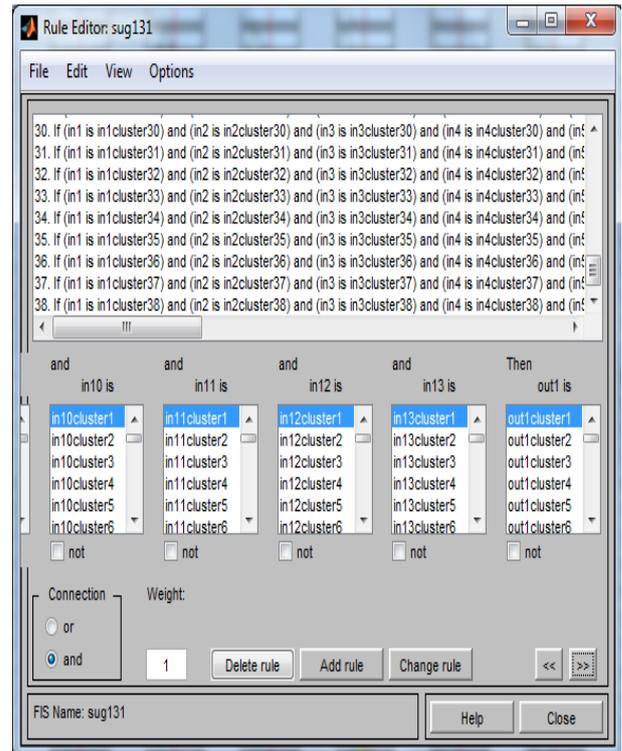


Fig. 8. Depicts of number of NFuzzy model rules

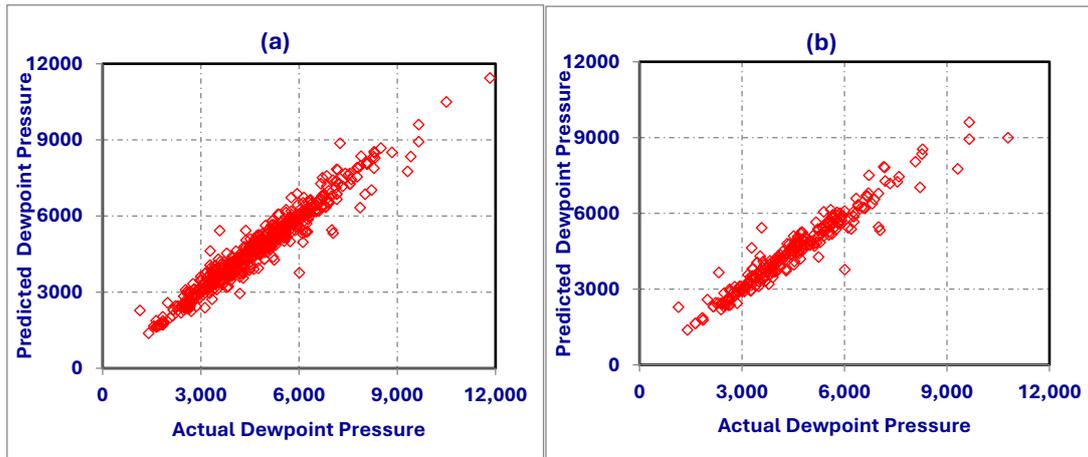


Fig. 9. Shows the cross-plot of NFuzzy model. (a) Training dataset; (b) Testing dataset

TABLE 4. STATISTICAL ERROR ANALYSIS OF BOTH PROPOSED MODELS

Parameters	NFuzzy Model		PSOANN Model	
	Abs. Error	APRE %	Abs. Error	APRE %
Maximum	2241.4	59.48	936.9	23.66
Minimum	0.42	0.01	0.02	0.00
Average	259.3	5.86	110.6	2.47
Standard Deviation	290.7	6.54	127.9	2.76
Root Mean SQR Error	8.78		3.70	
Correlation Factor	0.97		0.99	

C. Comparison between Hybrid models and published Models

Table 5 provides a comparison between 24 published AI models and the proposed models for predicting dewpoint pressure, organized according to the year of publication, utilized models and methods, number of data samples, and Absolute Percent Relative Error. This table presents a diverse range of AI techniques employed by various authors, including GA-ANN, RBF, MLP, ANN, LSSVM, ANFIS, MGGP, and SVM, along with the respective number of data samples utilized in each study. Although the models in [16, 39] were developed using comparatively smaller datasets, they still delivered remarkably low APREs of 2.41% and 1.55%, respectively. Meanwhile, the model in [51] demonstrated a commendable APRE of 3.660% when applied to a larger dataset comprising 562 samples. However, this model exhibited a significant

disparity between training and testing performance, with APREs of 1.997% and 10.287%, indicating inconsistency in predictive accuracy. In studies [30] and [44], various AI techniques were applied to relatively large datasets consisting of 632 and 681 samples. Among the models tested, the most effective ones achieved APRE values of 5.701 and 3.4698, respectively. In contrast, although datasets in [28] and [23] were even larger—comprising 802 and 789 samples—their models produced higher APREs of 8.64 and 9.35, suggesting comparatively reduced predictive accuracy. In this study, we employed the largest databases to develop two hybrid models (NFuzzy and PSONN). Among 24 published AI models, the proposed hybrids—especially PSONN—outperform earlier methods in accuracy and dataset size. PSONN achieves a superior balance of generalization and predictive performance across training and testing phases, as shown in Table 5.

TABLE 5. COMPARES APRE VALUES ACROSS PUBLISHED MODELS FOR PREDICTING DPP.

Index	Year	Reference	Method	N	AARD (%)
1	2003	Gonzalez	MLP	802	8.64
2	2009	Nowroozi	ANFIS	110	5.13
3	2013	Arabloo	CSA-LSSVM	562	6.3
4	2013	Kaydani	LM-MLP	100	5.84
5	2013	Ghassemzadeh	ANFIS	111	10.52
6	2014	Ahmadi	LSSVM	404	5.02
7	2014	Majidi	MLP	562	6.802
8	2014	Rostami	GA-RBF	562	3.66
9	2015	Rabiei	ANN	308	3.1315
10	2016	Kamari	GEP	562	7.9
11	2016	Kaydani	MGGP	158	4.44
12	2016	Khaksar	PSO-MKF-SVM	N.A.	3.513
13	2016	Najafi	GA-RBF	564	7.3
14	2017	Ahmadi	GEP	N.A.	8.1
15	2018	El-hoshoudy	GEP	480	6.72
16	2018	Zhong	PSO-MKF-SVM	568	7.01
17	2019	Khan	ANN	82	2.41
18	2020	Ali	ANFIS	168	N.A.
19	2020	Daneshfar	MLP	81	1.553
20	2020	Haji-Savameri	MLP-BR	632	5.701
21	2021	Mirzaie	AI	681	3.4698
22	2022	Gouda	ANN	N.A.	N.A.
23	2022	Luo	GA-ANN	721	N.A.
24	2023	Zohre	DT	789	9.35
25	2024	This study	NFuzzy	860	5.86
26	2025	This study	PSONN	860	2.47

Compared to 24 AI models from the literature—which vary in dataset size (81 to 802 samples) and APRE range (1.55% to >9%)—the proposed hybrid models, developed on the largest dataset (860 samples), achieve superior prediction accuracy with PSONN exhibiting an APRE of 2.47%,

demonstrating improved generalization against previous methods.

TABLE 6. Estimation errors for predicting the DPP using NFuzzy and PSONN models.

Database	NFuzzy Model	PSONN Model	Data Samples
	APRE%	APRE%	
Training Data	5.84	2.37	602
Testing Data	5.89	2.68	258
All Data	5.86	2.47	860

V. CONCLUSIONS

- The proposed PSONN model achieved state-of-the-art predictive accuracy, with an APRE of 2.47% and a correlation coefficient of 0.99, surpassing all previous AI-based models for DPP prediction.
- The hybridization of Particle Swarm Optimization with an Artificial Neural Network successfully synergized the strengths of both algorithms, overcoming their individual limitations to produce a more robust and accurate model.
- Both introduced models demonstrated a well-balanced performance between training and testing phases, indicating a high generalization capability and a low risk of overfitting.
- The use of a larger, more comprehensive dataset compared to prior studies significantly improves the reliability and validity of the model's results.
- Future work should focus on continually expanding the dataset with information from diverse gas fields to further improve and validate the model's generalizability.

LIST OF SYMBOLS

APRE	Absolute Percent Relative Error	E _i	Residual Error
C1	Methane concentration (Fraction)	H ₂ S	Hydrogen sulphide concentration (Fraction)
C2	Ethane concentration (Fraction)	MWC7+	Molecular weight of heptane plus fraction (g/mol)
C3	Propane concentration (Fraction)	N ₂	Nitrogen gas concentration (Fraction)
C4	Butane concentration (Fraction)	RMSE	Root mean squared error
C5	Pentane concentration (Fraction)	SD	Standard deviation
C6	Hexane concentration (Fraction)	SGC7+	The specific gravity of heptane plus fraction
C7+	Heptane plus concentration (Fraction)	T	Temperature (oF)
CO ₂	Carbon dioxide concentration (Fraction)	Y	Actual Data
CC	Coefficient of determination	Y _{pred}	Predicted Data
DPP	Dew point pressure (psi)	n	Number of data
X	Dimension	I	input
H	hidden	HO	Hidden output
O	Output	HI	Hidden input

REFERENCES

- [1] A. G. Abedelrigeeb, A. M. Al-Khudafi, S. O. Baarimah, and K. S. Ba-Jaalal, "Hybrid artificial intelligent approach for choke size estimation in volatile and black oil reservoirs," in *2019 1st International Conference of Intelligent Computing and Engineering (ICOICE)*, 2019. doi: [10.1109/ICOICE48418.2019.9035198](https://doi.org/10.1109/ICOICE48418.2019.9035198).
- [2] S. Aghamiri, M. Tamtaji, and M. J. Ghafoori, "Developing a K-value equation for predict dew point pressure of gas condensate reservoirs at high pressure," *Petroleum*, vol. 4, no. 4, pp. 437–443, 2018. doi: [10.1016/j.petlm.2017.08.002](https://doi.org/10.1016/j.petlm.2017.08.002).
- [3] M. A. Ahmadi and M. Ebadi, "Evolving smart approach for determination dew point pressure through condensate gas reservoirs," *Fuel*, vol. 117, pp. 1074–1084, 2014. doi: [10.1016/j.fuel.2013.10.010](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.10.010).
- [4] M. A. Ahmadi and A. Elsharkawy, "Robust correlation to predict dew point pressure of gas condensate reservoirs," *Petroleum*, vol. 3, no. 3, pp. 340–347, 2017. doi: [10.1016/j.petlm.2016.05.001](https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.05.001).
- [5] M. K. Akbari, F. J. Farahani, and Y. Abdy, "Dewpoint pressure estimation of gas condensate reservoirs, using artificial neural network (ANN)," in *69th EAGE Conference and Exhibition*, 2007. doi: [10.2118/107032-MS](https://doi.org/10.2118/107032-MS).
- [6] M. Al-Dhamen and M. Al-Marhoun, "New correlations for dew-point pressure for gas condensate," in *SPE Saudi Arabia Section Young Professionals Technical Symposium*, 2011. doi: [10.2118/155410-MS](https://doi.org/10.2118/155410-MS).
- [7] A. Al-Gathe, K. A. A. Fattah, A. El-Banbi, and K. El-Metwally, "A hybrid neuro-fuzzy approach for black oil viscosity prediction," *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 13, no. 4, 2015. [Online]. Available: <https://www.proquest.com/docview/1732049961>.
- [8] A. A. Al-Gathe, A. M. Al-Khudafi, A. Al-Fakih, and A. A. Al-Wahbi, "Neuro-fuzzy approach for gas compressibility

factor prediction," in *2021 International Petroleum and Petrochemical Technology Conference*, 2022, pp. 157–165. doi: [10.1007/978-981-16-9427-1_15](https://doi.org/10.1007/978-981-16-9427-1_15).

[9] A. Al-Gathe et al., "Hybrid approach for gas viscosity in Yemeni oil fields," *Earth Science Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 475–482, 2023. doi: [10.1007/s12145-023-01121-5](https://doi.org/10.1007/s12145-023-01121-5).

[10] A. Ali and L. Guo, "Adaptive neuro-fuzzy approach for prediction of dewpoint pressure for gas condensate reservoirs," *Petroleum Science and Technology*, vol. 38, no. 9, pp. 673–681, 2020. doi: [10.1080/10916466.2020.1769655](https://doi.org/10.1080/10916466.2020.1769655).

[11] A. M. Al-Khudafi et al., "Evaluation of different tree-based machine learning approaches for formation lithology classification," 2023. doi: [10.56952/IGS-2023-0026](https://doi.org/10.56952/IGS-2023-0026).

[12] A. Alzahabi et al., "A regression model for estimation of dew point pressure from down-hole fluid analyzer data," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 7, no. 4, pp. 1173–1183, 2017. doi: [10.1007/s13202-016-0308-9](https://doi.org/10.1007/s13202-016-0308-9).

[13] M. Arabloo et al., "Toward a predictive model for estimating dew point pressure in gas condensate systems," *Fuel Processing Technology*, vol. 116, pp. 317–324, 2013. doi: [10.1016/j.fuproc.2013.07.005](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.07.005).

[14] S. O. Baarimah, A. G. Abdelrigeeb, and A. B. Binmerdhah, "Predict reservoir fluid properties of Yemeni crude oils using fuzzy logic technique," in *2019 1st International Conference of Intelligent Computing and Engineering (ICOICE)*, 2019. doi: [10.1109/ICOICE48418.2019.9035131](https://doi.org/10.1109/ICOICE48418.2019.9035131).

[15] M. R. Carlson and W. B. Cawston, "Obtaining PVT data for very sour retrograde condensate gas and volatile oil reservoirs: A multi-disciplinary approach," in *SPE Gas Technology Symposium*, 1996. doi: [10.2118/35653-MS](https://doi.org/10.2118/35653-MS).

[16] R. Daneshfar et al., "A neural computing strategy to estimate dew-point pressure of gas condensate reservoirs," *Petroleum Science and Technology*, vol. 38, no. 10, pp. 706–712, 2020. doi: [10.1080/10916466.2020.1780257](https://doi.org/10.1080/10916466.2020.1780257).

[17] R. Eberhart and J. Kennedy, "A new optimizer using particle swarm theory," in *Proceedings of the International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 1995, pp. 39–43. doi: [10.1109/MHS.1995.494215](https://doi.org/10.1109/MHS.1995.494215).

[18] A. H. El-Banbi, W. D. McCain, and M. E. Semmelbeck, "Investigation of well productivity in gas-condensate reservoirs," in *SPE/CERI Gas Technology Symposium*, 2000. doi: [10.2118/59773-MS](https://doi.org/10.2118/59773-MS).

[19] A. N. El-hoshoudy, S. Gomaa, and S. M. Desouky, "Prediction of dew point pressure in gas condensate reservoirs based on a combination of gene expression programming (GEP) and multiple regression analysis," *Petroleum & Petrochemical Engineering Journal*, 2018.

[20] A. M. Elsharkawy, "Characterization of the plus fraction and prediction of the dewpoint pressure for gas condensate reservoirs," 2001. doi: [10.2118/68776-MS](https://doi.org/10.2118/68776-MS).

[21] A. M. Elsharkawy, "Predicting the dew point pressure for gas condensate reservoirs: Empirical models and equations of state," *Fluid Phase Equilibria*, vol. 193, no. 1–2, pp. 147–165, 2002. doi: [10.1016/S0378-3812\(01\)00724-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3812(01)00724-5).

[22] A. Embaireeg, "A reliable multilayer perceptron neural network estimator of gas condensate reservoir initial composition and dew point pressure," in *ADIPEC*, 2023. doi: [10.2118/216467-MS](https://doi.org/10.2118/216467-MS).

[23] Z. Esmaeili-Jaghdan et al., "Machine learning modelling of dew point pressure in gas condensate reservoirs: Application of decision tree-based models," *Neural Computing and Applications*, vol. 36, no. 4, pp. 1973–1995, 2023. doi: [10.1007/s00521-023-09201-9](https://doi.org/10.1007/s00521-023-09201-9).

[24] Y. Fang et al., "Condensate gas phase behavior and development," 1998. doi: [10.2118/50925-MS](https://doi.org/10.2118/50925-MS).

[25] S. Ghassemzadeh et al., "The importance of normalization in predicting dew point pressure by ANFIS," *Petroleum Science and Technology*, vol. 31, no. 10, pp. 1040–1047, 2013. doi: [10.1080/10916466.2011.598895](https://doi.org/10.1080/10916466.2011.598895).

[26] G. M. Hamada, A. A. Al-Gathe, and A. M. Al-Khudafi, "Hybrid artificial intelligent approach for determination of water saturation using Archie's formula in carbonate reservoirs," *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, vol. 6, no. 6, pp. 1–7, 2015. doi: [10.4172/2157-7463.1000250](https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000250).

[27] O. N. Godwin, "A new analytical method for predicting dew point pressures for gas condensate reservoirs," in *36th Nigeria Annual International Conference and Exhibition*, 2012. doi: [10.2118/162985-MS](https://doi.org/10.2118/162985-MS).

[28] A. González, M. A. Barrufet, and R. Startzman, "Improved neural-network model predicts dewpoint pressure of retrograde gases," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 37, no. 3–4, pp. 183–194, 2003. doi: [10.1016/S0920-4105\(02\)00352-2](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(02)00352-2).

[29] A. Gouda et al., "Development of an artificial neural network model for predicting the dew point pressure of retrograde gas condensate," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 208, p. 109284, 2022. doi: [10.1016/j.petrol.2021.109284](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109284).

[30] M. Haji-Savameri et al., "Modeling dew point pressure of gas condensate reservoirs: Comparison of hybrid soft computing approaches, correlations, and thermodynamic models," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 184, p. 106558, 2020. doi: [10.1016/j.petrol.2019.106558](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106558).

[31] G. M. Hamada, A. A. Al-Gathe, and A. M. Al-Khudafi, "Parallel self organizing neural network estimation (PSO) of water saturation using Archie's formula in sandstone reservoirs," *International Journal of Petroleum and*

- Geoscience Engineering*. [Online]. Available: www.htpub.org/ijpge/.
- [32] L. Han and S. Sarvazizi, "Applying optimized ANN models to estimate dew point pressure of gas condensates," *International Journal of Chemical Engineering*, vol. 2022, 2022. doi: [10.1155/2022/1929350](https://doi.org/10.1155/2022/1929350).
- [33] A. Hassan, M. Mahmoud, and A. Abdurraheem, "Prediction of dew point pressure for high-pressure gas reservoirs using artificial intelligence techniques," in *ADIPEC*, 2022. doi: [10.2118/211064-MS](https://doi.org/10.2118/211064-MS).
- [34] A. A. Humoud and M. A. Al-Marhoun, "A new correlation for gas-condensate dewpoint pressure prediction," in *Middle East Oil Show*, 2001. doi: [10.2118/68230-MS](https://doi.org/10.2118/68230-MS).
- [35] J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*. IEEE, 1997. doi: [10.1109/TAC.1997.633847](https://doi.org/10.1109/TAC.1997.633847).
- [36] A. Kamari et al., "Rapid method for the estimation of dew point pressures in gas condensate reservoirs," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, vol. 60, pp. 258–266, 2016. doi: [10.1016/j.jtice.2015.10.011](https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.10.011).
- [37] H. Kaydani, A. Hagizadeh, and A. Mohebbi, "A dew point pressure model for gas condensate reservoirs based on an artificial neural network," *Petroleum Science and Technology*, vol. 31, no. 12, pp. 1228–1237, 2013. doi: [10.1080/10916466.2010.540616](https://doi.org/10.1080/10916466.2010.540616).
- [38] H. Kaydani, A. Mohebbi, and A. Hajizadeh, "Dew point pressure model for gas condensate reservoirs based on multi-gene genetic programming approach," *Applied Soft Computing*, vol. 47, pp. 168–178, 2016. doi: [10.1016/j.asoc.2016.05.049](https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.05.049).
- [39] M. R. Khan et al., "A novel empirical correlation to predict the dew point pressure using intelligent algorithms," in *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference (ADIPEC)*, 2019. doi: [10.2118/197951-MS](https://doi.org/10.2118/197951-MS).
- [40] T. Lertliangchai et al., "A comparative analysis of the prediction of gas condensate dew point pressure using advanced machine learning algorithms," in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 2021. doi: [10.2118/205997-MS](https://doi.org/10.2118/205997-MS).
- [41] S. M. J. Majidi et al., "Evolving an accurate model based on machine learning approach for prediction of dew-point pressure in gas condensate reservoirs," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 92, no. 5, pp. 891–902, 2014. doi: [10.1016/j.cherd.2013.08.014](https://doi.org/10.1016/j.cherd.2013.08.014).
- [42] A. K. Manshad et al., "Application of artificial neural network particle swarm optimization algorithm for prediction of gas condensate dew point pressure and comparison with Gaussian processes regression particle swarm optimization algorithm," *Journal of Energy Resources Technology*, vol. 138, no. 3, 2016. doi: [10.1115/1.4032226](https://doi.org/10.1115/1.4032226).
- [43] I. Marruffo et al., "Correlations to determine retrograde dew pressure and C7+ percentage of gas condensate reservoirs on basis of production test data of Eastern Venezuelan fields," in *SPE Gas Technology Symposium*, 2002. doi: [10.2118/75686-MS](https://doi.org/10.2118/75686-MS).
- [44] M. Mirzaie, H. Esfandyari, and A. Tatar, "Dew point pressure of gas condensates, modeling and a comprehensive review on literature data," *Journal of Petroleum Science and Engineering*, vol. 211, p. 110072, 2022. doi: [10.1016/j.petrol.2021.110072](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.110072).
- [45] A. Najafi-Marghmaleki et al., "GA-RBF model for prediction of dew point pressure in gas condensate reservoirs," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 223, pp. 979–986, 2016. doi: [10.1016/j.molliq.2016.08.087](https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.08.087).
- [46] L. K. Nemeth and H. T. Kennedy, "A correlation of dewpoint pressure with fluid composition and temperature," *Society of Petroleum Engineers Journal*, vol. 7, no. 02, pp. 99–104, 1967. doi: [10.2118/1477-PA](https://doi.org/10.2118/1477-PA).
- [47] L. K. Nemeth, *A Correlation of Dew-Point Pressure with Reservoir Fluid Composition and Temperature*. Texas A&M University, 1966.
- [48] S. Nowroozi et al., "Development of a neural fuzzy system for advanced prediction of dew point pressure in gas condensate reservoirs," *Fuel Processing Technology*, vol. 90, no. 3, pp. 452–457, 2009. doi: [10.1016/j.fuproc.2008.11.009](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.11.009).
- [49] K. T. Potsch and L. Braeuer, "A novel graphical method for determining dewpoint pressures of gas condensates," in *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, 1996. doi: [10.2118/36919-MS](https://doi.org/10.2118/36919-MS).
- [50] A. Rabiei et al., "Determination of dew point pressure in gas condensate reservoirs based on a hybrid neural genetic algorithm," *Fluid Phase Equilibria*, vol. 387, pp. 38–49, 2015. doi: [10.1016/j.fluid.2014.11.027](https://doi.org/10.1016/j.fluid.2014.11.027).
- [51] H. Rostami-Hosseinkhani, F. Esmailzadeh, and D. Mowla, "Application of expert systems for accurate determination of dew-point pressure of gas condensate reservoirs," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 18, pp. 296–303, 2014. doi: [10.1016/j.jngse.2014.02.009](https://doi.org/10.1016/j.jngse.2014.02.009).
- [52] Y. Shi and R. C. Eberhart, "Empirical study of particle swarm optimization," in *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 1999, pp. 1945–1950. doi: [10.1109/CEC.1999.785511](https://doi.org/10.1109/CEC.1999.785511).
- [53] Z. Zhong et al., "Dew point pressure prediction based on mixed-kernels-function support vector machine in gas-condensate reservoir," *Fuel*, vol. 232, pp. 600–609, 2018. doi: [10.1016/j.fuel.2018.05.168](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.168).

دور تطوير شبكات الاتصال من الجيل الخامس في تسريع التحول الرقمي: دراسة حالة شركة إريكسون

الاستلام: 21/ يونيو/ 2025
التحكيم: 10/ سبتمبر/ 2025
القبول: 11/ سبتمبر / 2025

خلوفي سفيان^(*)

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف، ميلتا، الجزائر
* عنوان المراسلة: kheloufi.s@centre-univ-mila.dz

دور تطوير شبكات الاتصال من الجيل الخامس في تسريع التحول الرقمي: دراسة حالة شركة إريكسون

خلوفي سفيان
المركز الجامعي عبد الحفيظ بوالصوف
ميلة الجزائر
kheloufi.s@centre-univ-mila.dz

updating business models to keep pace with rapid technological advancements.

Keywords— Communication Networks, Fifth Generation, Digital Transformation, Technology, Innovation, Ericsson

Jel Codes Classification: L86, O33

I. المقدمة

يشهد عصرنا الحالي تسارعاً ملحوظاً في التطور التكنولوجي والتحول الرقمي، مما يستدعي إعادة النظر في نماذج الأعمال والعمليات التشغيلية للمؤسسات. وقد صار تبني تقنيات الجيل الخامس للاتصالات حجر الزاوية في تحقيق كفاءة الاتصال وتعزيز القدرة التنافسية؛ لما توفره من سرعة نقل بيانات فائقة وزمن استجابة منخفض وسعة شبكة عالية.

يُعدُّ التحول الرقمي عملية استراتيجية شاملة تُعيد تشكيل الأنشطة الاقتصادية والصناعية؛ إذ تدمج التقنيات الرقمية الحديثة في جميع جوانب الأداء المؤسسي. وتبرز أهمية هذه العملية في قدرتها على تحسين تجربة العملاء، وتسهيل تبني نماذج أعمال مبتكرة، فضلاً عن تمكين المؤسسات من مواجهة الضغوط التنافسية المتزايدة في الأسواق العالمية.

تُعدُّ شركة إريكسون من الرؤاد العالميين في مجال تطوير تقنيات الاتصالات؛ إذ استطاعت على مدى عقود أن تقود مسيرة الابتكار والتحول الرقمي باستثماراتها الكبيرة في البحث والتطوير، وتوحيد معايير الشبكات. وكذا أثبتت الشركة جدارتها في تطبيق حلول الجيل الخامس عبر مشاريع عالمية ناجحة، مما جعلها نموذجاً يُحتذى به في تبني التقنيات الحديثة وتطوير البنى التحتية الرقمية.

إشكالية الدراسة: تكمن إشكالية الدراسة في تحديد مدى تأثير تطوير شبكات الجيل الخامس في تسريع عملية التحول الرقمي، مع تسليط الضوء على التحديات التقنية والتنافسية التي تواجه الشركات الرائدة في هذا المجال، وكيفية تحويل هذه التحديات إلى فرص استراتيجية لتعزيز الأداء التشغيلي والاقتصادي.

الاسئلة الفرعية: لتسهيل التساؤل الرئيس للدراسة صيغت الأسئلة الفرعية الآتية:

- ما الدور الذي تؤديه تقنيات الجيل الخامس في تحسين الكفاءة التشغيلية والابتكار في شركة إريكسون؟
- كيف تسهم هذه التقنيات في إعادة تصميم نماذج الأعمال ودعم التحول الرقمي على المستويين المؤسسي والقطاعي؟

المخلص:

تتناول الدراسة دور تطوير شبكات الجيل الخامس في تسريع التحول الرقمي، بدراسة حالة شركة إريكسون، وتستعرض الاستراتيجيات، التي تتبعها الشركة في مجال البحث والتطوير وتوحيد معايير الشبكات وتطوير البنية التحتية للاتصالات. يوضح البحث كيف أسهم تبني تقنيات الجيل الخامس في تحسين الإنتاجية وخفض التكاليف التشغيلية، في مختلف القطاعات، مثل: التصنيع والنقل والرعاية الصحية، فضلاً عن تعزيز القدرة التنافسية، وتحقيق تأثيرات اقتصادية إيجابية تشمل خلق فرص عمل، وزيادة الناتج المحلي الإجمالي العالمي. كما تقدم الدراسة توصيات عملية تتمثل في زيادة الاستثمارات في البحث والتطوير، وتعزيز التعاون مع الهيئات التنظيمية والشركاء الاستراتيجيين، وتحديث نماذج الأعمال لمواكبة التطورات التكنولوجية المتسارعة.

الكلمات المفتاحية: شبكات اتصال، جيل خامس، تحول

رقمي، تكنولوجيا، ابتكار، إريكسون.

التصنيف JEL: L86-O33.

The Role of Developing 5G Networks in Accelerating Digital Transformation: A Case Study of Ericsson

Abstract— This study examines the role of developing 5G communication networks in accelerating digital transformation by presenting a case study of Ericsson. It reviews the company's strategies in research and development, standardization, and infrastructure enhancement. The findings demonstrate that adopting 5G technology significantly improves productivity and reduces operational costs across sectors such as manufacturing, transportation, and healthcare, while also boosting competitiveness and generating positive economic impacts, including job creation and an increase in global GDP. The study concludes with practical recommendations, including increasing investments in R&D, strengthening collaborations with regulatory bodies and strategic partners, and continuously

تشمل دعم تطبيقات إنترنت الأشياء على نطاق واسع، وتمكين تقنيات الواقع المعزز والافتراضي، وتسهيل الحوسبة المتطورة التي تعتمد معالجة البيانات عند الحافة (Edge Computing)، مما يفتح آفاقاً جديدة لمجموعة واسعة من الصناعات.

يمتد تأثير شبكات الجيل الخامس ليشمل مختلف جوانب التحول الرقمي؛ إذ تسهم في تطوير نماذج الأعمال بتوفير بيئات أكثر ذكاءً واتصالاً، مما يعزز من مرونة واستدامة الشركات. كما تؤدي هذه الشبكات إلى تحسين تجربة العملاء عبر تقديم خدمات سريعة وموثوقة، وزيادة الكفاءة التشغيلية بالأتمتة وتحليل البيانات الفورية. إضافة إلى ذلك، الإمكانات الفريدة التي توفرها 5G تدعم الابتكار وتساعد في تطوير منتجات وخدمات جديدة في مجالات مثل الرعاية الصحية الذكية، المدن الذكية، والتصنيع الرقمي، مما يسهم في بناء اقتصاد رقمي أكثر تنافسية واستدامة.

التحول الرقمي: المفهوم والمحركات الرئيسية:

يتناول هذا القسم مفهوم التحول الرقمي؛ إذ يقدم تعريفاً شاملاً لهذا المفهوم وأبعاده الرئيسية، إضافة إلى استعراض المحركات الأساسية، التي تدفع عجلة هذا التحول في المؤسسات:

1. تعريف التحول الرقمي وأبعاده الرئيسية: يشير التحول الرقمي إلى عملية جوهرية تتكامل فيها التقنيات الرقمية في صلب المؤسسة، مما يؤدي إلى إعادة تشكيل كيفية عملها وتقديمها للقيمة لعملائها (Salesforce, n.d). ويتجاوز هذا المفهوم مجرد أتمتة العمليات التقليدية؛ بل يمثل تحولاً استراتيجياً شاملاً بمس نماذج الأعمال، والثقافة التنظيمية، وتجارب العملاء (McKinsey & Company, n.d).

ويُعرّفه فيال (Vial, 2019, p. 118) بأنه "عملية تهدف إلى تحسين كيان من خلال تغييرات كبيرة في خصائصه عن طريق مجموعة من التقنيات الرقمية المترابطة". هذا التعريف يشدد على أن التحول الرقمي ليس مجرد إضافة تقنيات جديدة، بل هو تغيير جوهري في طريقة عمل الكيان.

ويشمل التحول الرقمي أربعة أبعاد رئيسية:

- **العمليات:** يشير إلى رقمنة وأتمتة العمليات الداخلية؛ لتحسين الكفاءة والإنتاجية، وتقليل التكاليف، وتسريع وتيرة الابتكار - على سبيل المثال - يمكن للمؤسسات استخدام تقنيات مثل الذكاء الاصطناعي، وتعلم الآلة لأتمتة المهام المتكررة، وتحسين دقة التنبؤ. (Brynjolfsson & McAfee, 2014)
- **تجربة العملاء:** يركز على استخدام التقنيات الرقمية لفهم احتياجات العملاء استخداماً أفضل، وتقديم تجارب مخصصة ومتفوقة عبر جميع نقاط الاتصال. يشمل ذلك استخدام تحليلات البيانات لتقسيم العملاء واستهدافهم استهدافاً فعالاً، وتوفير قنوات تفاعل متعددة وسلسلة، مثل تطبيقات الهاتف المحمول ووسائل التواصل الاجتماعي. (Kotler & Keller, 2015)
- **نماذج الأعمال:** يتعلق بإنشاء نماذج أعمال جديدة أو تعديل النماذج الحالية؛ للاستفادة من الفرص التي تتيحها التقنيات الرقمية. قد يشمل ذلك تقديم منتجات وخدمات رقمية جديدة، أو تغيير طريقة تسعير المنتجات وتقديمها، أو إنشاء مصادر دخل جديدة (Osterwalder & Pigneur, 2010).
- **الثقافة:** يشير إلى تعزيز ثقافة الابتكار والمرونة والتجريب في المؤسسة، وتشجيع الموظفين على تبني التقنيات الرقمية

- ما الاستراتيجيات والأليات التي تعتمد عليها إريكسون للتغلب على التحديات التقنية والتنافسية في سوق الاتصالات العالمية؟

أهمية الدراسة: تسهم الدراسة في إثراء المكتبة البحثية بمجال التحول الرقمي وتقنيات الاتصالات الحديثة؛ إذ تقدم رؤية تحليلية معمقة لدور تقنيات الجيل الخامس في إعادة تشكيل بيئة الأعمال، وتحفيز الابتكار. وكذا تُضيف الدراسة قيمة معرفية بتحليل حالة شركة إريكسون، مما يتيح إمكانية تعميم النتائج على مؤسسات أخرى تسعى لتحقيق التحول الرقمي.

وتقدم الدراسة توصيات استراتيجية ملموسة لمشغلي شبكات الاتصالات والمؤسسات الراغبة في تبني التقنيات الرقمية؛ إذ تُظهر الفوائد الاقتصادية والتشغيلية لتطبيق حلول الجيل الخامس. ويسهم ذلك في توجيه صانعي القرار نحو استراتيجيات استثمارية، تدعم تطوير البنى التحتية الرقمية وتحسين تجربة العملاء، مما يؤدي إلى رفع القدرة التنافسية على المستوى العالمي.

أهداف الدراسة: تهدف الدراسة إلى:

- استقصاء وتحليل دور شبكات الجيل الخامس في تسريع عملية التحول الرقمي داخل شركة إريكسون.
- تقييم العلاقة بين استثمارات البحث والتطوير والابتكار التقني في تعزيز كفاءة الأداء التشغيلي والاقتصادي.
- استخلاص توصيات استراتيجية تدعم تبني تقنيات الجيل الخامس في مختلف القطاعات الاقتصادية.

منهجية الدراسة: تعتمد الدراسة منهج الحالة الدراسية؛ إذ تُجمع البيانات النوعية والكمية المتعلقة بأداء شركة إريكسون في مجال تطوير شبكات الجيل الخامس. ويشمل ذلك مراجعة التقارير السنوية والدراسات التقنية والمصادر الثانوية الموثوقة، بالإضافة إلى تحليل البيانات الإحصائية؛ لتقييم أثر الابتكار الرقمي في الأداء. وكذا يُستخدم التحليل الوصفي والنقدي للوصول إلى استنتاجات وتوصيات استراتيجية قابلة للتطبيق في بيئات الاتصالات المختلفة.

أولاً: الجانب النظري: التحول الرقمي، شبكات الجيل الخامس للاتصالات

التحول الرقمي أحد أبرز الظواهر الاقتصادية والتكنولوجية، التي تُعيد تشكيل القطاعات المختلفة، بدمج التقنيات الحديثة في العمليات والخدمات. يُعرّف التحول الرقمي بأنه عملية توظيف التكنولوجيا الرقمية لتحسين الأداء المؤسسي وتعزيز القيمة المقدمة للعملاء؛ إذ يشمل أبعاداً متعددة، منها إعادة تصميم العمليات، تطوير نماذج الأعمال، وتمكين الابتكار المستدام. وتتمثل المحركات الرئيسية لهذا التحول في التكنولوجيات الحديثة، مثل: الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، إضافة إلى التغييرات المتسارعة في سلوك المستهلك، الذي يتطلب تجارب أكثر تخصيصاً وكفاءة، فضلاً عن الضغوط التنافسية التي تدفع المؤسسات إلى تبني الحلول الرقمية للحفاظ على مكانتها في السوق.

تعد شبكات الجيل الخامس 5G من أهم التقنيات الداعمة للتحول الرقمي؛ إذ توفر مجموعة من الخصائص التقنية المتقدمة، التي تتفوق على الأجيال السابقة من الشبكات اللاسلكية. تتميز 5G بسرعة نقل بيانات فائقة، وزمن استجابة منخفض، مما يتيح تنفيذ التطبيقات في الزمن الحقيقي، بالإضافة إلى سعة شبكة كبيرة قادرة على استيعاب عدد هائل من الأجهزة المتصلة. وكذا تتيح هذه الشبكات قدرات جديدة

- **موثوقية عالية:** توفر شبكات الجيل الخامس اتصالاً أكثر موثوقية واستقراراً، وهو أمر بالغ الأهمية للتطبيقات الحيوية، مثل: الرعاية الصحية عن بُعد والتحكم الصناعي.
- **كفاءة الطاقة:** تستهلك شبكات الجيل الخامس طاقة أقل موازنة بالأجيال السابقة، مما يسهم في تقليل التكاليف التشغيلية والأثر البيئي.
- **القدرات التي توفرها شبكات الجيل الخامس (دعم إنترنت الأشياء، الواقع المعزز والافتراضي، الحوسبة المتطورة):** يستعرض هذا القسم القدرات التي تشمل دعم إنترنت الأشياء، وتطبيقات الواقع المعزز والافتراضي، والحوسبة المتطورة، مع أمثلة على كيفية تطبيق هذه القدرات في مختلف القطاعات بفضل خصائصها التقنية المتقدمة، توفر شبكات الجيل الخامس قدرات غير مسبقة تفتح آفاقاً جديدة للتطبيقات والخدمات المبتكرة. من أهم هذه القدرات:
 - **دعم إنترنت الأشياء (IoT):** تتيح شبكات الجيل الخامس ربط عدد هائل من الأجهزة الذكية وتسهيل تبادل البيانات بينها، مما يفتح آفاقاً واسعة لتطبيقات إنترنت الأشياء في مختلف القطاعات. مثلاً: في المنازل الذكية، يمكن لأجهزة الاستشعار المتصلة بشبكة الجيل الخامس التحكم في الإضاءة والتدفئة والأجهزة المنزلية الأخرى بكفاءة أكبر. في المدن الذكية، يمكن استخدام شبكات الجيل الخامس لربط أنظمة المرور والنقل والمرافق العامة، مما يحسن إدارة الموارد ويقلل الازدحام (Zanella et al, 2014, 1506-1497pp). يمكن لشبكات الجيل الخامس دعم تطبيقات مثل الصيانة التنبؤية والروبوتات التعاونية، مما يزيد الإنتاجية ويقلل التكاليف.. (Boyes et al, 2018).
 - **الواقع المعزز والافتراضي (AR/VR):** تدعم شبكات الجيل الخامس تطبيقات الواقع المعزز والافتراضي التي تتطلب نطاقاً ترددياً عالياً وزمن استجابة منخفضاً، مما يتيح تجارب غامرة وتفاعلية في مجالات: مثل: الترفيه، والتعليم، والتدريب. مثلاً، في مجال الترفيه، يمكن لشبكات الجيل الخامس أن توفر تجارب ألعاب واقع افتراضي متعددة اللاعبين لسلسة وغامرة. في مجال التعليم، يمكن استخدام الواقع المعزز لإنشاء بيئات تعليمية تفاعلية وجذابة. وفي مجال التدريب، يمكن استخدام الواقع الافتراضي لتدريب الموظفين على مهام معقدة في بيئة آمنة (Radianti et al, 2020 p.103778).
 - **الحوسبة المتطورة (Edge Computing):** تتيح شبكات الجيل الخامس تقريب قوة المعالجة والتخزين من الأجهزة المتصلة، مما يقلل زمن الاستجابة، ويحسن أداء التطبيقات، التي تتطلب معالجة البيانات في الوقت الفعلي. هذا يعني أن البيانات تتم معالجتها بالقرب من مصدرها بدلاً من إرسالها إلى مركز بيانات بعيد، مما يقلل التأخير ويحسن الأداء. تُعد الحوسبة المتطورة ضرورية لتطبيقات: مثل: القيادة الذاتية؛ إذ يجب اتخاذ القرارات في الوقت الفعلي؛ بناءً على البيانات، التي جُمعت من أجهزة الاستشعار. (Shi et al, 2016).
- واستخدامها بفعالية. يتضمن ذلك توفير التدريب والتطوير اللازمين للموظفين، وتغيير الهياكل التنظيمية لتسهيل التعاون والابتكار، وخلق بيئة عمل تشجع على التجريب وتحمل المخاطر المحسوبة. (Schein, 2010).
- **المحركات الرئيسية للتحول الرقمي (التكنولوجيات الحديثة، تغيير سلوك المستهلك، الضغوط التنافسية):** يستعرض هذا القسم المحركات الأساسية التي تدفع المؤسسات نحو التحول الرقمي، وتشمل التطورات التكنولوجية الحديثة، وتغيير سلوك المستهلك، والضغوط التنافسية المتزايدة.
 - يتسارع التحول الرقمي بفعل عدة محركات رئيسية، من أهمها:
 - **التكنولوجيات الحديثة:** التطورات المتسارعة في مجالات مثل الحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وشبكات الجيل الخامس. هذه التقنيات توفر أدوات وقدرات جديدة للمؤسسات لإعادة ابتكار أعمالها وتقديم قيمة أكبر للعملاء (Porter, 2001).
 - **الضغوط التنافسية:** حاجة المؤسسات إلى التحول الرقمي للحفاظ على قدرتها التنافسية في سوق يشهد اضطراباً متزايداً وظهور منافسين جدد يعتمدون التقنيات الرقمية اعتماداً أساسياً. الشركات التي تفشل في التكيف مع هذه التغييرات تخاطر بأن تتخلف عن الركب.
 - **تغيير سلوك المستهلك:** توقعات المستهلكين بتجارب رقمية سلسة وشخصية عبر جميع القنوات. يتوقع المستهلكون اليوم تفاعلاً فورياً وشخصياً وتجارب مخصصة، مما يضع ضغطاً على الشركات؛ لتلبية هذه التوقعات المتزايدة (Smith & Chaffey, 2005).
 - **الضغوط التنافسية:** حاجة المؤسسات إلى التحول الرقمي للحفاظ على قدرتها التنافسية في سوق يشهد اضطراباً متزايداً وظهور منافسين جدد يعتمدون التقنيات الرقمية اعتماداً أساسياً. الشركات التي تفشل في التكيف مع هذه التغييرات تخاطر بأن تتخلف عن الركب. (Porter, 2001).
 - هذه المحركات تتفاعل مع بعضها؛ لتسريع وتيرة التحول الرقمي، مثل: التطورات في التكنولوجيات الحديثة تمكن الشركات من تلبية توقعات المستهلكين المتغيرة، وتضطر الضغوط التنافسية الشركات إلى تبني هذه التقنيات؛ للبقاء في الطليعة.
- **شبكات الجيل الخامس: الخصائص والقدرات:** يصف هذا القسم الخصائص التقنية لشبكات الجيل الخامس وقدراتها المبتكرة، مع التركيز على المزايا التي تقدمها هذه الشبكات، موازنة بالأجيال السابقة وتأثيرها في التطبيقات والخدمات الرقمية:
 - **الخصائص التقنية لشبكات الجيل الخامس (سرعة البيانات العالية، زمن الاستجابة المنخفض، السعة الكبيرة):** تمثل شبكات الجيل الخامس (5G) الجيل التالي من تكنولوجيا الاتصالات المتنقلة، وتتميز بخصائص تقنية متقدمة تميزها عن الأجيال السابقة. ويمكن تلخيص هذه الخصائص فيما يلي:
 - **سرعة البيانات العالية:** توفر شبكات الجيل الخامس سرعات بيانات تصل إلى عدة جيجابت في الثانية، مما يتيح تجارب جديدة مثل الواقع الافتراضي المعزز وتنزيل الأفلام عالية الدقة في ثوانٍ (Boccardi et al, 2014).
 - **زمن الاستجابة المنخفض:** يقل زمن الاستجابة في شبكات الجيل الخامس إلى بضعة ملي ثانية، مما يتيح تطبيقات تتطلب استجابة فورية، مثل: القيادة الذاتية والجراحة عن بُعد.
 - **السعة الكبيرة:** تتمتع شبكات الجيل الخامس بقدرة أكبر بكثير على استيعاب عدد أكبر من الأجهزة المتصلة، مما يجعلها مثالية لدعم النمو الهائل في إنترنت الأشياء. (Andreev et al, 2015).

المطورين والشركات من إنشاء وتطوير منتجات وخدمات جديدة، مع أمثلة على التطبيقات المحتملة في مختلف القطاعات.

تعمل شبكات الجيل الخامس كمنصة للابتكار، حيث تتيح للمطورين والشركات إنشاء وتطوير منتجات وخدمات جديدة تعتمد قدرات الشبكة المتقدمة. مثالاً: يمكن لشبكات الجيل الخامس أن:

• **تدعم تطوير تطبيقات جديدة في مجالات مثل الرعاية الصحية، والنقل، والتصنيع، والترفيه.** في مجال الرعاية الصحية، يمكن استخدام شبكات الجيل الخامس لدعم الجراحة عن بعد والمراقبة الصحية عن بُعد- (Elhoseny et al, 2018, pp.67817-67830). في مجال النقل، يمكن استخدامها لدعم القيادة الذاتية وإدارة حركة المرور الذكية- (Bojkovic et al, 2016, pp.1-4).

• **تمكن الشركات الناشئة من تطوير حلول مبتكرة تعتمد التقنيات الرقمية.** يمكن للشركات الناشئة استخدام شبكات الجيل الخامس لإنشاء تطبيقات جديدة في مجالات مثل الواقع المعزز والافتراضي، وإنترنت الأشياء.

تعزز التعاون بين الباحثين والمطورين لتسريع وتيرة الابتكار. يمكن لشبكات الجيل الخامس أن تسهل تبادل البيانات والمعلومات بين الباحثين والمطورين، مما يؤدي إلى تسريع وتيرة الابتكار

ثانياً: الجانب التطبيقي: دراسة حالة

يُعدُّ التحول الرقمي وتطور تقنيات الاتصالات من أهم المحركات، التي تدفع عجلة النمو الاقتصادي وتطوير البنى التحتية للمجتمعات الحديثة. في هذا السياق، تمثل شركة إريكسون مثالاً بارزاً على كيفية الابتكار والتطوير المستمر في هذا القطاع؛ إذ نجحت الشركة على مدى عقود في تقديم حلول متكاملة تغطي جوانب متعددة من تقنيات الاتصالات، بدءاً من الأجيال السابقة، وصولاً إلى تقنيات الجيل الخامس المتطورة. تُظهر الاستثمارات الكبيرة في البحث والتطوير، فضلاً عن جهودها في توحيد المعايير وتطوير البنية التحتية، قدرة إريكسون على قيادة التحول الرقمي وخلق فرص اقتصادية واسعة، سواء عبر تحسين الكفاءة التشغيلية أو دعم النمو الاقتصادي على المستوى العالمي. فيما يلي، نستعرض الجانب التطبيقي بدراسة حالة تركز على إريكسون؛ لتسليط الضوء على إسهاماتها وتفصيل استراتيجياتها في تطوير تقنيات الاتصالات والتحول الرقمي، مما يوفر رؤية شاملة حول كيفية تحقيق الريادة والابتكار في هذا المجال الحيوي.

نظرة عامة على شركة إريكسون ودورها في تطوير تقنيات الاتصالات: تأسست شركة إريكسون عام: 1876م، ومنذ ذلك الحين، تطورت لتصير واحدة من الشركات الرائدة عالمياً في توفير حلول وخدمات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات. تؤدي الشركة دوراً محورياً في تطوير تقنيات الاتصالات المتنقلة، من الأجيال القديمة مثل 2G و 3G إلى التقنيات الحديثة مثل 4G و 5G، وتستمر في قيادة الأبحاث والابتكار في هذا المجال. دور إريكسون في تطوير تقنيات الاتصالات يتضمن:

• **البحث والتطوير:** تستثمر إريكسون استثماراً كبيراً في البحث والتطوير لابتكار تقنيات جديدة وتحسين التقنيات الحالية. وقد مول البنك الاستثماري الأوروبي أنشطة البحث والتطوير، التي تقوم بها إريكسون لتطوير الجيل الخامس (European Investment Bank, n.d.).

دور شبكات الجيل الخامس للاتصالات في التحول الرقمي:

يحلل هذا القسم الدور الحيوي الذي تؤديه شبكات الجيل الخامس في دعم التحول الرقمي، بتأثيرها في نماذج الأعمال، وتحسين تجربة العملاء، وتمكين الابتكار في مختلف القطاعات:

1. **تأثير شبكات الجيل الخامس للاتصالات على نماذج الأعمال:** تتيح شبكات الجيل الخامس للمؤسسات إعادة التفكير في نماذج أعمالها وتطوير نماذج جديدة أكثر كفاءة وابتكاراً. مثالاً، يمكن لشبكات الجيل الخامس أن:

• **تدعم تطوير منتجات وخدمات جديدة تعتمد على البيانات والتكنولوجيا:** مثل: خدمات الواقع المعزز والافتراضي، والحلول الذكية للمدن والصناعات. على سبيل المثال، يمكن لشركات التصنيع استخدام شبكات الجيل الخامس لتقديم خدمات صيانة تنبؤية، تعتمد البيانات التي جُمعت من أجهزة الاستشعار المثبتة على الآلات- (Porter & Heppelmann, 2014, pp. 64-88).

• **تمكن المؤسسات من تقديم خدمات مخصصة وتجارب فريدة للعملاء:** بجمع وتحليل البيانات في الوقت الفعلي. مثالاً: يمكن لشركات البيع بالتجزئة استخدام شبكات الجيل الخامس؛ لتقديم عروض مخصصة للعملاء؛ بناءً على موقعهم وتفضيلاتهم (Verhoef et al, 2009, pp. 31-41).

• **تسهل التعاون والتواصل بين المؤسسات والشركاء:** بتوفير اتصال موثوق وعالي السرعة. مثالاً: يمكن لشركات الخدمات اللوجستية استخدام شبكات الجيل الخامس؛ لتتبع البضائع في الوقت الفعلي وتحسين كفاءة سلسلة التوريد (Иванов & Dolgui, 2020, pp. 2055-2075).

2. **تحسين تجربة العملاء وزيادة الكفاءة التشغيلية:** يوضح هذا القسم كيف تسهم شبكات الجيل الخامس في تعزيز تجربة العملاء ورفع مستوى الكفاءة التشغيلية في المؤسسات، بتوفير تجارب رقمية متقدمة، وأتمتة العمليات، وتقليل التكاليف.

تسهم شبكات الجيل الخامس في تحسين تجربة العملاء، وزيادة الكفاءة التشغيلية للمؤسسات مما يأتي:

• **توفير تجارب رقمية سلسة وغامرة للعملاء:** بدعم تطبيقات النطاق الترددي العالي وزمن الاستجابة المنخفض. مثالاً: يمكن لشركات الإعلام استخدام شبكات الجيل الخامس؛ لتقديم تجارب بث فيديو مباشر عالية الجودة دون انقطاع (Chen et al, 2019, pp.46-53).

• **أتمتة العمليات وتحسين الكفاءة التشغيلية:** بربط الأجهزة والأنظمة المختلفة، وتمكين تبادل البيانات في الوقت الفعلي. مثالاً: يمكن لشركات التصنيع استخدام شبكات الجيل الخامس لربط الروبوتات والآلات الأخرى في المصنع، مما يتيح أتمتة العمليات وتحسين الإنتاجية- (Tao et al, 2018, pp. 35-49).

تقليل التكاليف التشغيلية وزيادة الإنتاجية: بحسين إدارة الموارد وتوفير الطاقة. مثالاً: يمكن لشركات الطاقة استخدام شبكات الجيل الخامس لمراقبة استهلاك الطاقة في الوقت الفعلي، وتحسين كفاءة توزيع الطاقة (Mohassel et al, 2018, pp. 1693-1721).

3. **تمكين الابتكار وتطوير منتجات وخدمات جديدة:** يستكشف هذا القسم دور شبكات الجيل الخامس كمنصة للابتكار؛ إذ تمكن

إريكسون لا تقتصر إسهامها في توفير المعدات والبرمجيات، بل تمتد لتشمل تقديم خدمات متكاملة تساعد مشغلي شبكات الاتصالات على التحول الرقمي، وتحسين الكفاءة التشغيلية، وتطوير نماذج أعمال جديدة. يتضمن ذلك حلولاً في مجالات مثل الحوسبة السحابية، وإنترنت الأشياء (IoT)، والذكاء الاصطناعي (AI)، وتحليل البيانات، التي تُعدُّ أساسية لتمكين التحول الرقمي في مختلف القطاعات.

وفقاً لتقرير صادر عن إريكسون، "يلعب التحول الرقمي دوراً حاسماً في تمكين مشغلي شبكات الاتصالات من تعزيز إيراداتهم، وخفض التكاليف، وتحسين تجربة العملاء. وتعتبر إريكسون شريكاً رئيسياً في هذه العملية، حيث تقدم مجموعة شاملة من الحلول والخدمات التي تدعم هذا التحول. (Ericsson, 2023, p. 15)" بالإضافة إلى ذلك، تلعب إريكسون دوراً هاماً في تطوير معايير الجيل الخامس، حيث ذكرت الشركة في تقرير آخر أن "إريكسون كانت المحرك الرئيسي خلال تطوير معيار 5G" (Ericsson, n.d., "Our 5G Innovation Journey").

وبلغ صافي مبيعات إريكسون 271.5 مليار كرونة سويدية في عام 2023، مما يعكس مكانتها القوية في سوق الاتصالات العالمي. (Ericsson, 2023)

2. إسهامات شركة إريكسون في التحول الرقمي: تسهم إريكسون في التحول الرقمي بعدة محاور رئيسية، يمكن تلخيصها في الجدول الآتي:

الجدول (1): المجالات الرئيسية للتحول الرقمي لشركة إريكسون

المحور	الوصف	أمثلة
تطوير تقنيات الاتصالات	قيادة البحث والتطوير في مجال تقنيات الاتصالات، وخاصة الجيل الخامس وما بعده.	تطوير بنية تحتية للشبكات، وتطوير برمجيات إدارة الشبكات
تمكين التحول الرقمي للقطاعات	تقديم حلول اتصالات مخصصة لمختلف القطاعات مثل الصناعة والنقل والرعاية الصحية.	حلول الشبكات الخاصة (Private Networks) للأتمتة المصانع
الابتكار في مجال البرمجيات والخدمات	تطوير حلول برمجية وخدمات رقمية مبتكرة.	الحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي، وتحليل البيانات

2023م. (المصدر: تقرير تحليلي للسوق). وقد نشرت إريكسون حلول RAN الخاصة بها في أكثر من 150 شبكة 5G تجارية في 66 دولة. (Ericsson, 2023)

- **الشبكة الأساسية:** توفر إريكسون حلول الشبكة الأساسية، التي تدعم وظائف الجيل الخامس الأساسية، مثل: إدارة الاتصال والتنقل وجودة الخدمة. تم تصميم حلول الشبكة الأساسية الخاصة بها لتكون سحابية وقابلة للتطوير وقابلة للبرمجة.
- **النقل:** تقدم إريكسون حلول النقل التي تربط شبكة RAN بالشبكة الأساسية. وهذا يشمل حلول النقل اللاسلكية والسلكية، التي توفر النطاق الترددي المنخفض والكمون المطلوب لدعم تطبيقات الجيل الخامس.

4. تحليل حلول شركة إريكسون المبتكرة (تقسيم الشبكة والحوسبة المتطورة والأتمتة):

- **تقسيم الشبكة:** تتيح تقسيم الشبكة لمشغلي شبكات الاتصالات إنشاء شبكات افتراضية متعددة على نفس البنية التحتية المادية. يمكن تخصيص كل شريحة شبكة لتلبية متطلبات خدمة أو تطبيق معين. تقدم إريكسون حلولاً لتقسيم الشبكة تمكن مشغلي شبكات

- **توحيد المعايير:** تؤدي إريكسون دوراً فعالاً في تطوير وتوحيد معايير الاتصالات المتنقلة العالمية، مما يضمن التوافق التشغيلي بين مختلف الشبكات والأجهزة.
 - **تطوير البنية التحتية:** توفر إريكسون مجموعة واسعة من حلول البنية التحتية للشبكات، بما في ذلك المعدات والبرمجيات والخدمات، التي تمكن مشغلي شبكات الاتصالات من بناء وتشغيل شبكاتهم بكفاءة.
 - **تقديم الحلول المتكاملة:** تقدم إريكسون حلولاً متكاملة تجمع بين تقنيات الاتصالات والبرمجيات والخدمات؛ لمساعدة مشغلي شبكات الاتصالات على التحول الرقمي وتلبية احتياجات العملاء المتغيرة.
- إريكسون حاصلة على أكثر من 60,000 براءة اختراع، مما يدل على قوتها الابتكارية وإسهاماتها الكبيرة في تطوير تقنيات الاتصالات. (Ericsson, 2023).
- تُعدُّ شركة إريكسون من الشركات الرائدة عالمياً في توفير حلول وخدمات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات لمزودي خدمات الاتصالات. تاريخياً، قَدَّمت إريكسون دوراً محورياً في تطوير أجيال متعددة من تقنيات الاتصالات المتنقلة، بدءاً من الجيل الثاني (2G) وصولاً إلى الجيل الخامس (5G) وما بعده. هذا الدور يشمل البحث والتطوير، وتوحيد المعايير، وتطوير البنية التحتية للشبكات، وتقديم حلول مبتكرة تلبى احتياجات المشغلين والمستخدمين على حد سواء.

المصدر: من إعداد الباحث بالإعتماد على: (Ericsson, 2023) وقد أكدت Ericsson (n.d., "Our 5G Innovation Journey") أن الشركة بدأت رحلتها في تطوير 5G منذ عام 2011م، مما يدل على التزامها طويل الأمد بالجيل القادم من تكنولوجيا الاتصالات. وتستثمر إريكسون ما يقرب من 17% من إيراداتها في البحث والتطوير، وهو من بين أعلى المعدلات في صناعة الاتصالات، مما يؤكد تركيزها على الابتكار. (Ericsson, 2023)

3. حلول شركة إريكسون للبنية التحتية لشبكات الجيل الخامس (RAN والشبكة الأساسية والنقل):

- **شبكة الوصول اللاسلكي (RAN):** تقدم إريكسون مجموعة واسعة من منتجات وحلول شبكة الوصول اللاسلكي (RAN) لدعم مختلف عمليات نشر الجيل الخامس. وهذا يشمل وحدات الراديو وهوائيات النطاق الأساسي، التي توفر تغطية عالية السعة وعالية السرعة. وفقاً لشركة إريكسون، تم تصميم حلول RAN الخاصة بها لتوفير "أداء فائق وسعة ومرونة" (Ericsson, n.d., "Ericsson RAN solutions").
- في سوق RAN؛ إذ تبلغ حصتها السوقية نحو: 39٪، في عام:

في قطاع الرعاية الصحية، يعمل الجيل الخامس على تحسين نتائج المرضى، وتقليل تكاليف الرعاية الصحية بالتطبيق عن بُعد والمراقبة عن بعد. وقد أظهرت دراسة حديثة، أن حلول الجيل الخامس من إريكسون يمكن أن تقلل تكاليف الرعاية الصحية بنسبة تصل إلى: 30% (دراسة اقتصادية لشركة Ericsson)

7. الأثر الاقتصادي لشبكات الجيل الخامس من منظور شركة إريكسون:

وفقاً لتقديرات إريكسون، من المتوقع أن يسهم الجيل الخامس بمقدار تريليونات الدولارات في الناتج المحلي الإجمالي العالمي على مدى السنوات القادمة. سيأتي هذا النمو من زيادة الإنتاجية، وخفض التكاليف، وتطوير منتجات وخدمات جديدة تمكنها شبكات الجيل الخامس. إضافة إلى ذلك، من المتوقع أن يخلق الجيل الخامس ملايين فرص العمل الجديدة في قطاعات مثل الاتصالات وتكنولوجيا المعلومات والتصنيع والنقل. وتتوقع إريكسون أن يدعم الجيل الخامس 22 مليون وظيفة بحلول عام: 2035م. (المصدر: توقعات سوق Ericsson) وبحلول عام: 2030م، يمكن أن يضيف الجيل الخامس 7 تريليونات دولار أمريكي إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي (Ericsson, 2023).

8. استثمارات شركة إريكسون في الجيل الخامس وعائداتها المتوقعة: استثمرت إريكسون استثماراً كبيراً في البحث والتطوير ونشر حلول الجيل الخامس. تتوقع الشركة أن تؤدي هذه الاستثمارات إلى عوائد كبيرة بزيادة الإيرادات والربحية وحصة السوق. صرح بوريه إيكهولم، الرئيس التنفيذي لشركة إريكسون، بقوله: "نحن على ثقة من أن استثمارنا في الجيل الخامس ستضعنا في موقع قوي للاستفادة من الفرص الهائلة، التي توفرها هذه التكنولوجيا، (Ericsson, 2023) " (32). وتخطط إريكسون لاستثمار 40 مليار كرونة سويدية في البحث والتطوير المتعلق بالجيل الخامس على مدى السنوات الخمس المقبلة (المصدر: إعلان Ericsson المالي). وتتوقع إريكسون أن تنمو إيراداتها بنسبة: 5% سنوياً بفضل نمو الجيل الخامس (Ericsson, 2023).

يُظهر كل ما سبق مكانة شركة إريكسون القوية في سوق الاتصالات العالمي بتحقيق صافي مبيعات بلغ 271.5 مليار كرونة سويدية في عام: 2023م. هذا الرقم يعكس قدرة الشركة على تحقيق إيرادات مرتفعة والحفاظ على تنافسيتها في بيئة معقدة تتطلب استراتيجيات تسويقية دقيقة وإدارة متطورة للعلاقات مع العملاء. تركز إريكسون بشكل كبير على الابتكار؛ إذ تستثمر نحو: 17% من إيراداتها في البحث والتطوير. هذا الالتزام يؤكد حرص الشركة على تطوير تقنيات جديدة والإسهام في تقدم الصناعة، وهو ما يُعد أساسياً لاستدامة الريادة التكنولوجية. كما يُظهر حصول الشركة على أكثر من 60,000 براءة اختراع مدى نشاطها الابتكاري وقدرتها على حماية استثماراتها البحثية، مما يعزز مكانتها كمبتكر رئيس في تقنيات الاتصالات.

من ناحية السوق، تتميز إريكسون بحصة قوية في مجال شبكات الوصول اللاسلكي (RAN)؛ إذ تبلغ نسبتها نحو: 39% في عام: 2023م. يشير هذا إلى قدرة الشركة التنافسية في تقديم حلول شبكية متطورة والحفاظ على تأثيرها في معايير الجودة والابتكار. إضافة على ذلك، يظهر انتشار حلول الجيل الخامس، التي تقدمها إريكسون؛ إذ

الاتصالات من "تقديم خدمات متنوعة مع ضمان جودة الخدمة والأداء الأمثل". (Ericsson, n.d., "Network slicing") وقد أظهرت إريكسون نجاحاً في مشاريع تقسيم الشبكة؛ إذ حققت زمن انتقال أقل بنسبة 90% في بعض حالات الاستخدام (المصدر: دراسة حالة لشركة Ericsson). وتتوقع إريكسون أن يمثل تقسيم الشبكة فرصة بقيمة 200 مليار دولار أمريكي لمشغلي شبكات الاتصالات بحلول عام: 2030 (Ericsson, 2023)

• **الحوسبة المتطورة:** تقرب الحوسبة المتطورة قوة الحوسبة والتخزين من حافة الشبكة، مما يقلل الكمون ويحسن أداء التطبيقات. توفر حلول الحوسبة المتطورة من إريكسون زمن انتقال منخفضاً للغاية ودعمًا للتطبيقات في الوقت الفعلي، وهو أمر بالغ الأهمية بالنسبة لحالات استخدام مثل القيادة الذاتية والواقع المعزز.

• **الامتعة:** تعمل الامتعة على أتمتة مختلف جوانب تصميم شبكة الجيل الخامس ونشرها وتشغيلها وإدارتها. تقدم إريكسون حلول أتمتة تستخدم الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتبسيط العمليات وتقليل التكاليف وتحسين كفاءة الشبكة.

• **مشاريع شركة إريكسون في قطاعات رئيسية (الصناعة والنقل والرعاية الصحية):** تعمل إريكسون بنشاط مع الشركات في مختلف القطاعات لتطوير وتنفيذ حلول الجيل الخامس.

• **الصناعة:** تتعاون إريكسون مع الشركات المصنعة؛ لتمكين أتمتة المصانع والصيانة التنبؤية والروبوتات التعاونية عبر شبكات الجيل الخامس الخاصة. مثلاً: في قطاع التصنيع، أدت شبكات الجيل الخامس الخاصة، التي تدعمها إريكسون إلى زيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى 20% وتقليل وقت التوقف عن العمل بنسبة: 50% (Ericsson, n.d., "5G in manufacturing"). وقد شاركت إريكسون في أكثر من 100 مشروع صناعي متعلق بالجيل الخامس على مستوى العالم (Ericsson, 2023).

• **النقل:** تعمل إريكسون مع شركات السيارات ومقدمي خدمات النقل؛ لتطوير حلول الجيل الخامس للمركبات المتصلة والقيادة الذاتية وأنظمة النقل الذكية. وقد شاركت إريكسون في العديد من تجارب المركبات المتصلة؛ إذ حققت زمن انتقال أقل من 5 ملي ثانية، وهو أمر بالغ الأهمية لتطبيقات القيادة الآلية (المصدر: تقرير تقني لشركة Ericsson). وتتوقع إريكسون أن يمثل الجيل الخامس فرصة بقيمة 168 مليار دولار أمريكي لقطاع السيارات بحلول عام: 2030 (Ericsson, 2023)

• **الرعاية الصحية:** تتعاون إريكسون مع مؤسسات الرعاية الصحية لتمكين التطبيق عن بعد والجراحة عن بعد ومراقبة المرضى عن بُعد عبر شبكات الجيل الخامس.

6. تقييم أداء حلول الجيل الخامس لشركة إريكسون على القطاعات: أظهرت حلول الجيل الخامس من إريكسون نتائج واعدة في مختلف القطاعات. مثلاً: في قطاع التصنيع، أدت شبكات الجيل الخامس الخاصة التي تدعمها إريكسون إلى زيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى: 20% وتقليل وقت التوقف عن العمل بنسبة: 50% (Ericsson, n.d., "5G in manufacturing"). تمكن حلول الجيل الخامس المركبات المتصلة من تحسين السلامة وكفاءة حركة المرور.

نشرت حلول RAN الخاصة بها في أكثر من 150 شبكة 5G تجارية عبر 66 دولة، ما يدل على الانتشار العالمي الواسع للتكنولوجيا المتقدمة.

تركز الشركة أيضا على مستقبل الاتصالات عبر استكشاف فرص تقنية تقسيم الشبكة، التي تتوقع أن تشكل فرصة بقيمة 200 مليار دولارًا أمريكيًا لمشغلي شبكات الاتصالات، بحلول عام: 2030م. هذا التوقع يعكس الإمكانات الكبيرة لتحسين تخصيص موارد الشبكة وكفاءة الأداء، مما يسهم في زيادة العوائد المالية لمشغلي الشبكات. وفي مجال الصناعة، أدت شبكات الجيل الخامس الخاصة، التي تدعمها إريكسون إلى زيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى: 20% وتقليل وقت التوقف عن العمل بنسبة: 50%، مما يبرز القيمة العملية لهذه التكنولوجيا في تحسين الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف.

كما تنظر الشركة إلى قطاع السيارات كواحد من المجالات التي سيحدث فيها تحول جذري بفضل الجيل الخامس؛ إذ تتوقع أن تمثل فرصة بقيمة 168 مليار دولار أمريكي لهذا القطاع بحلول عام: 2030م. ويأتي ذلك في إطار تحول شامل يشمل أيضًا قطاع الرعاية الصحية؛ إذ يمكن لحلول الجيل الخامس من إريكسون أن تقلل تكاليف الرعاية الصحية بنسبة تصل إلى: 30%، مما يبرز الإمكانات التحويلية للتكنولوجيا في تحسين تقديم الخدمات وتقليل النفقات.

إضافة إلى ذلك، يتوقع أن يسهم الجيل الخامس في دعم 22 مليون وظيفة حول العالم بحلول عام: 2035م، مما يؤكد دوره في خلق فرص عمل جديدة وتحفيز النمو الاقتصادي. وفي السياق الكلي، يمكن أن يضيف الجيل الخامس 7 تريليونات دولار أمريكي إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي بحلول عام: 2030م، مما يعكس التأثير الاقتصادي الهائل لتبني هذه التكنولوجيا على مستوى العالم.

ختامًا: تخطط إريكسون لاستثمار 40 مليار كرونة سويدية في البحث والتطوير المتعلق بالجيل الخامس في السنوات الخمس المقبلة، مع توقع نمو سنوي للإيرادات بنسبة: 5% بفضل هذا التطور التقني. يجسد هذا الاستثمار التزام الشركة الدائم بتطوير تقنيات الجيل الخامس، مما يضمن استمرارية الابتكار وتحقيق النجاح على المدى الطويل في أسواق الاتصالات العالمية.

وأخيرًا: يمكن القول أن، شركة إريكسون تؤدي دورًا محوريًا في دفع التحول الرقمي بتطوير ونشر حلول الجيل الخامس المبتكرة. تستثمر الشركة بكثافة في البحث والتطوير، وتقود تطوير معايير الصناعة، وتقدم حلولًا شاملة لمختلف القطاعات. تظهر حلول الجيل الخامس من إريكسون نتائج واعدة في زيادة الإنتاجية، وتحسين الكفاءة، وخفض التكاليف عبر مختلف الصناعات. إضافة إلى ذلك، ترى إريكسون أن الجيل الخامس سيكون له تأثير اقتصادي كبير؛ إذ يعمل كمحفز للنمو الاقتصادي، وخلق فرص العمل، والابتكار. ومن استثماراتها الكبيرة في الجيل الخامس، تتوقع إريكسون تحقيق عوائد كبيرة وتعزيز مكانتها كشركة رائدة في سوق الاتصالات العالمي.

II. خاتمة:

تشير الدراسة إلى أن تطوير شبكات الجيل الخامس يُشكل محركًا حيويًا في تسريع التحول الرقمي على مستوى المؤسسات والأسواق العالمية؛ إذ تُبرز حالة شركة إريكسون النموذجية كيف يمكن للتقنيات الحديثة أن تُحدث تغييرًا جذريًا في نماذج الأعمال والكفاءة التشغيلية. لقد أظهرت الدراسة بتحليل دقيق لاستراتيجيات البحث والتطوير والاستثمارات الضخمة في تقنيات الاتصالات، أن التزام إريكسون

بالابتكار والتطوير المستمر قد أسهم إسهامًا مباشرًا في تحقيق نتائج مالية وتشغيلية مبهرة، مما يعزز قدرتها التنافسية في السوق العالمي. وتوصلت الدراسة إلى مجموعة من النتائج العملية التي تؤكد تأثير تقنيات الجيل الخامس في تعزيز الإنتاجية، وتحفيز النمو الاقتصادي، إلى جانب توصيات عملية قابلة للتطبيق لتعزيز هذا التحول الرقمي:

III. نتائج الدراسة

- تحقيق إريكسون صافي مبيعات بلغ 271.5 مليار كرونة سويدية في عام: 2023م، الذي يعكس مكانتها القوية في السوق العالمية.
- استثمار إريكسون نحو: 17% من إيراداتها في البحث والتطوير، ما يؤكد التزامها الثابت بالابتكار.
- تسجيل أكثر من 60,000 براءة اختراع يدل على القوة الابتكارية والتقنية للشركة.
- احتلال الشركة لحصة سوقية تبلغ نحو: 39% في مجال شبكات الوصول اللاسلكي (RAN) في عام: 2023م.
- انتشار حلول الجيل الخامس الخاصة بإريكسون في أكثر من 150 شبكة تجارية في 66 دولة، مما يبرز الانتشار العالمي للتكنولوجيا.
- توقع أن يشكل تقسيم الشبكة فرصة بقيمة 200 مليار دولار أمريكي لمشغلي الشبكات بحلول عام: 2030م.
- تحسين الإنتاجية بنسبة تصل إلى: 20%، وتقليل وقت التوقف عن العمل بنسبة: 50% في قطاعات التصنيع عبر تطبيق شبكات الجيل الخامس الخاصة.
- تقدير فرصة سوقية بقيمة 168 مليار دولار أمريكي لقطاع السيارات نتيجة لتطبيق تقنيات الجيل الخامس.
- القدرة على خفض تكاليف الرعاية الصحية بنسبة تصل إلى: 30% بحلول الجيل الخامس.
- توقع أن يدعم الجيل الخامس 22 مليون وظيفة عالميًا، وأن يضيف 7 تريليونات دولار أمريكي إلى الناتج المحلي الإجمالي العالمي، بحلول عام 2030م.

IV. اقتراحات الدراسة:

- زيادة الاستثمارات في البحث والتطوير؛ لتعزيز الريادة التكنولوجية والاستمرارية في الابتكار.
- تعزيز التعاون مع الجهات المعنية بتوحيد المعايير لضمان التوافق التشغيلي بين الشبكات المختلفة.
- تسريع عملية نشر حلول الجيل الخامس في الأسواق الناشئة لتعزيز الانتشار العالمي للتكنولوجيا.
- تطوير حلول شبكات خاصة متكاملة تلبي احتياجات القطاعات الصناعية والتجارية المختلفة.
- التركيز على تطوير تقنيات تقسيم الشبكة؛ لتحقيق استخدام أمثل لموارد الشبكة وتحسين الكفاءة.
- تعزيز التكامل بين تقنيات الجيل الخامس وإنترنت الأشياء، والواقع المعزز/الافتراضي، والحوسبة المتطورة لتقديم خدمات مبتكرة.
- إقامة شراكات استراتيجية مع قطاعات الرعاية الصحية والسيارات لدعم تطبيقات الجيل الخامس المتخصصة.
- تطبيق استراتيجيات أمنية متقدمة لضمان حماية شبكات الجيل الخامس من التهديدات السيبرانية.

Available: <https://www.ericsson.com/en/blog/asia/2023/5g>

[13] Ericsson, *Ericsson RAN Solutions*. [Online].

Available: <https://www.ericsson.com>

[14] Ericsson, *Network Slicing*. [Online].

Available: <https://www.ericsson.com>

[15] Ericsson, *Our 5G Innovation Journey: Building 5G and Beyond*. [Online].

Available: <https://www.ericsson.com/en/patents/patent-leadership/5g-innovation-journey>

[16] European Investment Bank, *ERICSSON 5G*. [Online].

Available: <https://www.eib.org/fr/projects/all/20170792>

[17] *FutureIoT*, “Ericsson Launches Enterprise 5G Strategy For Seamless Connectivity.” [Online].

Available: <https://futureiot.tech/ericsson-launches-enterprise-5g-strategy-for-seamless-connectivity/>

[18] D. Ivanov and A. Dolgui, “Viability of reshoring strategies: Global supply chain perspective,” *International Journal of Production Research*, vol. 58, no. 7, pp. 2055–2075, 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1667074.

[19] P. Kotler and K. L. Keller, *Marketing Management*, 15th ed. Pearson Education Limited, 2015.

[20] McKinsey & Company, *What is Digital Transformation?* [Online].

Available: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-digital-transformation>

[21] R. Mohassel, B. C. M. Fung, and A. Haghighat, “A survey of advanced metering infrastructure,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 2, pp. 1693–1721, 2018, doi: 10.1109/COMST.2018.2846268.

[22] A. Osterwalder and Y. Pigneur, *Business Model Generation: A Handbook for Visionaries, Game Changers, and Challengers*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2010.

[23] M. E. Porter, “Strategy and the Internet,” *Harvard Business Review*, vol. 79, no. 3, pp. 62–78, 2001.

[24] M. E. Porter and J. E. Heppelmann, “How smart, connected products are transforming competition,” *Harvard Business Review*, vol. 92, no. 11, pp. 64–88, 2014.

[25] J. Radianti, A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, “A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda,” *Computers & Education*, vol. 147, p.

➤ توفير برامج تدريب وتأهيل شاملة لتعزيز مهارات القوى العاملة في مجال التقنيات الرقمية والاتصالات.

➤ متابعة التطورات السوقية وتحديث نماذج الأعمال باستمرار؛ لاستغلال الفرص الناشئة من تطبيق تقنيات الجيل الخامس.

V. المراجع

[1] S. Andreev, O. Galinina, A. Pyattaev, S. Filin, K. Johnsson, and A. Andreev, “Understanding the IoT connectivity potential with focus on 5G and LPWA technologies,” in *2015 Third International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2015, pp. 205–212. doi: 10.1109/FIOUCL.2015.7344599.

[2] W. Boccardi, R. W. Heath Jr, A. Lozano, T. L. Marzetta, and P. Popovski, “Five disruptive technology directions for 5G,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 74–80, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6736762.

[3] N. Bojkovic, B. Bakmaz, and Z. Latkoski, “5G for connected and autonomous vehicles,” in *2016 23rd Telecommunications Forum (TELFOR)*, 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/TELFOR.2016.7818721.

[4] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, P. Watson, and M. A. Imran, “Internet of Things (IoT) and its impact on manufacturing,” *Sensors*, vol. 18, no. 11, p. 3823, 2018, doi: 10.3390/s18113823.

[5] E. Brynjolfsson and A. McAfee, *The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies*. New York, NY, USA: W. W. Norton & Company, 2014.

[6] M. Chen, S. Mao, and Y. Zhang, “Software-defined mobile networks for 5G: Vision, enabling technologies, and research challenges,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 5, pp. 46–53, 2014, doi: 10.1109/MCOM.2014.6815892.

[7] L. Downes, P. Nunes, and B. Brennan, *Digital Transformation: The Next 10 Years*. Rethinking Business, 2020.

[8] M. Elhoseny, J. M. Ramirez, K. Muhammad, S. U. Amin, and A. Farouk, “A comprehensive review of 5G-based healthcare system: Opportunities and challenges,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 67817–67830, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2887268.

[9] *Ericsson Mobility Report*, Jun. 2024, Ericsson.

[10] Ericsson, *Annual Report 2023*, 2023.

[11] Ericsson, *5G in Manufacturing*. [Online].

Available: <https://www.ericsson.com>

[12] Ericsson, *Digital Transformation Drives the Future for 5G Operators Globally*. [Online].

- 103778, 2020, doi:
10.1016/j.compedu.2019.103778.
- [26] Salesforce, *What is Digital Transformation?* [Online].
Available: <https://www.salesforce.com/digital-transformation/>
- [27] E. H. Schein, *Organizational Culture and Leadership*, 4th ed. San Francisco, CA, USA: John Wiley & Sons, 2010.
- [28] W. Shi, J. Cao, Q. Zhang, Y. Li, and B. Xu, "Edge computing: Vision and challenges," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, no. 5, pp. 637–646, 2016, doi: 10.1109/JIOT.2016.2568363.
- [29] P. R. Smith and D. Chaffey, *E-marketing Excellence*. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2005.
- [30] F. Tao, Q. Qi, M. Zhang, and A. Y. C. Nee, "Digital twinning and Industry 4.0: A review," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 46, pp. 35–49, 2018, doi: 10.1016/j.jmsy.2018.01.009.
- [31] P. C. Verhoef, K. N. Lemon, A. Parasuraman, A. Roggeveen, M. Tsiros, and L. A. Schlesinger, "Customer experience creation: Determinants, dynamics and management strategies," *Journal of Retailing*, vol. 85, no. 1, pp. 31–41, 2009, doi: 10.1016/j.jretai.2008.12.001.
- [32] G. Vial, "Understanding digital transformation: A review and a research agenda," in *Managing Digital Transformation*, Cham: Springer, 2019, pp. 13–66. doi: 10.1007/978-3-319-93044-8_2.
- [33] A. Zanella, N. Bui, V. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of Things for smart cities," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 6, pp. 1497–1506, 2014, doi: 10.1109/JSAC.2014.2300068.

DELINEATION OF GEOLOGICAL BOUNDARY IN IDI-EMI AND ENVIRONS, SOUTHWESTERN NIGERIA USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

S. A. Adekoya (1,*)

J. O. Coker (1)

H. T. Oladunjoye (1)

O. A. Adenuga(1)

F. O. Ogunsanwo(2)

A. A. Alabi(3)

P. A. Adesanya(1)

Received: 04/08/2025

Revised: 12/09/2025

Accepted: 13/09/2025

© 2025 University of Science and Technology, Aden, Yemen. This article can be distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](#), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

© 2025 جامعة العلوم والتكنولوجيا، المركز الرئيس عدن، اليمن. يمكن إعادة استخدام المادة المنشورة حسب رخصة مؤسسة المشاع الإبداعي شريطة الاستشهاد بالمؤلف والمجلة.

¹ Department of Physics, Faculty of Science, Olabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye.

² Department of Physics, Faculty of Science, Tai Solarin University of Education Ijagun, Ijebu-Ode

³ Department of Physics, Faculty of Science, Federal University of Agriculture, Abeokuta

*Corresponding Author's Email: adekoya.sofiat@oouagoiwoye.edu.ng

DELINEATION OF GEOLOGICAL BOUNDARY IN IDI-EMI AND ENVIRONS, SOUTHWESTERN NIGERIA USING ELECTRICAL RESISTIVITY METHOD

Adekoya, Sofiat A

Department of Physics, Faculty of Science, Olabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye.

adekoya.sofiat@oouagoiwoye.edu.ng

Coker, Joseph O

Department of Physics, Faculty of Science, Olabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye.

coker.joseph@oouagoiwoye.edu.ng

Oladunjoye, Hamid T

Department of Physics, Faculty of Science Olabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye.

oladunjoye.hamid@oouagoiwoye.edu.ng

Adenuga, Omolara A

Department of Physics, Faculty of Science Olabisi Onabanjo University, Ago-Iwoye.

adenuga.omolara@oouagoiwoye.edu.ng

Ogunsanwo, Fidelis O

Department of Physics, Faculty of Science Tai Solarin University of Education Ijagun, Ijebu-Ode

godif07@yahoo.com

Alabi, Aderemi A

Department of Physics, Faculty of Science, Federal University of Agriculture, Abeokuta

derylab@yahoo.com

Adesanya, Paula A

Department of Physics, Faculty of Science, Olabisi Onabanjo University Ago-Iwoye

adesanyapaula019@gmail.com

Abstract— Old geological maps in areas with complex rock formations often lack accuracy, risking misinformation, especially where lithological boundaries are subtle. This study integrates Vertical Electrical Sounding (VES) and 2D electrical imaging to improve subsurface mapping in the Idi-Emi area, southwestern Nigeria. The approach successfully identified three terrain types—sedimentary, transition, and basement complex—each with distinct resistivity and layer thickness ranges. The topmost geoelectric layers showed resistivities of 42–634 Ωm and thicknesses of 0.6–1.9 m across these terrains. New geological boundaries were delineated, refining the existing map and aligning with the Dahomey Basin framework. The enhanced geological model provides critical insights for groundwater aquifer delineation, hydrogeological exploration, and controlling illegal mining activities in the region. This integrated geophysical method demonstrates a valuable approach for accurate subsurface characterisation in geologically complex terrains.

Keywords— Geological Boundary, Basin, Lithostratigraphy, Transition Zone, Inhomogeneous Rocks

I. INTRODUCTION

Geophysical techniques involve the measurement of signals resulting from natural or artificial occurrences involving physical properties of subsurface formations [1]. Geophysical methods discover variances or anomalies in physical qualities inside the Earth's crust by detecting variations in magnetic susceptibility, electrical resistivity, seismic velocity, density, and elasticity using minimal or non-intrusive instrumentation for quick data collection.

Applications of geophysical methods include mineral exploration [2], groundwater exploration [3] [4], detection of ancient artefacts [5] [6], and detection and monitoring of environmental contaminants [7]. [8] [9] and geological characterisation [10].

Geological maps are considered conventional forms of geographic data that show different stratified rock layers.

The accuracy of geological maps is generally dependent on the quantity of outcrop exposures because they are often created using regional studies, field observations, drill record interpretation, and remotely sensed data [11] [12]. Results from the use of a single geophysical technique are less reliable due to the inherent shortcomings of individual geophysical procedures, even though the use of massive data sets has improved the precision of recent results obtained on geological mappings and the accuracy with which stratigraphic boundaries could be defined [13]. For instance, borehole data provide one-dimensional (1-D) delineation around a single point, probing laterally into the Earth's surface. Furthermore, information obtained through the analysis of remotely sensed data is very unreliable. Geological boundaries are routinely established based on inaccurate information [11] [12].

Historical maps in regions with heterogeneous rock types may be inaccurate and include serious potential errors, particularly in terrains with modest lithological variances that could make it challenging to establish relevant map units. Idi-Emi, the area of study, is situated in the eastern Dahomey Basin in southwestern Nigeria, distinguishing what is relevant in generating genuine geological map units difficult because of the complex nature of lithological variations within the Abeokuta Group. Furthermore, as new geological boundaries for regional maps are defined, there is a risk of defining incorrect units based on geographically minor lithological differences or of portraying broad areas as homogeneous, whereas little but persistent changes in features reflect different and varied depositional histories ([13]). The challenges of classifying available rocks and minerals, identifying the available mineral quantity for commercial purposes and enacting available laws that could stop illegal mining in Idi-Emi, coupled with recent revelations on rock inhomogeneity within large areas that were thought to have homogenous lithography, have called for a redefinition of its

geological boundary; as a result, a comprehensive geologic map of the area of study is required. The study aims at delineating the geological boundary of Idi-Emi, around Imeko-Afon, by delineating the underlying layers, their resistivities and thickness to determine the stratigraphy of the area of study. The study will also identify geological structures based on variances of the subsurface rock's electrical characteristics.

A. Geological and Geographical setting

This research study area is Idi-Emi, situated in the Imeko-Afon Local Council Development Area of Ogun State, Southwestern Nigeria. It lies within latitudes 6° 42'N to 7° 17'N and longitudes 3° 0'E to 3° 57'E. Minimum temperatures in the south vary from 19°C to 22°C, while maximum temperatures in the south range from 32°C to 35°C [14]. The region's average rainfall is 1200 mm, with a little decrease from south to north.

The study region is part of the Eastern Dahomey Basin, surrounded by basement rock in the north and sedimentary strata of the eastern Dahomey Basin in the south. The migmatite and granitic gneisses, quartzites, mildly migmatized to unmigmatized paraschists and meta-igneous rocks, charnockitic, gabbroic, and dioritic rocks, and members of the Older Granite suite, notably granite, granodiorites, and syenites, are the most common rocks found in this area [15] [16]. Dolerite dykes, the newest elements of this complex, cut through all of the other rocks in the vicinity, demonstrating strong contacts. The geographic view of Idi-Emi is shown in Fig. 1. The hypersthene-quartz diorite found in Idi-Emi has hypidiomorphic granular texture, greenish-brown color, and minerals that suggest charnockitic affinities [17] [18]. The rock differs from typical charnockitic 'intermediate members' in two ways: (i) antiperthite is relatively sparsely developed, and (ii) orthopyroxene crystals lack the strong pleochroism seen in charnockitic hypersthene [18].

II. METHODS

The electrical resistivity approach was applied to create a physical map of the site's subsurface, locate fracture zones, and collect data on the structural and physical attributes of the ground. The method utilizes current from a direct commutated or low-frequency alternating current of electromotive force to depict the Earth's content, and according to Ohm's Law, a proportional relationship exists between the resulting potential difference (V) between the potential electrode pair and the magnitude of current (I) transmitted via the current electrode, with the constant of proportionality of these two parameters being the resistance (R) of the Earth material along the path followed by the current. Resistivity of the Earth's materials, which is the

ability of a material to impede (or resist) the flow of electrical current through it, is given in equation 1.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad (1)$$

The system international (SI) unit is Ωm . For the purpose of determining the distribution of resistivity in subsurface materials, and because of the challenging geology of the research area, the Vertical Electrical Sounding (VES) technique was utilized in this study to take measurements of the change in Earth's resistivity both vertically and horizontally. In general, resistivity is measured by sending current into the ground via two current electrodes, C1 and C2, and measuring the voltage difference between them by two potential electrodes, P1 and P2. Three (3) traverses were acquired at a maximum of 200 m long, as shown in the base map (Fig. 2). A total of 22 VES points were acquired along three traverses up to 200 meters in length. Electrical current was injected through current electrodes (C1 and C2), while potential differences were recorded via potential electrodes (P1 and P2). Field measurements were manually plotted on log-log graphs of apparent resistivity versus half-current electrode spacing (AB/2) and initially interpreted using curve-matching techniques.

To ensure data accuracy and model reliability, a comprehensive error analysis was integrated into the workflow. Repeat measurements were performed at selected AB/2 spacings to check for consistency. Variations greater than $\pm 10\%$ were flagged as potential outliers due to contact resistance or environmental noise. The resulting data was processed using Prosys II, allowing importation, validation, and transformation of the raw data into formats compatible with modeling software. The final inversion was conducted using a finite element inversion algorithm (WinResist), generating 1D resistivity models that reflect vertical resistivity variations. Root Mean Square (RMS) Error values were computed to assess the quality of fit between observed and calculated resistivity values. Models with RMS errors below 10% were considered acceptable as proposed by [19]. A sensitivity analysis was manually performed by varying resistivity and thickness parameters $\pm 10\text{--}20\%$ in selected layers to evaluate the effect on RMS error. Significant changes in misfit indicated well-constrained parameters, while minimal changes revealed potential non-uniqueness or poor resolution [20]. The final resistivity models were used to delineate distinct subsurface zones. Sedimentary terrains were characterized by low resistivity (10–2500 Ωm), basement complexes by high resistivity (>5000 Ωm), and transition zones by intermediate resistivity (100–5000 Ωm) [21] [22]; [20]. These interpretations guided the identification of structural complexities, lithological changes, and geologic boundaries, which are relevant to groundwater exploration, engineering site investigation, and land-use planning.

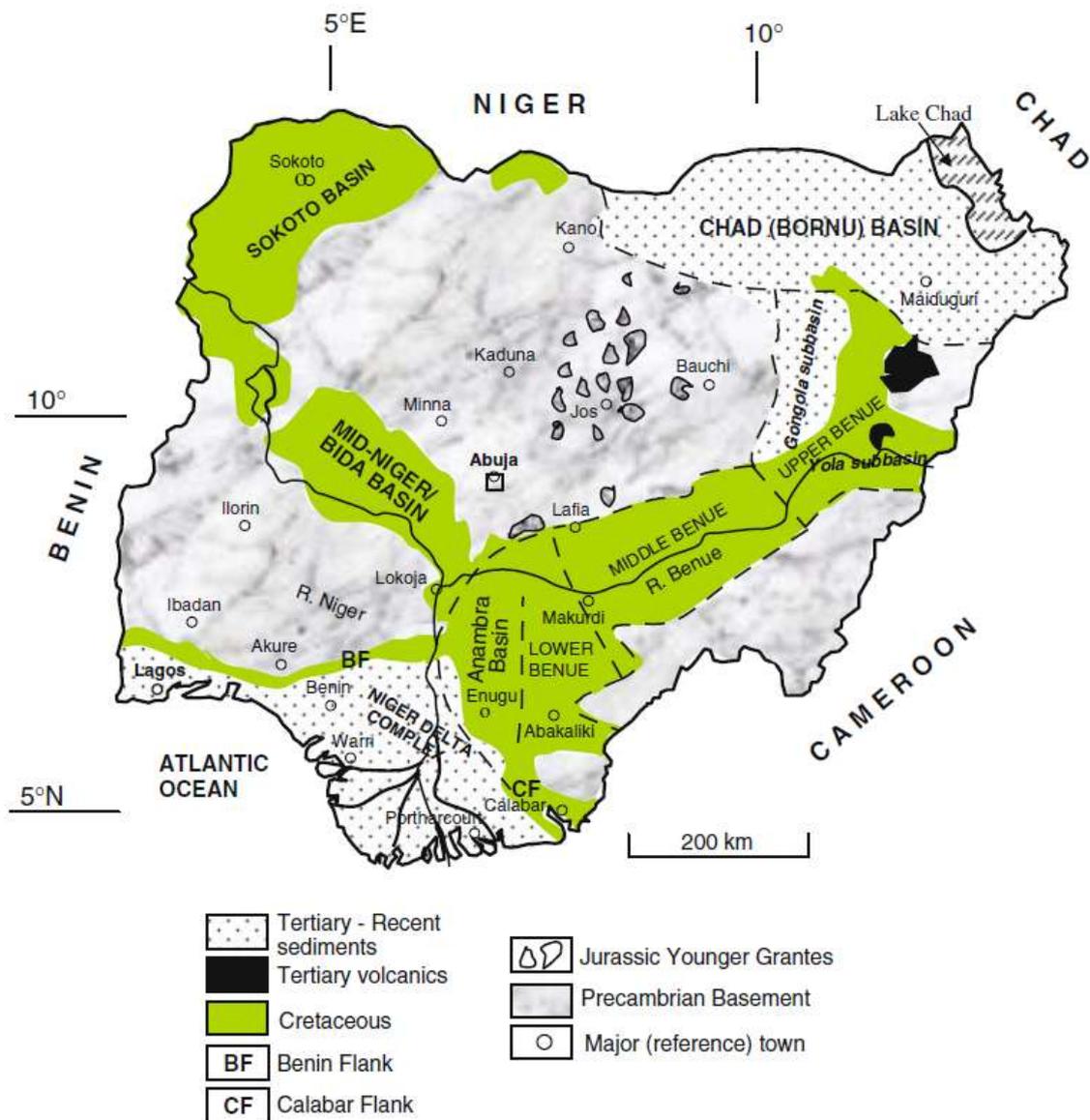


Figure. 1: Nigeria's Geographical Map (adapted from [23])

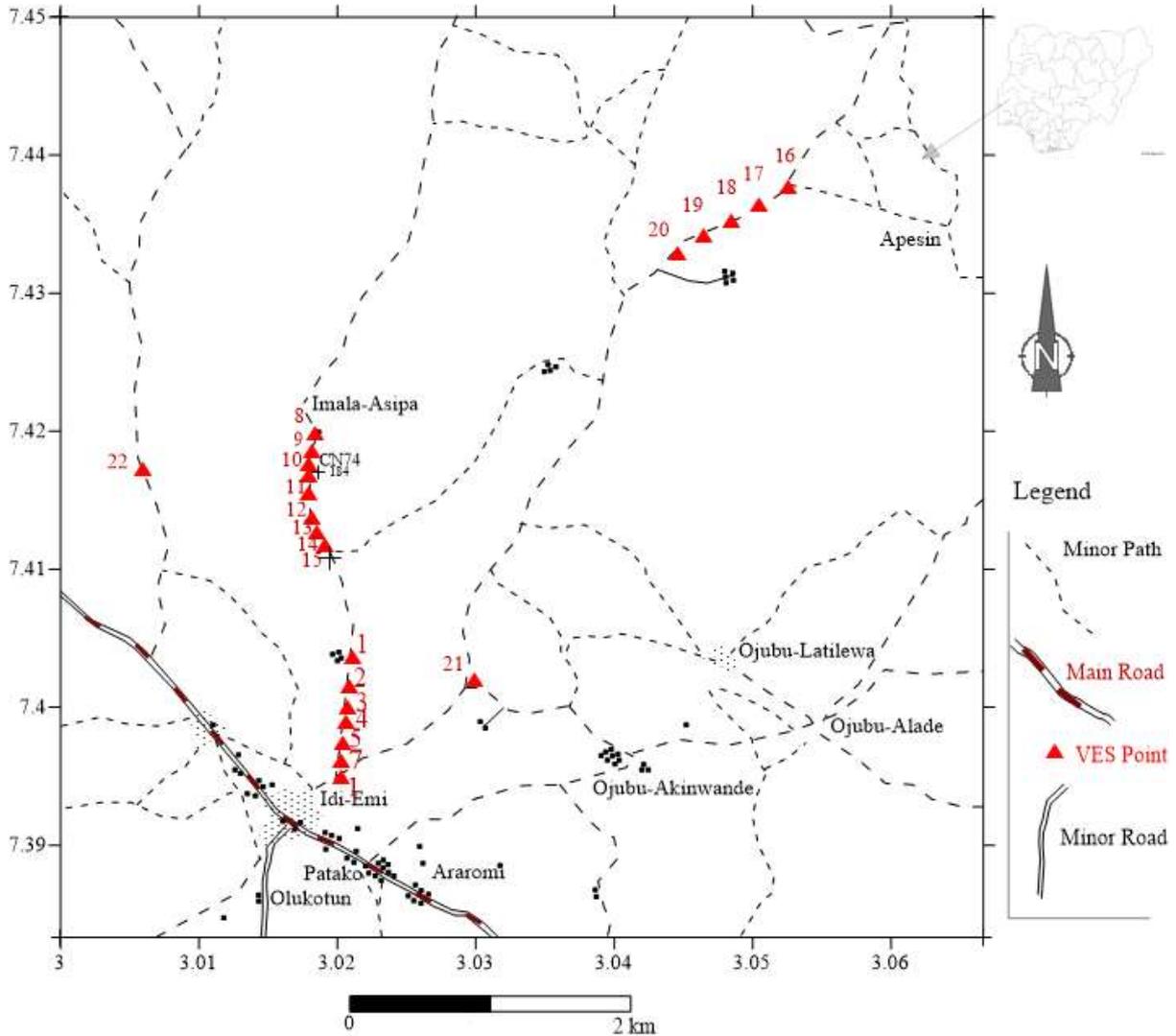


Figure. 2: The Base map showing VES profiles at Idi-Emi

III. RESULTS

Table 1 summarizes the Vertical Electrical Sounding (VES) results, including resistivity, thickness, depth, curve types, lithological interpretations, and inferred terrain. Eight distinct resistivity curve types were identified across the study area—H, AA, HA, AK, HK, KH, KHK, and HKH—each reflecting underlying geological variations. The H and HKH types are predominant in the northern and southwestern margins,

respectively; KH occurs mainly in the central region, while the remaining curve types are characteristic of the southern portion. Representative resistivity curves are illustrated in Figs. 3 to 6. Apparently, the resistivity curves generally revealed a range of three (3) to five (5) geo-electric layers. From the parameters of iterations (resistivity value, thickness, and depth) associated with the individual curve, the boundary line across the major geologic provinces is drawn.

Table1: Summary of VES result for Sedimentary terrain

VES STATION	LAYER NUMBER	RESISTIVITY (Ωm)	THICKNESS (m)	DEPTH (m)	CURVE TYPE	LITHOLOGIC INFERENCE	INFERRED TERRAIN
1	1	500	0.6	0.6		Topsoil	
	2	530	3.1	3.7	AA	Kaolinitic Sand	Sedimentary
	3	1500	36.3	40		Sand	
	4	2000	-			Dry Sand	
2	1	248	0.9	0.9		Topsoil	
	2	187	1.4	2.3	HA	Sandy Clay	Sedimentary
	3	917	54	56.3		Sand	
	4	1685	-	-		Dry Sand	
3	1	537	0.9	0.9		Topsoil	
	2	267	5.5	6.5	HA	Clayey Sand	Sedimentary
	3	871	44.6	51.1		Sand	
	4	2998	-	-		Dry Sand	
4	1	180	0.8	0.8		Topsoil	
	2	289	4.6	5.4	AA	Clayey Sand	Sedimentary
	3	1188	45.5	50.8		Sand	
	4	2102	-	-		Dry Sand	
5	1	634	0.8	0.8		Topsoil	
	2	900	8.2	9	AK	Kaolinitic Sand	Sedimentary
	3	2400	56	65		Dry Sand	
	4	1840	-	-		Wet Sand	
6	1	238	0.9	0.9		Topsoil	
	2	707	5.3	6.2	AK	Kaolinitic Sand	Sedimentary
	3	2664	54.3	60.5		Dry Sand	
	4	1331	-	-		Wet Sand	
7	1	42	1.2	1.2		Topsoil	
	2	188	3.6	4.8	AK	Sandy Clay	Sedimentary
	3	3038	51.5	56.3		Dry Sand	
	4	756	-	-		Wet Sand	

Table2: Summary of VES result for Transition terrain

VES STATION	LAYER NUMBER	RESISTIVITY (Ωm)	THICKNESS (m)	DEPTH (m)	CURVE TYPE	LITHOLOGIC INFERENCE	INFERRED TERRAIN
8	1	1043	1.2	1.2		Topsoil	Transition zone
	2	49	19.2	20.4		Clay	
	3	857	57.2	77.6	HK	Fresh Basement	
	4	302	-	-		Fractured Basement	
9	1	120	0.8	0.8	KH	Topsoil	Transition zone
	2	205	2	2.8		Lateritic Clay	
	3	33	13.1	15.9		Clay	
	4	915	-	-		Fresh Basement	
10	1	153	1.2	1.2		Topsoil	Transition zone
	2	180	4.8	6	KH	Lateritic Clay	
	3	80	29	35		Clay	
	4	630	-	-		Fresh Basement	
11	1	315	0.9	0.9		Topsoil	Transition zone
	2	1200	9.1	10	KH	Kaolinitic Sand	
	3	330	48	58		Clayey Sand	
	4	1500	-	-		Fresh Basement	
12	1	2240	0.8	0.8		Topsoil	Transition zone
	2	3900	7.2	8		Conglomeratic Sand	
	3	2701	15.5	23.5	KHK	Conglomeratic Clay	
	4	3699	23	46.5		Conglomeratic Sand	
	5	471	-	-		Clayey Sand	
13	1	2699	0.8	0.8		Topsoil	Transition zone
	2	5513	3.1	3.9		Conglomeratic Sand	
	3	2891	9	12.9	KHK	Kaolinitic Sand	
	4	5688	50.8	63.7		Conglomeratic Sand	
	5	1893	-	-		Wet Gravel/Sand	
14	1	2855	0.8	0.8		Topsoil	Transition zone
	2	5308	2.8	3.6		Conglomeratic Sand	
	3	1781	11.3	14.9	KHK	Kaolinitic sand	
	4	11664	59.5	74.4		Conglomeratic Sand	
	5	3124	-	-		Wet Gravel/Sand	
15	1	1623	0.8	0.8		Topsoil	Transition zone
	2	3270	2.4	3.1		Conglomeratic Sand	
	3	1844	11	14.1		Kaolinitic Sand	
	4	11615	70.6	84.7	KHK	Conglomeratic Sand	
	5	4244	-	-		Wet Gravel/Sand	

IV. DISCUSSION

Sedimentary Terrain

Traverse 1 was generated using the geoelectric sections of VES1-7 as shown in Fig. 7, which falls within the sedimentary terrain at Idi-Emi. The topmost geo-electric layer possesses a resistivity and thickness range of 42 Ωm – 634 Ωm and 0.6 m – 1.2 m. It is inferred as the topsoil. Resistivity components of this layer widely revealed a sandy topsoil with minor pockets of clay. Underlying the topsoil is a highly heterogeneous geo-electric stratum composed of resistivity units varying between 530 Ωm – 900 Ωm , 267 Ωm – 289 Ωm , and 187 Ωm – 188 Ωm (Fig. 7), respectively interpreted as kaolinitic sand, clayey sand, and sandy clay. It is majorly a kaolinitic and clayey sand layer embedded with minor lenses of sandy clay. The thickness range of the layer is 1.4 m – 8.2 m. Beneath the heterogeneous geo-electric layer lies a fairly homogeneous stratum with a resistivity range of 871 Ωm – 3038 Ωm and thickness ranges between 36.3 m and 56.0 m;

it is inferred as a sand stratum. Due partly to increasing geothermal gradient with depth along VES 1, 2, 3, and 4, the sand stratum became more resistive, exhibiting a resistivity range of 1685 Ωm – 2998 Ωm , and inferentially reflecting a dry sand stratum. This is, however, not the case beneath VES 5, 6, and 7, which experienced a drastic drop in resistivity value to a range of 756 Ωm – 1840 Ωm due to groundwater circulation. The lithologic inference for this unit is wet sand. Around the Ogene axis (VES 21), four geo-electric units with resistivity values of 180 Ωm , 320 Ωm , 121 Ωm , and 289 Ωm were revealed from top to bottom (shown in Fig. 8). By inference, the unit corresponds to a 0.9 m-thick topsoil, 8.5 m-thick clayey sand, 50.5 m-thick sandy clay, and fractured basement in the aforementioned order. Cumulative thickness of the strata on the fractured basement is 59.9 m. This axis is another notable transition zone between the basement complex and the continental margin of the Eastern Dahomey Basin.

Table 3: Summary of VES result for Basement terrain

VES STATION	LAYER NUMBER	RESISTIVITY (Ωm)	THICKNESS (m)	DEPTH (m)	CURVE TYPE	LITHOLOGIC INFERENCE	INFERRED TERRAIN
16	1	1071	1.1	1.1		Topsoil	
	2	59	25.8	26.9		Clay	
	3	1231	52.7	79.6	HK	Fresh Basement	Basement
	4	202	-	-		Fractured Basement	
17	1	638	1.9	1.9		Topsoil	
	2	117	20.1	22	H	Sandy Clay	Basement
	3	1044	-	-		Fresh Basement	
18	1	1105	1	1		Topsoil	
	2	100	5.6	6.6		Sandy Clay	
	3	393	10.5	17.1	HKH	Clayey Sand	
	4	65	23	40.1		Fractured Basement	Basement
	5	1602	-	-		Fresh Basement	
19	1	2015	1.7	1.7		Topsoil	
	2	56	8.3	10		Clay	
	3	168	12.8	22.8	HKH	Sandy Clay	Basement
	4	26	31.3	54.2		Fractured Basement	
	5	1421	-	-		Fresh Basement	
20	1	338	0.9	0.9		Topsoil	
	2	60	14.1	15	H	Clay	Basement
	3	2659	-	-		Fresh Basement	
21	1	145	0.9	0.9		Topsoil	
	2	320	8.5	9.4	KH	Clayey Sand	
	3	121	50.5	59.9		Sandy Clay	Sedimentary
22	1	102	1.4	1.4		Topsoil	
	2	25	17.1	18.5	KH	Clay	Basement
	3	943	-	-		Fresh Basement	

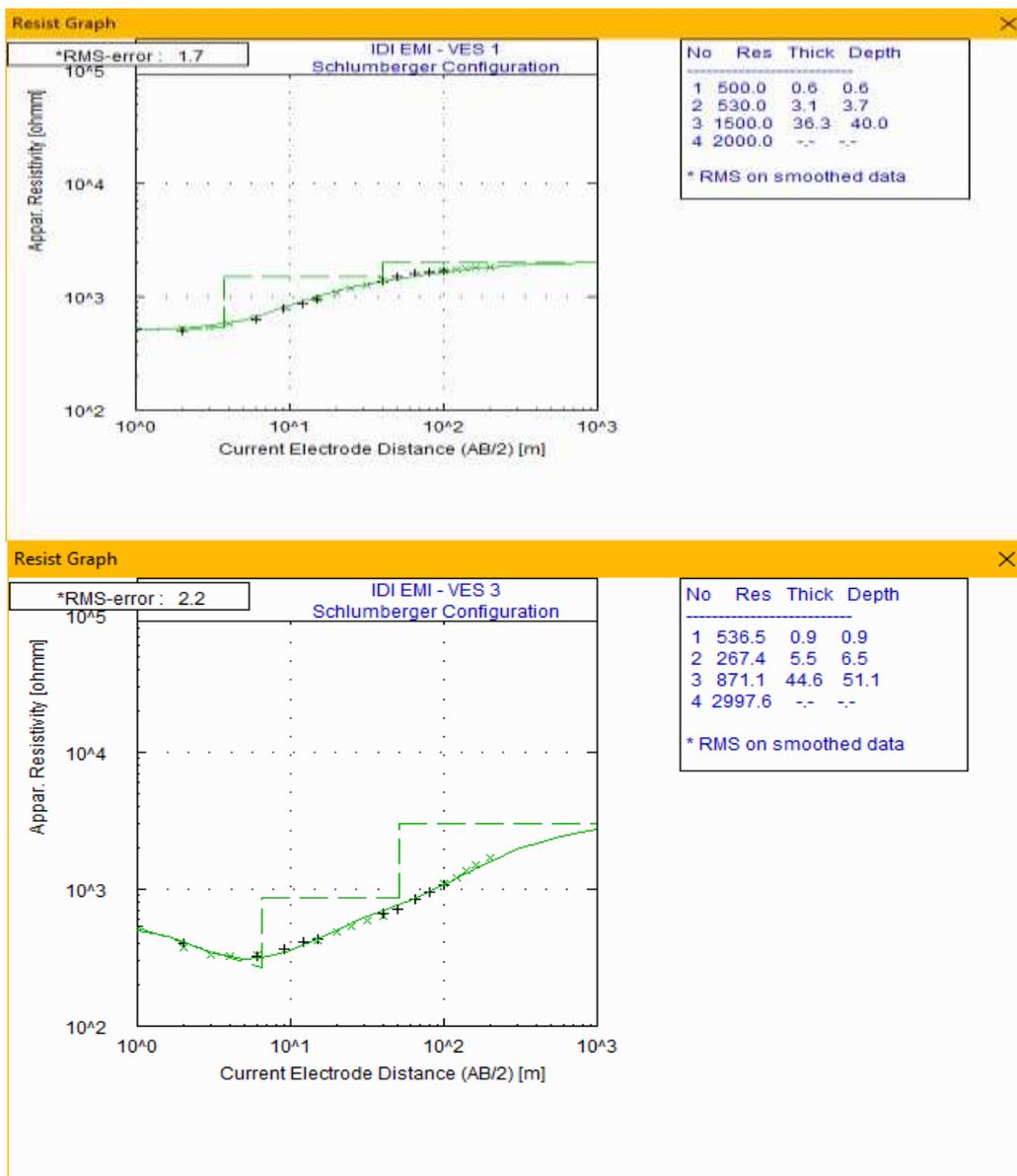


Figure. 3: a) Resistivity model for curve type AA b) resistivity model for curve type HA

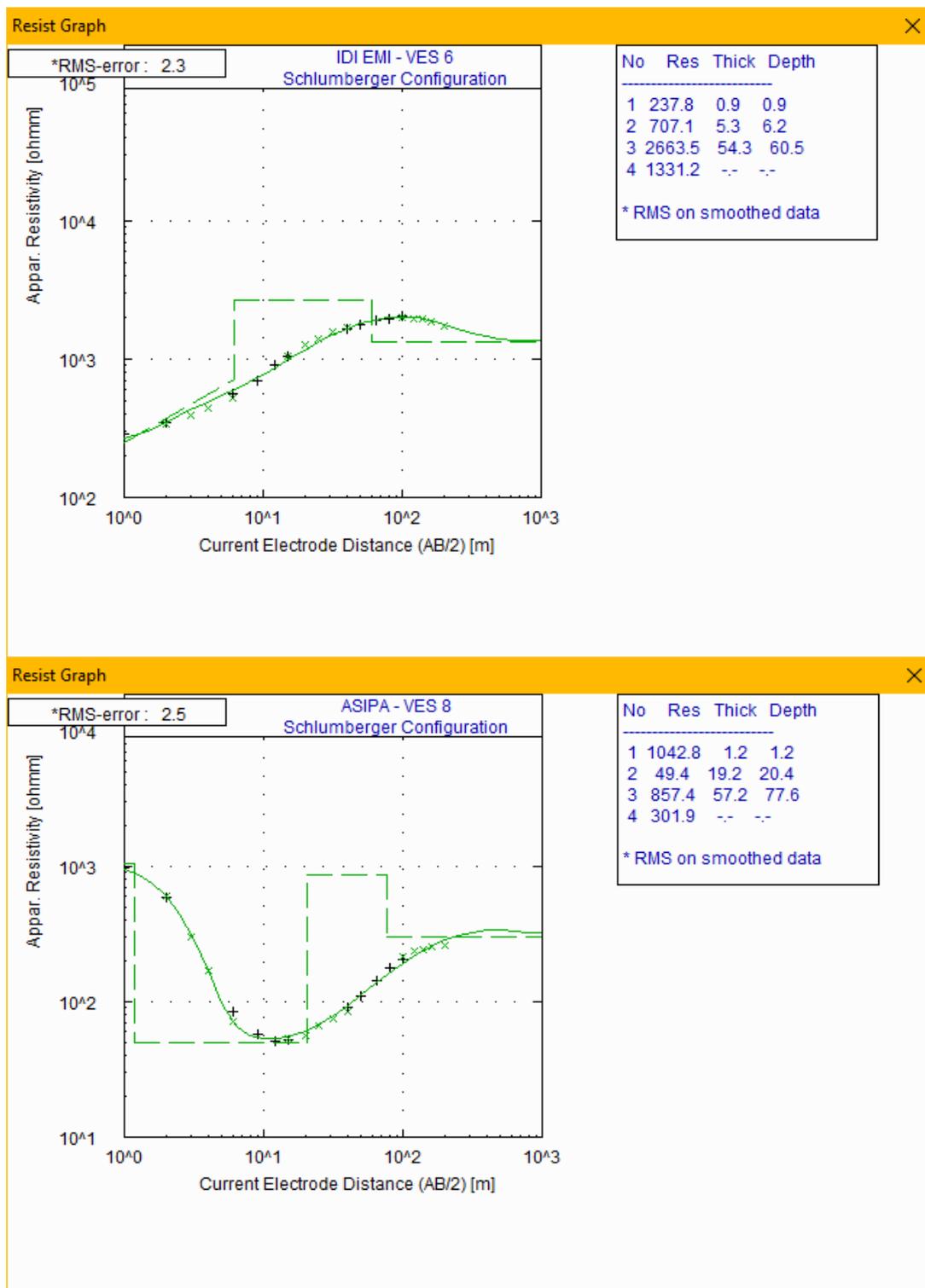


Figure. 4: a) Resistivity model for curve type AK b) resistivity model for curve type HK

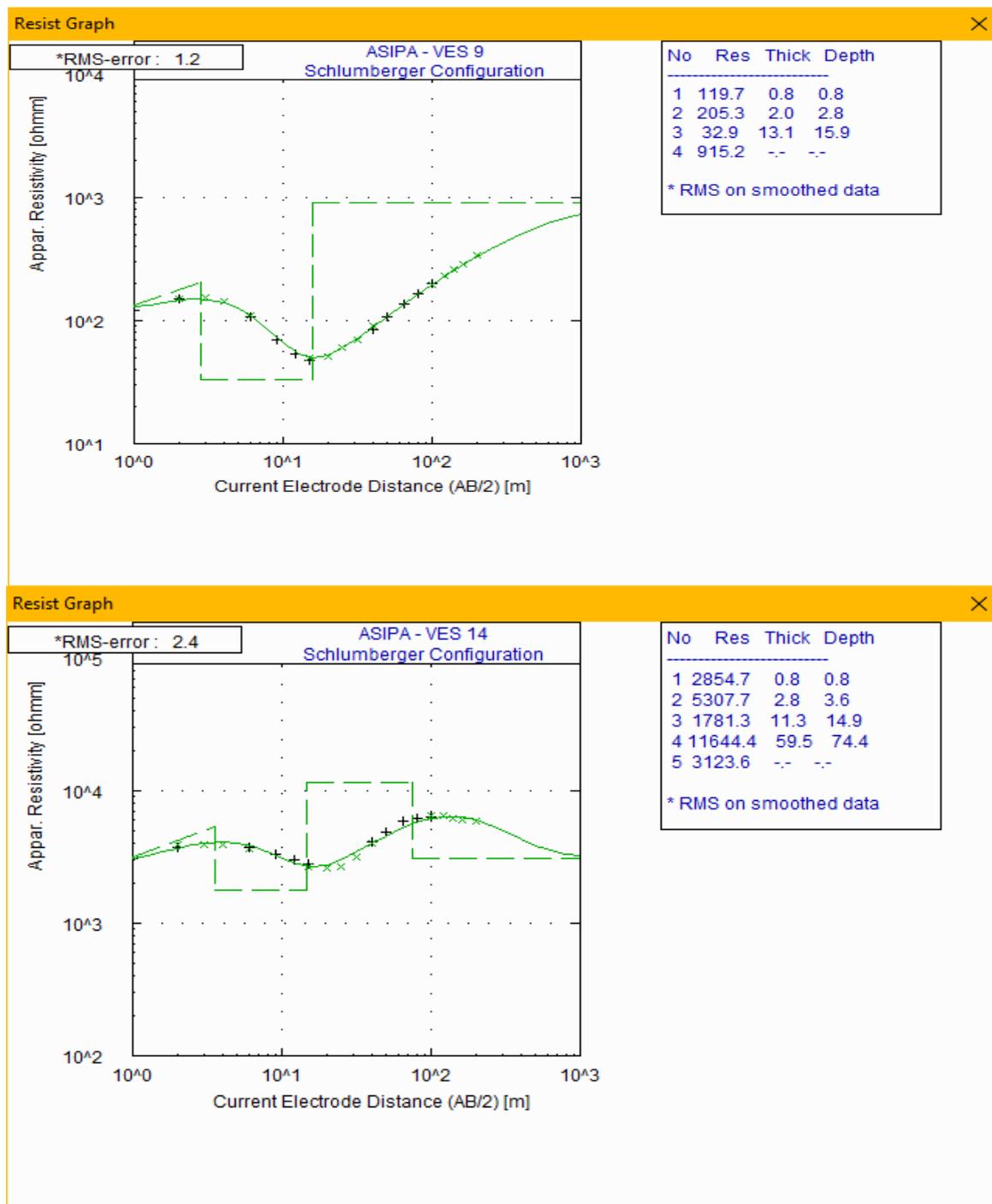


Figure. 5: a) Resistivity model for curve type KH b) resistivity model for curve type KHK

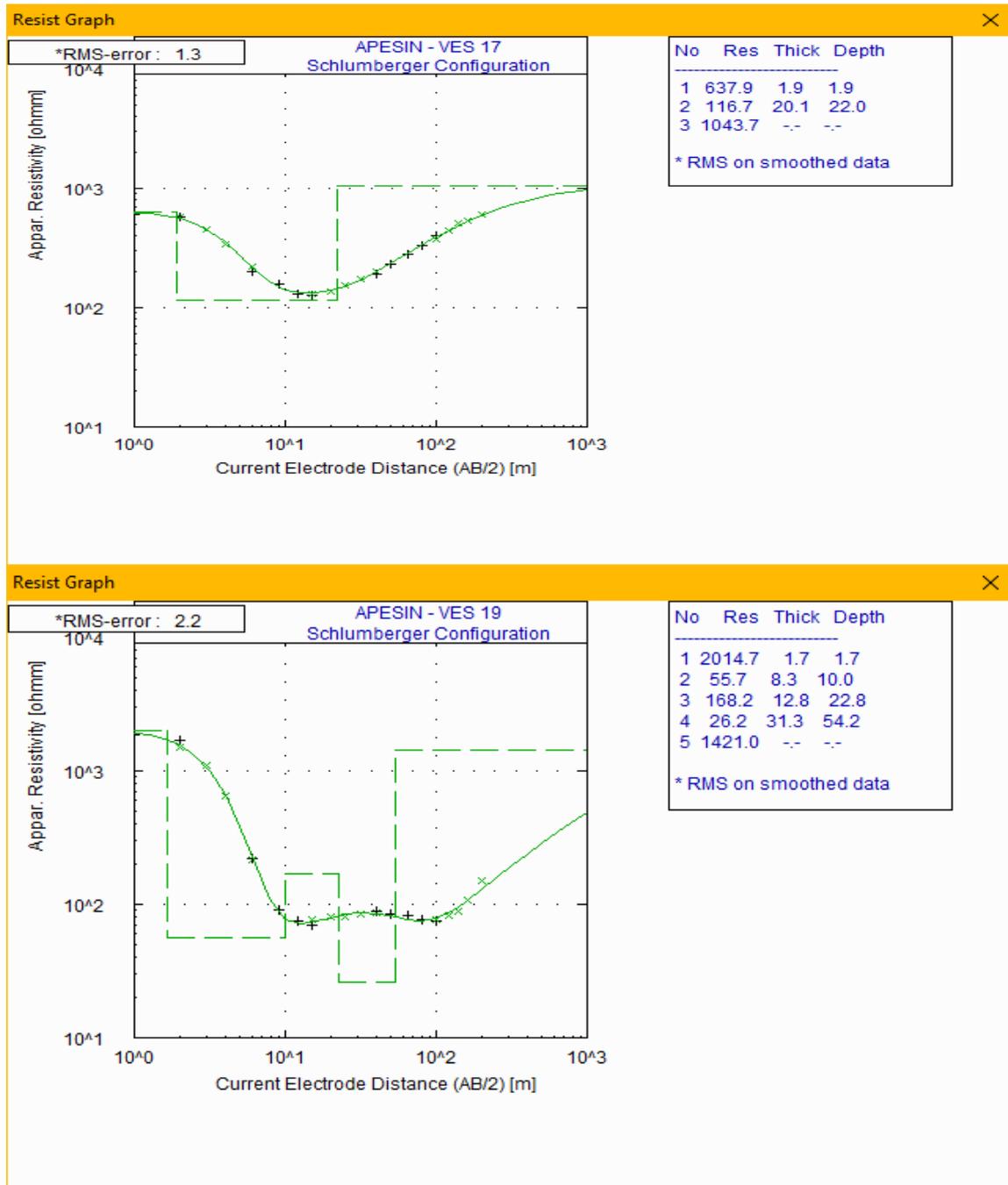


Figure. 6: a) Resistivity model for curve type H b) resistivity model for curve type HKH

Transition Zone

Geo-electric settings along Traverse 2 are marked by both lateral and vertical variation in geo-electric parameters. This traverse comprised of eight (8) correlated VES stations (VES 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 and 15), underlain by a range of four (4) – five (5) geo-electric layers. Depicted on Fig. 9 is the geo-electric section along traverse 2. This section is characterized by abrupt contrast in resistivity, thickness and orientation of geo-electric units. On the basis of these parameters, two broad geo-electric categorizations are recognized, which are, the obliquely warping northern portion and the thickly stratified southern segment, possessing a resistivity range of $33 \Omega\text{m} - 1500 \Omega\text{m}$ and $1894 \Omega\text{m} - 11664 \Omega\text{m}$ respectively.

Although four geo-electric layers are vertically revealed beneath the northern flank (VES 8, 9, 10, and 11), their correlation, however, revealed the presence of seven geo-electric units due apparently to the geologic complexity of this locality. The units from top to bottom ranges in resistivity between $120 \Omega\text{m} - 1043 \Omega\text{m}$, $180 \Omega\text{m} - 250 \Omega\text{m}$, $33 \Omega\text{m} - 80 \Omega\text{m}$, $330 \Omega\text{m} - 471 \Omega\text{m}$, $630 \Omega\text{m} - 1500 \Omega\text{m}$ and $302 \Omega\text{m}$ (Fig. 9); which respectively correspond to the topsoil, lateritic clay, clay, clayey sand, fresh basement and fractured basement. The topsoil is laterally heterogeneous, consisting of sandy clay and sand. Its thickness range is $0.8 \text{ m} - 1.2 \text{ m}$ around this axis. Beneath the topsoil, lies the lateritic clay which ranges from $2.0 \text{ m} - 4.2 \text{ m}$ in thickness. A thick descending clay unit, ranging between $13.1 \text{ m} - 29.0 \text{ m}$ underlies the laterite. Both the lateritic clay and clay units are obliquely inclined. Towards the central part of the traverse, the overburden became more progressively sandy (clayey sand composition) and nearly vertically descended (submerged). This submerged clayey sand unit is at least 48 m thick; extending to infinity basin-ward. Cumulatively, the

overburden thickness ranges between 15.9 m to 58.0 m on the basement flank.

A very thick geo-electric sequence which rest unconformably on the clayey sand overburden occupies the southern half of the traverse. The stratum resistivity, from top to bottom, ranges from $1623 \Omega\text{m} - 2855 \Omega\text{m}$, $3270 \Omega\text{m} - 5513 \Omega\text{m}$, $1200 \Omega\text{m} - 3900 \Omega\text{m}$, $3699 \Omega\text{m} - 11664 \Omega\text{m}$ and $1893 \Omega\text{m} - 4244 \Omega\text{m}$; indicative of the topsoil, upper conglomeratic sand, kaolinic sand, lower conglomeratic sand and sand respectively. With the exception of the basal sandstone with infinite thickness, thickness range of individual stratum is $0.8 \text{ m} - 0.8 \text{ m}$, $2.4 \text{ m} - 3.1 \text{ m}$, $9.0 \text{ m} - 15.1 \text{ m}$, $38.5 \text{ m} - 70.6 \text{ m}$ in the aforementioned order. Inferred succession along the sedimentary segment revealed the preponderance of thick conglomeratic strata intercalating the sandstone strata. At the surface, the sequence is extensively capped by conglomeratic topsoil. This sequence, according to Omatsola and Adegoke (1981) is known as Ise formation. The formation occurs as a vast plateau landform around the Asipa axis.

Basement Terrain

Six resistivity curves (VES16, 17, 18, 19, 20 and 22) are recognized as basement curves, on the basis of resistivity relationships of the iterated parameters (Fig. 3-6). The basement territory is underlain by a range of three to five geo-electric layers. Areas underlain by three geo-electric layers (VES 17, 20 and 22) varied in resistivity value between $102 \Omega\text{m} - 638 \Omega\text{m}$, $25 \Omega\text{m} - 117 \Omega\text{m}$ and $943 \Omega\text{m} - 1500 \Omega\text{m}$ from top to bottom; which is respectively indicative of topsoil, weathered layer (clay and sandy clay) and fresh basement. Topsoil ranges in thickness between $0.9 \text{ m} - 1.9 \text{ m}$, weathered layer between $18.5 \text{ m} - 22.5 \text{ m}$ while the thickness of the fresh basement extends to infinity. However, depth range to the fresh basement interface is $15 \text{ m} - 22 \text{ m}$.

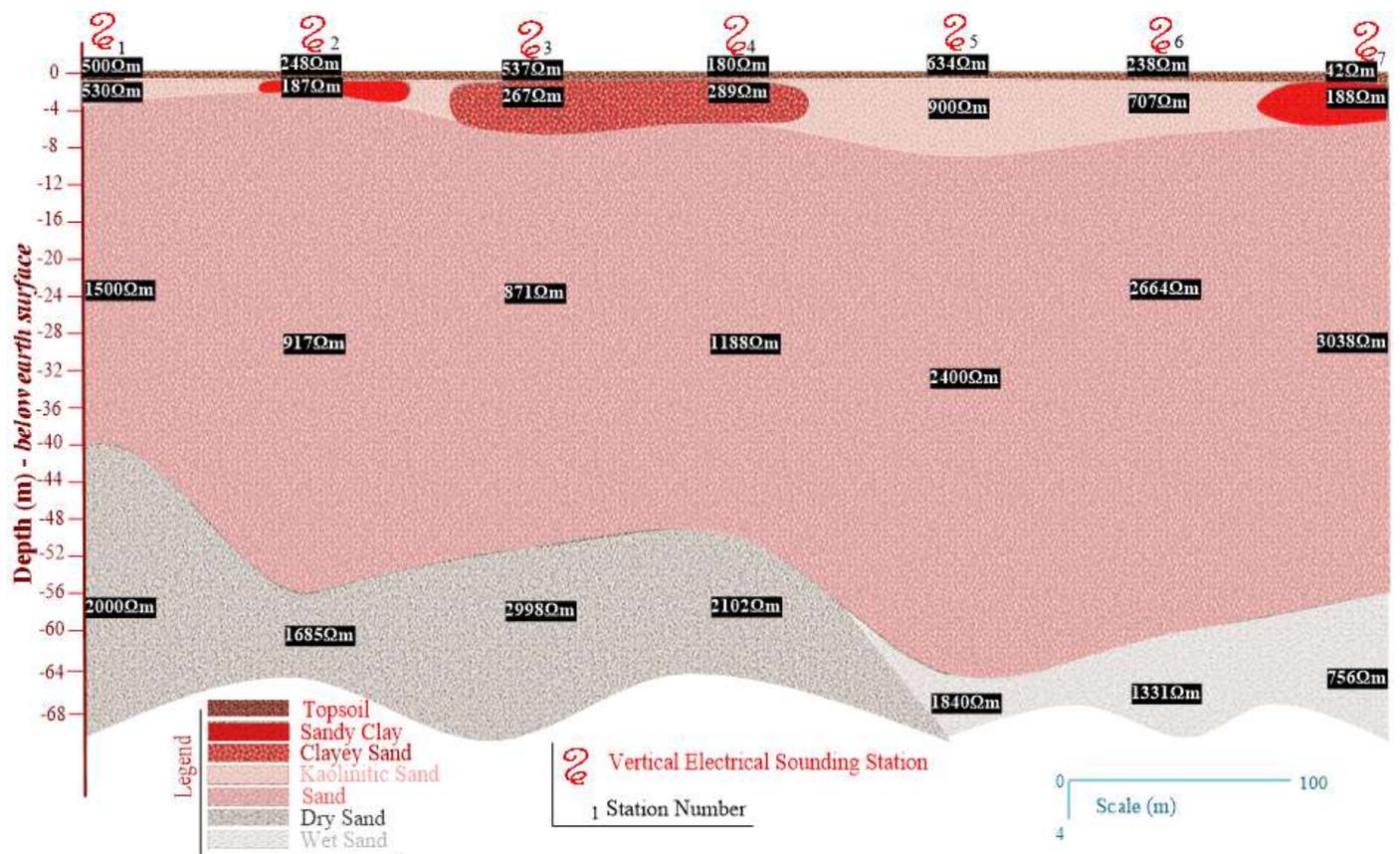


Figure . 7: Geo-electric Section along Traverse 1 which falls within Sedimentary Terrain, Idi Emi.

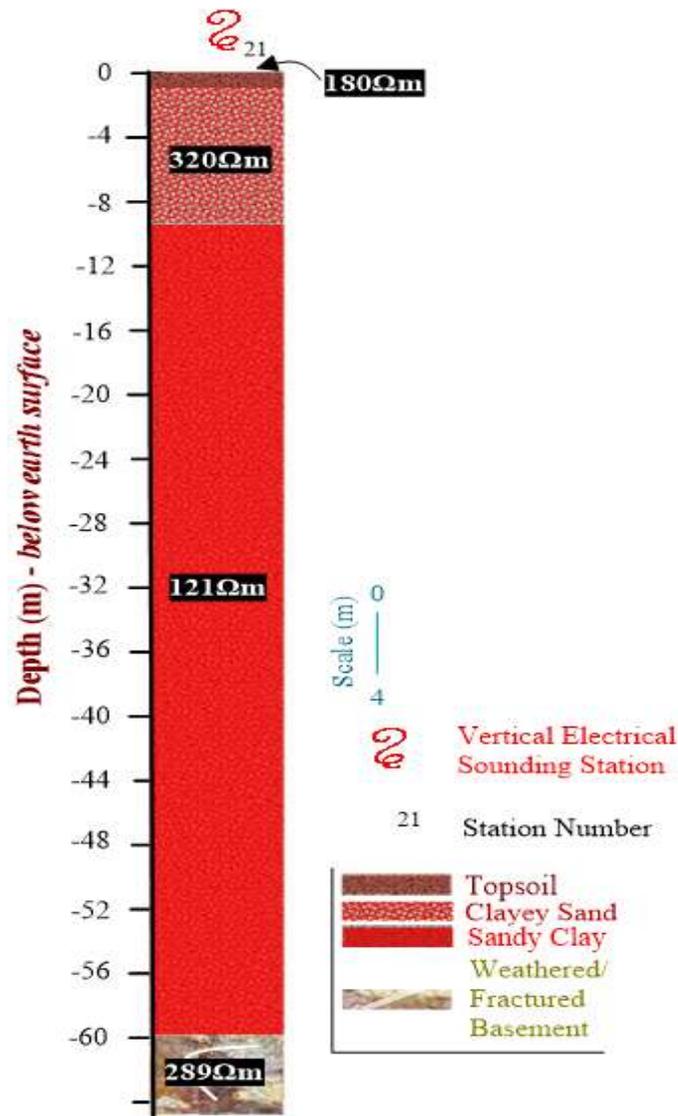


Figure. 8: Geo-electric Section of VES 21, Ogene Axis

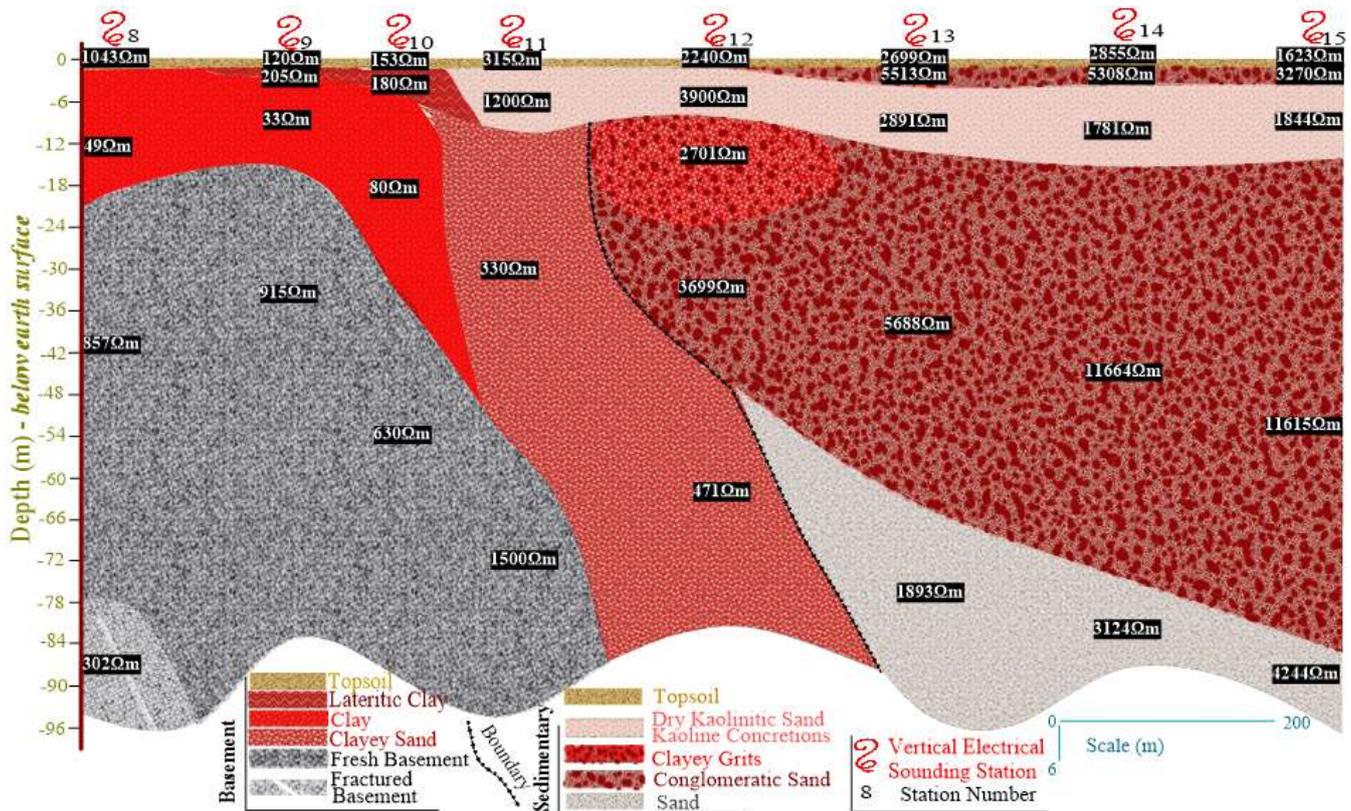


Figure 9: Geo-electric Section along the Traverse 2, Idi-Emi Transition Zone

Four geo-electric units are surveyed beneath VES 16, 17, 18, 19, and 20. VES 16 is an HK curve that, from top to bottom, has a resistivity value of 1071 Ωm for topsoil, 59 Ωm for clay, 1231 Ωm for fresh basement, and 202 Ωm for fractured basement. The thickness of the topsoil, clay, and fresh basement are 1.1 m, 25.8 m, and 57.2 m, respectively, while the depth to the top of the fracture is 79.6 m. Logically, the depth to the fresh basement is 25.8 m (similar to that of a typical three-layer model), but the deeper presence of fractures within the basement rocks further created another geo-electric layer of anomalous resistivity.

VES stations 9, 10, and 11, on the other hand, revealed a KH signature. Resistivity value, from top to bottom, ranges between 120 Ωm – 315 Ωm , 180 Ωm – 1200 Ωm , 33 Ωm – 330 Ωm , and 915 Ωm – 1500, interpreted as the topsoil, lateritic clay/kaolinitic sand, clay/clayey sand, and fresh basement in that order. The corresponding thickness range is 0.8 m – 1.2 m, 2.0 m – 4.8 m, and 13.1 m – 29.0 m, while that of the fresh basement extends to infinity. Total overburden thickness covering the fresh basement ranges between 15.9 m and 58.0 m. In the case of a five-layered basement subsurface encountered beneath VES 18 and 19, the resistivity and thickness ranges of the five (5) geo-electric layers, from top to bottom, are 1105 Ωm – 2015 Ωm and 1.0 m – 1.7 m, 56 Ωm – 100 Ωm and 5.6 m – 8.6 m, 168 Ωm – 393 Ωm and 10.5 m – 12.8 m, 26 Ωm – 65 Ωm and 23.0 m – 31.3 m, and 1421 Ωm – 1602 Ωm with an infinite thickness. Lithologic inference in that order is topsoil, clay/sandy clay, sandy clay/clayey sand, fractured basement, and fresh basement. Depth to fresh basement ranges from 40.1 m to 54.2 m.

Subsurface cross-section of the basement curves (VES 16, 17, 18, 19, and 20) as a whole revealed a range of three to five geo-electric layers. Increments in geo-electric beyond three layers are due either to heterogeneity of the weathered basement or occurrences of fractures within the crystalline basement in this area. The geo-electric section along traverse 3 (Fig. 10) is apparently a depiction of three to five geo-electric layers, but the subsurface resistivity setting can be appropriately reclassified into four geo-electric layers, which from top to bottom ranges from 338 Ωm – 2015 Ωm , 56 Ωm – 393 Ωm , 26 Ωm – 202 Ωm , and 1044 Ωm – 2000 Ωm for topsoil, weathered layer, fractured basement, and fresh basement. The topsoil is 0.9 m – 1.9 m in thickness. Thickness of the weathered layer varied between 15.0 m and 26.9 m. On the basis of depth occurrence, two fractured zones are recognized, which are the upper and lower basement fractures (Fig. 10).

The upper fractured basement is a 23.0 m – 31.3 m thick conductive zone whose depth never exceeded 55 m. The lower fractured basement, on the other hand, is a relatively deeper fractured zone, occurring below 80.0 m depth. Depth to the fresh basement varied between 15.0 m and 54.2 m around the upper fractured zone. However, vicinities underlain by lower fractured basement exhibit a dual interface with the fresh basement—the upper interface bounded by regolith but the lower by the fractures. Depth of the regolith cover on the fresh basement ranges between 15.0 m and 26.9 m.

Fig. 11 is the geo-electric log beneath VES 22, stationed around the Obada axis. It is underlain by three geo-electric layers, which, from top to bottom, are characterized by a

resistivity and thickness of 104 Ωm and 1.4 m (inferred as topsoil), 25 Ωm and 17.1 m (clay), and 943 Ωm (fresh basement). Apesin and Obada axes are two prominent basement localities with typical undulating depth-to-basement ranges, which generally varied between 18.5 m and

26.9 m. Around fractured basement provinces, however, the depth is deeper, ranging between 40.1 m and 54.2 m beneath the shallow fractured zones but definitely far below 80 m underneath the deeper fractures.

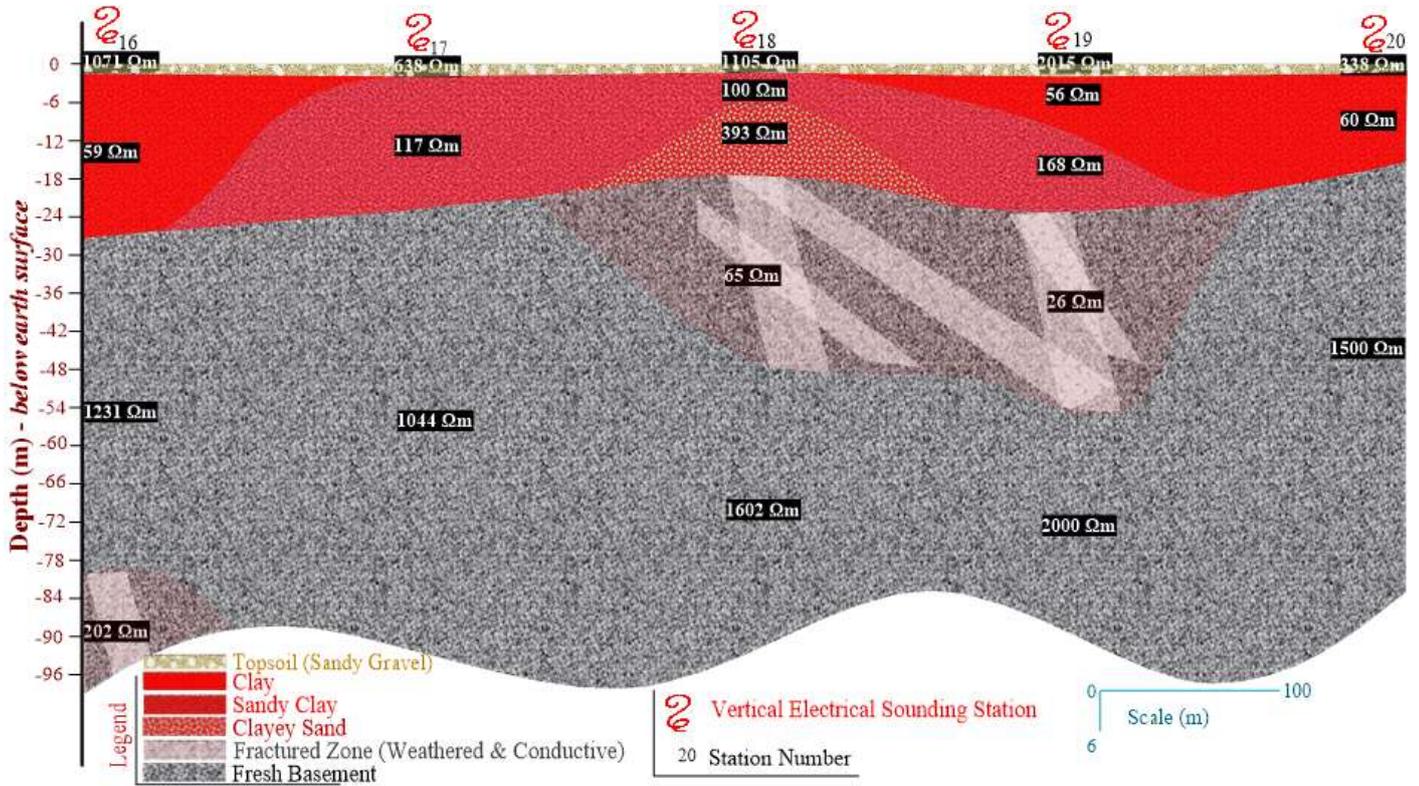


Figure. 10: Geo-electric Section along Traverse 3. This traverse falls within the Basement Terrain.

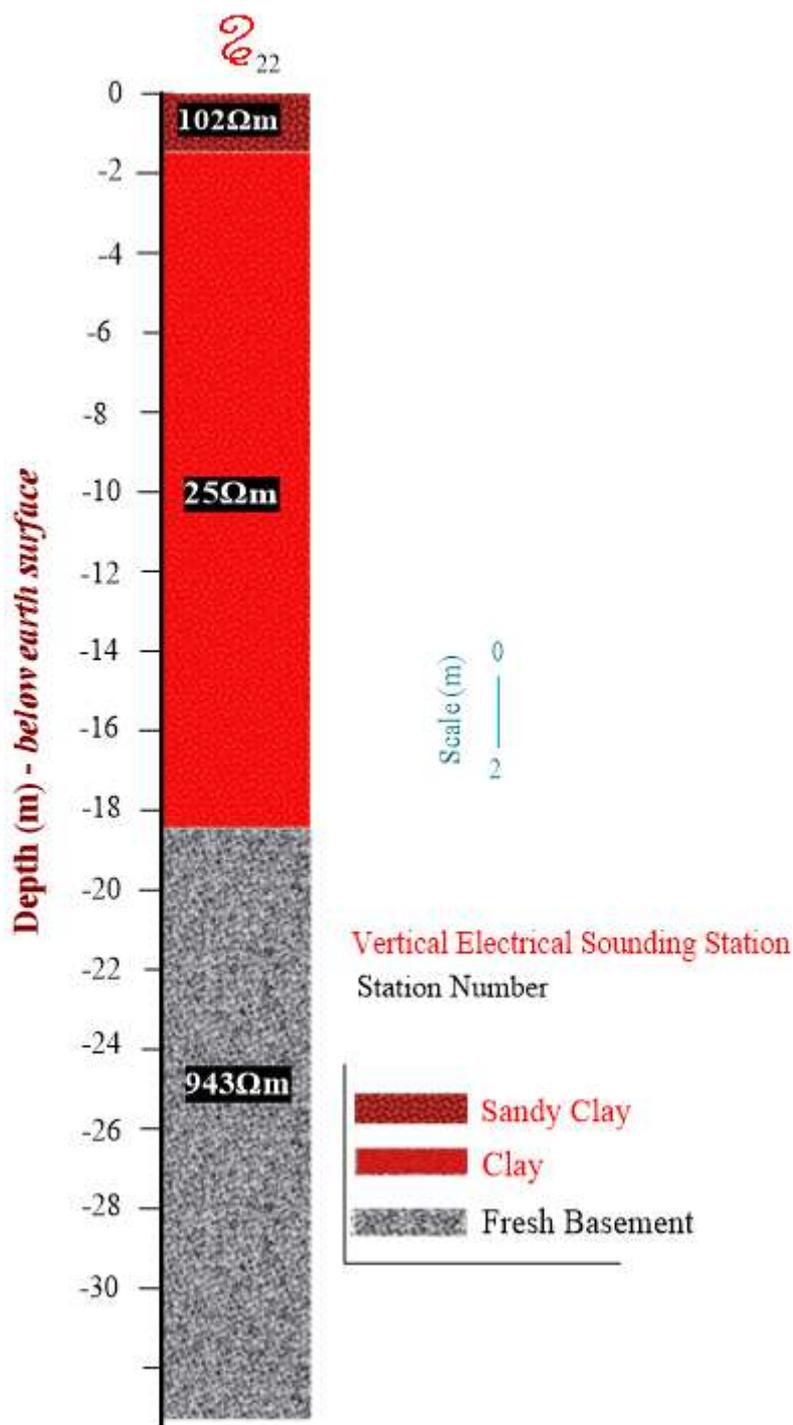


Figure. 11: Geo-electric Section of VES 22, revealing Obada Axis as a Basement Territory.

A. Geologic Boundary Delineation

A very accurate geologic boundary (Fig. 12) has been drawn from both geological evidence and geophysical results. The basement complex roughly covers about three-quarters of the area map, occupying the northern and southeastern parts. Localities covered include Apesin, Ojuba, Asipa, and parts of Obada. Sedimentary terrain only accounts for about one-quarter of the area map. These rocks are dominant in the southwestern part of the area, notably around the Idi-Emi and Obada axes.

There is a strong link between the physiographic settings and geology of the area. Sedimentary terrain, due to a massive influx of sediment, is distinctively higher in elevation than the basement. It functions as the main watershed from which the rivers take their sources. The drainage pattern is fairly dendritic with a resultant northeasterly flow into the basement. Along the sedimentary escarpments, a thick sequence of ferruginized conglomerate or conglomeratic sand with kaolinitic interbeds is exposed. A few tens to hundreds of meters away from the escarpment, the weathered basement was encountered. The escarpment is thus not only a

topographic marker but also a fairly accurate geologic pointer to the existence of a nearby nonconformity.

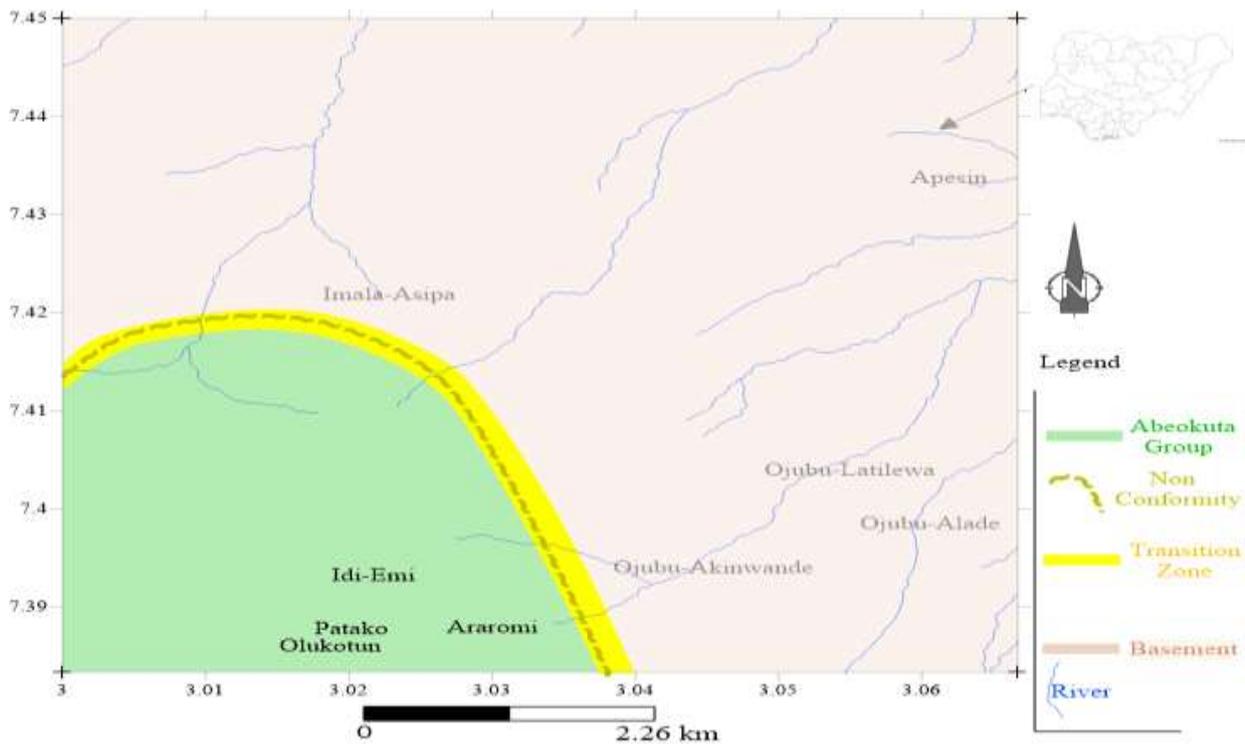


Figure. 12: Inferred Geologic Map of the Study Area Revealing the Basement – Sedimentary Contact.

V. CONCLUSION

The study employed the VES and 2D electrical resistivity method to characterize the subsurface of the study area into geo-electric sections, determining the depth to the basement and delineating possible zones that can serve as unique rocks from the various anomalous zones. The investigation revealed new geological boundaries within sedimentary areas, crystalline basement, and transition zones. This result provides a modern geological map of Idi-Emi that is consistent with the recent regional geological map of the Dahomey Basin. From the geophysical results and inferences, the Apesin and Obada axes are essentially part of the Nigerian Basement complex, while the Idi-Emi in the southern part is wholly sedimentary. The boundary line between these two geologic provinces is delineated at the Imala, Asipa, and Ogene axes. The study area is thus a transition zone bearing the imprints of both the basement and the sedimentary environments. Lastly, defining the boundary between the basement complex and sedimentary terrain aids in determining where different rock types and formations occur. The refined delineation of lithological zones and basement depths in the Idi-Emi area enhances the identification and management of groundwater potential, crucial for sustainable water resource development. Furthermore, the detailed resistivity and thickness data support engineering site investigations by informing the stability and suitability of the ground for construction and infrastructure projects. Additionally, the improved geological mapping aids environmental management efforts by helping to monitor and

control illegal mining activities, thereby promoting safer land-use planning and resource conservation.

REFERENCES

- [1] P. V. Sharma, *Geophysical methods in geology.*, 2nd Edition ed., U.S. Department of Energy, 1985.
- [2] K. Wattanasen, S. Å. Elming, W. Lohawijarn and T. and Bhongsuwan, "An integrated geophysical study of arsenic contaminated area in the peninsular Thailand," *Environmental geology*, vol. 51, no. 4, pp. 595 - 608, 2006.
- [3] S. A. Adekoya, H. T. Oladunjoye, J. O. Coker, O. A. Adenuga and G. O. Badmus, "Groundwater exploration and evaluation of aquifer vulnerability in parts of main campus of Olabisi Onabanjo University Southwestern Nigeria," *FUW Trends in Science & Technology Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 271-277, 2024.
- [4] S. A. Adekoya, J. O. Coker, H. T. Oladunjoye and O. A. Adenuga, "Aquifer characterization of some parts of Ijebu Igbo using electrical resistivity methods," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019.

- [5] J. C. Wynn, "A review of geophysical methods used in archaeology," *Geoarchaeology*, vol. 1, no. 3, pp. 245-257., 1986.
- [6] C. F. Gaffney, J. Gater and S. Ovenden, *The use of geophysical techniques in archaeological evaluations.*, 2002.
- [7] A. F. Abimbola, O. O. Kehinde-Phillips and A. S. Olatunji, "The Sagamu cement factory, SW Nigeria: Is the dust generated a potential health hazard?," *Environmental geochemistry and health*, vol. 29, no. 2, pp. 163-167., 2007.
- [8] S. O. Ariyo, K. O. Omosanya and B. A. Oshinloye, "Electrical resistivity imaging of contaminant zone at Sotubo dumpsite along Sagamu-Ikorodu Road, Southwestern Nigeria," *African Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 7, no. 5, pp. 312-320, 2013.
- [9] O. I. Popoola and O. A. Adenuga, "Determination of leachate curtailment capacity of selected dumpsites in Ogun State southwestern Nigeria using integrated geophysical methods," *Scientific African*, vol. 5, p. e00208., 2019.
- [10] M. B. Aminu, "Electrical resistivity imaging of a thin clayey aquitard developed on basement rocks in parts of Adekunle Ajasin University Campus, Akungba-Akoko, South-western Nigeria," *Environmental Research, Engineering and Management*, vol. 71, no. 1, pp. 47-55, 2015.
- [11] C. E. Bond, "Uncertainty in structural interpretation: Lessons to be learnt.," *Journal of Structural Geology*, vol. 74, p. 185–200, 2015.
- [12] G. O. Mosuro, N. O. Adebisi, S. O. Ariyo, K. O. Omosanya, O. O. Bayewu and M. O. Oloruntola, "Redefining the boundary between crystalline and sedimentary rock of Eastern Dahomey Basin," *Scientific reports*, vol. 11, no. 1, pp. 1-15., 2021.
- [13] P. Ramaekers, C. W. Jefferson, G. M. Yeo, B. Collier, D. G. F. Long, G. Drever and R. T. Post, "Revised geological map and stratigraphy of the Athabasca Group, Saskatchewan and Alberta," *Bulletin-Geological Survey of Canada*, vol. 588, p. 155, 2007.
- [14] E. D. Ashaolu and K. A. Iroye, "Rainfall and potential evapotranspiration patterns and their effects on climatic water balance in the Western Lithoral Hydrological Zone of Nigeria," *Ruhuna Journal of Science*, vol. 9, no. 2, 2018.
- [15] S. A. Adekoya, H. T. Oladunjoye, J. O. Coker and O. A. Adenuga, "Identification of lithological units using geo-electrical method, Olabisi Onabanjo University Campus, Southwestern Nigeria.," *Scientia Africana*, vol. 20, no. 1, pp. 171-182, 2021.
- [16] J. A. Aladejana and A. O. Talabi, "Assessment of groundwater quality in Abeokuta Southwestern, Nigeria," *International Journal of Engineering Science*, vol. 2, no. 6, pp. 21-31, 2013.
- [17] V. Makinde, S. A. Ganiyu, B. S. Bada, A. O. Salawu, O. A. Ifeyemi and J. O. Odutayo, "Hydrogeophysical exploration and groundwater quality assessment of Obada Oko, Ogun State, Nigeria," *Ife Journal of Science*, vol. 26, no. 3, pp. 737-755, 2024.
- [18] A. A. Kayode, "Charnockitic Hypersthene-Quartz Diorite from Imala, Southwestern Nigeria," *Journal of Geological Society of India*, vol. 17, no. 1, pp. 54-60, 1976.
- [19] T. Dahlin and B. Zhou, "A numerical comparison of 2D resistivity imaging with 10 electrode arrays.," *Geophysical Prospecting*, vol. 52, no. 5, pp. 379-398, 2004.
- [20] M. H. Loke, "Tutorial: 2D and 3D Electrical Imaging Surveys," Geotomo Software, 2019.
- [21] B. D. Ako and M. O. Olorunfemi, "Goelectric survey for groundwater in the new layout of Ile-Ife, Nigeria.," *Journal of Mining and Geology*, vol. 25, no. 1-2, p. 247–250, 1989.
- [22] A. I. Olayinka and M. O. Olorunfemi, "Determination of geoelectrical characteristics in Okene area and implications for borehole siting," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 14, no. 3, p. 329–337, 1992.
- [23] N. G. Obaje, *Geology and mineral resources of Nigeria*, vol. 120, Berlin: Springer, 2009, p. 221.
- [24] R. R. Jones, K. J. W. McCaffrey, P. Clegg, R. W. Wilson, N. S., R. Holliman, J. Holdsworth, J. Imber and S. Waggott, "Integration of regional to outcrop digital data: 3D visualisation of multi-scale geological models," *Computers & Geosciences*, vol. 35, no. 1, pp. 4-8, 2009.
- [25] C. Mitchell and M. Widdowson, "A geological map of the southern Deccan Traps, India and its structural implications.," *Journal of the Geological Society*, , vol. 148, no. 3, pp. 495-505, 1991.