

Original Research Paper

A data-driven framework for classification and introduction of tectono-sedimentary basins using Python programming

Mohammadreza Sheikholeslami^{1*}¹ Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2025 August 25

Accepted: 2025 November 17

Available online: 2025 December 22

Keywords:

Tectono-sedimentary basins

TSBP software

Python programming

Tectonic setting

ABSTRACT

In this study, a data-driven framework has been developed for the introduction and classification of tectono-sedimentary basins, implemented using the Python programming language in the form of a specialized software tool named TSBP (Tectono-Sedimentary Basins Program). The primary objective of this software is to provide an interactive platform for understanding the characteristics of 32 basin types situated within five principal tectonic settings: divergent, convergent, intraplate, transform, and miscellaneous-hybrid. The basin-related data compiled for this purpose encompass structural, geochemical, and petrological characteristics, sedimentation rates, mineral resources, and schematic diagrams. These data have been systematically gathered from reputable scientific sources and organized into machine-readable, processable file formats. The TSBP software has been designed utilizing specialized Python libraries and offers functionalities such as interactive search, scientific data visualization, multi-basin comparative analysis, and data-driven diagram generation. Performance validation through benchmarking tests and expert feedback indicates that this tool can effectively serve as an educational, research, and exploration platform in the Earth sciences. The integrative approach of this research—bridging geology and data science—lays the groundwork for accelerating the identification and classification of sedimentary basin types across diverse regions.

1. Introduction

Tectono-sedimentary basins represent fundamental geological units that record the interaction between tectonic forces and sedimentary processes over geological timescales. Accurate classification and comparative analysis of these basins are essential for understanding

crustal evolution, resource distribution, and geodynamic processes. Traditional approaches to basin analysis often rely on qualitative descriptions and static diagrams, which limit their capacity for systematic and interactive comparisons. To address these

* Corresponding author: Mohammadreza Sheikholeslami; E-mail: rezasheikholeslami@yahoo.com

Citation:

Sheikholeslami, M.R., 2025. A data-driven framework for classification and introduction of tectono-sedimentary basins using Python programming. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 35(4), 138, 185-196. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.543244.2222>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2025.543244.2222

 dor: 20.1001.1.10237429.1404.35.4.10.7



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

limitations, this research introduces a computational framework based on Python programming, aiming to provide an interactive and flexible tool for classification, visualization, and comparative study of tectono-sedimentary basins.

The main objectives of this study are as follows:

1. To design and implement a Python-based software framework
2. To compile geological, geochemical, structural, and sedimentological data from reliable scientific sources and structure them into a unified dataset.
3. To facilitate interactive classification and comparison of basin types across five tectonic settings: divergent, convergent, intraplate, transform, and hybrid/miscellaneous regimes.
4. To enhance the integration of geosciences with data science through a modular, user-friendly computational tool.

2. Research methodology

The TSBP software was developed using Tkinter for graphical user interface (GUI), Pandas for data processing, Pillow for image visualization, and python-docx for document handling. A dataset of 32 basin types was compiled, each characterized by multiple geological attributes such as crustal thickness, subsidence rate, lithology, geochemistry, volcanic activity, and mineral potential. Data were extracted from peer-reviewed articles, geological surveys, and textbooks, and organized into Excel tables, symbolic figures, and reference files. Validation was performed by comparing software outputs with original datasets and through feedback from geoscientists and educators.

3. Results

The developed framework provides users with an interactive environment where tectonic settings and basin types can be selected via intuitive menus. For each basin, detailed information—including structural processes, lithological and geochemical data, depositional characteristics, and economic potential—is displayed alongside symbolic figures. The program

also enables simultaneous comparison of multiple basins, visualization of morphologies, and retrieval of references for further study. Validation confirmed the accuracy and reliability of data integration, while expert feedback emphasized the tool's usefulness for teaching, research, and preliminary exploration studies.

4. Discussions

The integration of computational tools with geological data represents a significant step forward in basin analysis. Compared to traditional methods, TSBP offers:

- Higher efficiency and accuracy through automated data handling.
- Flexibility and scalability due to its modular Python-based structure.
- Educational and exploratory value by supporting interactive visualization and comparison.

However, the current framework also faces limitations, such as dependency on input data quality and lack of advanced three-dimensional or time-dependent modeling. Future enhancements could include automated chart generation, machine learning-based basin classification, and synchronization with global geoscience databases (e.g., OneGeology, EarthChem).

5. Conclusion

This study demonstrates the successful development of TSBP, a Python-based software for the classification and characterization of tectono-sedimentary basins. By combining geological expertise with modern programming capabilities, the framework enables accurate, interactive, and comparative analysis of basin types. The results confirm that the tool can significantly improve educational, research, and exploration processes. With its modular and extendable architecture, TSBP sets the stage for future advancements such as AI-assisted basin classification and real-time geoscience data integration, making it a valuable resource for students, researchers, and industry professionals in the field of Earth sciences.

چهارچوب داده‌محور برای دسته‌بندی و معرفی حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی با استفاده از برنامه‌نویسی پایتون

محمدرضا شیخ‌الاسلامی*

۱ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش، یک چهارچوب داده‌محور برای معرفی و طبقه‌بندی حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی طراحی شده که با بهره‌گیری از زبان برنامه‌نویسی پایتون در قالب نرم‌افزار تخصصی TSBP (Tectono-Sedimentary Basins Program) توسعه یافته است. هدف از طراحی این نرم‌افزار، ایجاد بستری تعاملی برای شناخت ویژگی‌های ۳۲ نوع حوضه در ۵ جایگاه زمین‌ساختی اصلی شامل واگرا، همگرا، درون‌صفحه‌ای، تبدیلی و متفرقه-ترکیبی است. داده‌های ارائه شده برای حوضه‌ها شامل ویژگی‌های ساختاری، ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی، نرخ‌های رسوب‌گذاری، منابع معدنی و نگاره‌های نمادین بوده که از منابع علمی معتبر گردآوری و در قالب فایل‌های قابل پردازش ساماندهی شده‌اند. نرم‌افزار TSBP با استفاده از کتابخانه‌های تخصصی پایتون طراحی شده و قابلیت‌هایی مانند جستجوی تعاملی، نمایش اطلاعات علمی، مقایسه چندحوضه‌ای و نگاره‌سازی داده‌ها را فراهم می‌سازد. اعتبارسنجی عملکرد نرم‌افزار از طریق آزمون‌های تطبیقی و دریافت بازخورد از متخصصان بیانگر آن است که این ابزار می‌تواند به‌عنوان بستری آموزشی، پژوهشی و اکتشافی در علوم زمین مورد استفاده قرار گیرد. رویکرد تلفیقی این پژوهش میان زمین‌شناسی و علوم داده، زمینه‌ساز شتاب بخشی در معرفی انواع حوضه‌های رسوبی و دسته‌بندی آن‌ها در مناطق مختلف خواهد بود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی

نرم افزار TSBP

برنامه نویسی پایتون

جایگاه زمین‌ساختی

۱- پیش‌نوشتار

برنامه‌نویسی، در چهارچوب تحلیلی پرداخته‌اند. این کمبود، به‌ویژه در حوزه آموزش و پژوهش‌های بین‌رشته‌ای علوم زمین، احساس می‌شود. از سویی دیگر، پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه علوم داده و زبان‌های برنامه‌نویسی مانند پایتون، فرصت‌های مناسبی برای توسعه ابزارهای تحلیلی و آموزشی در علوم زمین فراهم کرده‌اند. این زبان‌ها با قابلیت‌های گسترده در پردازش داده، نگاره‌سازی، و طراحی رابط‌های کاربری، امکان ساخت نرم‌افزارهایی را فراهم می‌کنند که بتوانند داده‌ها و اطلاعات پیچیده زمین‌شناسی را به‌صورت تعاملی و قابل فهم ارائه دهند. در پاسخ به این نیاز، پژوهش حاضر به معرفی و توسعه یک چهارچوب داده‌محور در قالب یک نرم‌افزار زمین‌شناسی با عنوان «برنامه حوضه زمین‌ساختی-رسوبی (Tectono-Sedimentary Basins Program)» که به اختصار TSBP نامیده می‌شود، می‌پردازد. این برنامه با بهره‌گیری از زبان برنامه‌نویسی پایتون طراحی شده و هدف آن ارائه بستری تعاملی برای طبقه‌بندی، تحلیل و نگاره‌سازی حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی است. در این چهارچوب، ۳۲ نوع حوضه در ۵ جایگاه زمین‌ساختی اصلی شامل

حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین واحدهای ساختاری در پوسته زمین، نقش مهمی در درک فرایندهای زمین‌ساختی، رسوبی، ژئودینامیکی و شکل‌گیری مواد معدنی ایفا می‌کنند. این حوضه‌ها حاصل تعامل پیچیده میان نیروهای زمین‌ساختی، فرایندهای رسوب‌گذاری و تغییرات محیطی، در بازه‌های زمانی طولانی مدت هستند. مطالعه دقیق و شناخت ویژگی‌های آن‌ها، نه تنها در حوزه زمین‌شناسی نظری، بلکه در کاربردهای عملی مانند اکتشاف منابع هیدروکربنی، معدنی، و مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی اهمیت بسزایی دارد.

در دهه‌های اخیر، تلاش‌های گسترده‌ای برای طبقه‌بندی و تحلیل حوضه‌های رسوبی صورت گرفته است (برای مثال Miall, 2016; Busby and Azor, 2011; Waltman, 2002). این طبقه‌بندی‌ها بر اساس ویژگی‌های ساختاری، موقعیت زمین‌ساختی، نوع رسوبات، و تاریخچه تکاملی حوضه‌ها انجام شده‌اند. با این حال، بیشتر این مطالعات به‌صورت مجزا و غیرتعاملی بوده و کمتر به تلفیق داده‌های چندمنظوره (ساختاری، ژئوشیمیایی، داده‌های نگاره‌ای و ...)، و استفاده از مدل‌های

* نویسنده مسئول: محمدرضا شیخ‌الاسلامی؛ E-mail: rezasheikhholeslami@yahoo.com

ماخذنگاری:

شیخ‌الاسلامی، م.ر.، ۱۴۰۴، چهارچوب داده‌محور برای دسته‌بندی و معرفی حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی با استفاده از برنامه‌نویسی پایتون. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۵(۴)، ۱۳۸، ۱۸۵-۱۹۶. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.543244.2222>

doi: 10.22071/gsj.2025.543244.2222

doi: 20.1001.1.10237429.1404.35.4.10.7

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

۲- روش پژوهش

روش انجام پژوهش حاضر دارای ۴ مرحله اصلی شامل گردآوری داده‌ها، طراحی ساختار و دسته‌بندی حوضه‌های زمین‌ساختی، ایجاد نرم‌افزار TSBP با استفاده از کدنویسی در پایتون و در نهایت اعتبارسنجی عملکرد برنامه است. در ادامه، هر یک از این مراحل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱- گردآوری و آماده‌سازی داده‌ها

در گام نخست، داده‌های مرتبط با حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی در جایگاه‌های مختلف زمین‌ساختی، از منابع معتبر علمی گردآوری شدند. این داده‌ها شامل ویژگی‌هایی هستند که می‌توانند به عنوان متغیرهای دسته‌بندی حوضه‌های رسوبی مورد استفاده قرار گیرند. نگاره‌های نمادین برای آشنایی با ریخت‌شناسی هر حوضه از این منابع برگرفته و در پوشه مربوطه جایگزین شدند. داده‌ها پس از استخراج، پالایش و در قالب فایل‌های قابل پردازش مانند CSV و JPG سامان‌دهی شدند.

۲-۲- ساختار دسته‌بندی حوضه‌ها

در این مرحله، انواع حوضه‌های رسوبی بر اساس جایگاه زمین‌ساختی اصلی خود معرفی و به شرح جدول ۱ دسته‌بندی شده‌اند. برای هر حوضه، ویژگی‌های گردآوری شده به همراه نگاره‌ای از آن به صورت جداگانه تعریف و کدگذاری شدند تا در نرم‌افزار قابل بازیابی و نمایش باشند (برای مثال شکل ۱).

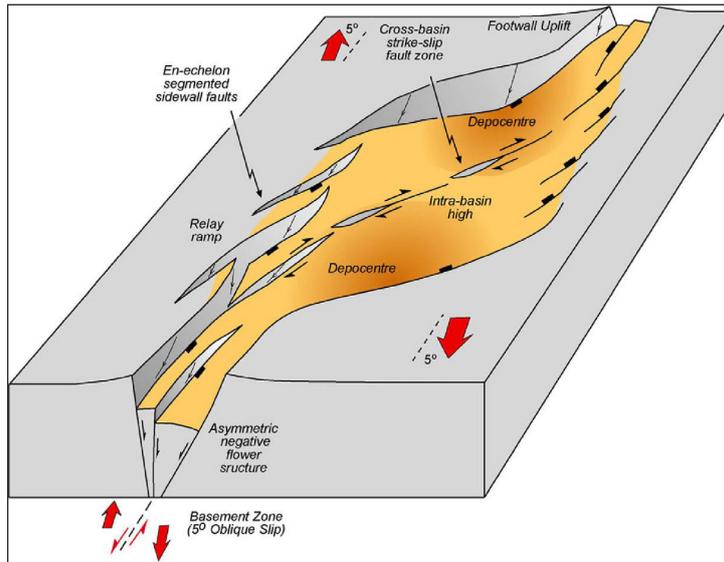
حوضه‌های همگرا، حوضه‌های واگرا، حوضه‌های درون صفحه‌ای، حوضه‌های تبدیلی و حوضه‌های متفرقه و ترکیبی معرفی و مورد بررسی و دسته‌بندی قرار گرفته‌اند. داده‌های مورد استفاده برای دسته‌بندی شامل فرایندهای ساختاری کلیدی، نوع سنگ و رسوبات چیره در حوضه، نسبت شکل حوضه، جریان حرارتی، سبزی پسته، ژرفای لرزه‌ای، ویژگی‌های ژئوشیمیایی، شدت فعالیت آتشفشانی، نرخ فرونشست حوضه، نرخ فشردگی رسوبات، نرخ تولید رسوبات توریدیتی، منابع معدنی، مثال‌های امروزی، مثال‌های دیرین و نمونه‌هایی از ایران هستند که به صورت یکپارچه در محیط نرم‌افزار قابل تحلیل و مقایسه می‌باشند. نمونه مشابه با پژوهش حاضر ابزار متن باز PyBasin (Luijendijk, 2020) یک مدل عددی مبتنی بر زبان پایتون است که تاریخچه دفن و روند حرارتی حوضه‌های رسوبی را شبیه‌سازی می‌کند. این ابزار با بهره‌گیری از داده‌های ترموکرونولوژی دمای پایین و بازتاب ویتريت، امکان محدودسازی و اعتبارسنجی مدل‌ها را فراهم می‌آورد.

هدف اصلی مقاله پیش رو، ارائه روشی نوین برای معرفی و دسته‌بندی حوضه‌های رسوبی با رویکردی تلفیقی از علوم زمین و مهندسی داده است. این رویکرد می‌تواند به عنوان ابزاری آموزشی در دوره‌های دانشگاهی، بستری پژوهشی برای مطالعات تخصصی، و حتی راهنمایی اولیه در پروژه‌های اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد. توسعه چنین ابزارهایی می‌تواند زمینه‌ساز تحول در شیوه‌های آموزش علوم زمین و ارتقای سطح تحلیل‌های زمین‌ساختی و رسوبی باشد.

جدول ۱- دسته‌بندی انواع حوضه‌های رسوبی بر پایه جایگاه زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی. در پوشه اکسل به نام table.xlsx، ۳۲ حوضه رسوبی بر پایه جایگاه‌های زمین‌ساختی واگرا، درون صفحه‌ای، همگرا، تبدیلی و متفرقه-ترکیبی معرفی و دسته‌بندی شده‌اند.

Table 1. Classification of sedimentary basin types based on their tectonic setting. The Excel file named "table.xlsx" contains 32 sedimentary basins categorized according to five tectonic regimes: divergent, intraplate, convergent, transform, and miscellaneous-hybrid settings.

Tectonic setting	Basin type
Divergent	Nascent ocean basin
Divergent	Oceanic basin
Divergent	Passive margin
Divergent	Proto-oceanic troughs
Divergent	Rift basin
Divergent	Aulacogen
Divergent	Continental platform (shelf)
Intraplate	Continental sag basin
Intraplate	Dormant oceanic basin
Intraplate	Intracratonic basin
Intraplate	Intraplate continental margin
Convergent	Accretionary complex
Convergent	Back arc basin
Convergent	Fore-arc basin
Convergent	Foreland basin
Convergent	Peripheral foreland basin
Convergent	Retro-arc foreland basin
Convergent	Collision broken foreland
Convergent	Hinterland basin
Convergent	Intramontane basin
Convergent	Intra-arc basin
Convergent	Obducted slabe
Convergent	Piggy back basin
Convergent	Trench-slope basin
Convergent	Trench
Convergent	Successor basin
Transform basin	Transtentional (strike-slip) basin
Transform basin	Transpressional basin
Transform basin	Transrotational basin
Miscellaneous basin and hybrid basin	Impactogene
Miscellaneous basin and hybrid basin	Halokinetic basin
Miscellaneous basin and hybrid basin	Bolide basin



شکل ۱- نمونه‌ای از نگاره‌های مورد استفاده برای نمایش انواع حوضه‌های رسوبی مربوط به یک حوضه تراکششی که در جایگاه حوضه‌های تبدیلی شکل می‌گیرد (Wu et al., 2009). برای هر یک از حوضه‌های رسوبی دسته‌بندی شده در این پژوهش چنین نگاره‌هایی تهیه شده‌اند.

Figure 1. An example of the illustrations used to depict different types of sedimentary basins, representing a transtensional basin formed within a transform tectonic setting (Wu et al., 2009). Similar figures have been prepared for each of the sedimentary basins categorized in this study.

وارد شد و خروجی‌های تولیدشده با داده‌های ارائه شده در جدول اکسل مقایسه گردید تا میزان صحت و دقت پردازش اطلاعات سنجیده شود.

– **آزمایش قابلیت‌های جستجو، فیلتر و مقایسه داده‌ها:** عملکرد ابزارهای جستجو و فیلتر در شرایط مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین، امکان مقایسه داده‌ها از نظر ساختار و محتوا بررسی شد تا توانایی نرم‌افزار در دسته‌بندی اطلاعات مشخص گردد.

– **دریافت بازخورد از کاربران متخصص:** تعدادی از کاربران با تجربه در حوزه‌های مرتبط، نرم‌افزار را مورد استفاده قرار دادند و نظرات خود را در خصوص طراحی، قابلیت، سهولت استفاده، سرعت پاسخ‌دهی، و میزان تطابق با نیازهای تخصصی ارائه کردند. این بازخوردها نقش مهمی در شناسایی نقاط قوت و ضعف برنامه و بهینه کردن آن ایفا نمود.

نتایج نشان داد که برنامه TSBP می‌تواند داده‌های ارائه شده به صورت جدول اکسل را به درستی تلفیق کرده و بستری تعاملی برای معرفی و تحلیل حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی فراهم آورد.

۳- داده‌ها و اطلاعات

در این بخش، به تشریح داده‌ها و اطلاعات علمی مورد استفاده در طراحی و توسعه نرم‌افزار TSBP پرداخته می‌شود.

۳-۱- منابع داده

داده‌های گردآوری‌شده برای تنظیم جدول table.xlsx، که فهرست کامل آن‌ها در بخش منابع آمده، به گونه‌ای انتخاب شده‌اند تا پوشش کاملی از انواع حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی، ویژگی‌های ساختاری، ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی، و پتانسیل اقتصادی آن‌ها را در برداشته باشند. این منابع از مجلات معتبر و کتاب‌های پایه در حوضه زمین‌ساخت و

۳-۲- توسعه نرم‌افزار TSBP با زبان برنامه نویسی پایتون

در این مرحله، برنامه TSBP با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون طراحی و پیاده‌سازی شد. کد نویسی این برنامه با بهره‌گیری از هوش مصنوعی مایکروسافت کوپیلوت (Microsoft copilot) انجام شده است. اجزای اصلی برنامه عبارتند از:

– **رابط کاربری گرافیکی (GUI):** طراحی شده با استفاده از کتابخانه Tkinter، شامل منوهای انتخاب نوع حوضه، جایگاه زمین‌ساختی، و نمایش داده‌های مرتبط.

– **ماژول‌های پردازش داده:** برای بارگذاری، فیلتر کردن، و نمایش داده‌های ساختاری و ژئوشیمیایی.

– **ماژول نگاره‌ای:** برای نمایش نگاره نمادین هر حوضه، با قابلیت بزرگ‌نمایی و مقایسه.

– **ماژول تحلیلی:** شامل توابعی برای مقایسه ویژگی‌های مختلف حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی

برنامه به گونه‌ای طراحی شده که کاربر بتواند با انتخاب جایگاه زمین‌ساختی، به صورت تعاملی به اطلاعات کامل هر حوضه دسترسی پیدا کند.

۳-۴- اعتبارسنجی و ارزیابی عملکرد

برای ارزیابی عملکرد برنامه، مجموعه‌ای از راهکارهای کاربردی به شرح زیر اجرا گردید. هدف از اجرای این راهکارها، بررسی میزان کارایی، دقت و تطابق عملکرد نرم‌افزار با اهداف برنامه بود.

– **بررسی تطابق داده‌های نرم‌افزار با داده‌های ورودی:** در این مرحله، داده‌های انتخابی شامل تمام حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی با ساختارهای مختلف به نرم‌افزار

۳-۲- ساختار فایل‌های داده

داده‌ها در ۴ پوشه اصلی ساماندهی شده‌اند که هر کدام نقش تعریف شده در عملکرد نرم‌افزار دارند (جدول ۲). فایل اکسل به‌عنوان هسته اصلی داده‌ها عمل می‌کند و اطلاعات هر حوضه را در قالب جدول‌های ساختاریافته ارائه می‌دهد. نگاره‌های نمادین انواع حوضه‌ها در پوشه Fig به‌صورت جداگانه با فرمت JPG ذخیره شده و توسط نرم‌افزار به‌صورت پویا بارگذاری می‌شوند. فایل Word نیز حاوی منابع علمی استفاده شده برای تهیه جدول اطلاعات پایه است.

رسوب‌گذاری گزینش شده‌اند. ذکر این نکته ضروری است که داده‌های گردآوری‌شده در جدول اطلاعات پایه، به‌ویژه مثال‌های مربوط به حوضه‌های رسوبی، بر اساس مطالعات و مشاهدات کنونی تولید شده‌اند، اما ماهیت متغیر و تکاملی دانش زمین‌شناسی ایجاب می‌کند که این اطلاعات با درصدی از عدم قطعیت همراه باشند. اختلاف در روش‌ها و دقت ابزارهای اندازه‌گیری و نیز تحلیل‌های متفاوت می‌تواند به تغییر در مقادیر و نیز تحلیل‌های موجود بیانجامد. کاربر می‌تواند داده‌های جدول را با اطلاعات و منابع جدید به‌روزرسانی نماید تا خروجی همواره بازتاب دقیق‌ترین و تازه‌ترین اطلاعات باشد.

جدول ۲- پوشه‌های اصلی، نوع داده‌ها و محتوای آن‌ها برای اجرا در نرم‌افزار TSBP.

Table 2. Main folders, data types, and their contents used for running the TSBP software.

نام پوشه	نوع داده	توضیحات
table.xlsx	داده‌های عددی و توصیفی	شامل اطلاعات علمی برای ۳۲ نوع حوضه زمین‌ساختی-رسوبی
Fig	نگاره‌های نمادین	شامل نگاره‌های نمادین برای هر حوضه، با فرمت JPG
reference.docx	منابع علمی	فهرست کامل منابع مورد استفاده در تهیه داده‌ها
Front.JPG	نگاره نمادین	نگاره نمادین که به هنگام اجرای برنامه بارگذاری می‌شود (با فرمت JPG)

۳-۳- طبقه‌بندی حوضه‌ها

در نرم‌افزار TSBP، حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی بر اساس جایگاه زمین‌ساختی به ۴ گروه اصلی تقسیم شده‌اند. بر این پایه ۳۲ حوضه به شرح زیر معرفی شده‌اند.
الف) حوضه‌های واگرا (Divergent): شامل حوضه‌های اقیانوسی نوپا (Nascent ocean basin)، حوضه‌های اقیانوسی (Oceanic basin)، حاشیه کنش‌پذیر (Passive margin)، گودال پیش‌اقیانوسی (Proto-oceanic basin)، حوضه کافتی (Rift basin)، الاکوژن (Aulacogens) و سکوی قاره‌ای (Continental shelf).

ب) حوضه‌های درون‌صفحه‌ای (Intraplate): شامل حوضه فرونشست قاره‌ای (Continental sag basin)، حوضه‌های اقیانوسی خفته (Dormant oceanic basin)، حوضه درون کراتونی (Intracratonic basin) و حاشیه قاره‌ای درون‌صفحه‌ای (Intraplate continental margin).

ج) حوضه‌های همگرا (Convergent): شامل مجموعه افزایشی (Accretionary complex)، حوضه پشت‌کمانی (Back arc basin)، حوضه پیش‌بوم (Fore-arc basin)، حوضه پیش‌بوم پیرامونی (Peripheral foreland basin)، حوضه پیش‌بوم پس‌کمانی (Retroarc foreland basin)، حوضه پیش‌بوم برخوردی شکسته (Collision broken foreland)، حوضه پس‌کرانه‌ای (Hinterland basin)، حوضه درون‌کوهی (Intramontane basin)، حوضه میان‌کمانی (Intra arc basin)، ورقه‌های فرارنده (Obducted slabs)، حوضه پشت‌خوکی (Peggy back basin)، حوضه شیب گودال (Trench-slope basin)، گودال (Trench) و حوضه جانشین (Successor basin).

د) حوضه‌های تبدیلی (Transform basins): شامل حوضه‌های تراکشی (Transtentional basins)، حوضه‌های ترفاشارشی (Transpressional basin) و حوضه‌های تراپیچشی (Transrotational basins).

ه) حوضه‌های متفرقه و ترکیبی (Miscellaneous and hybrid basins): این دست حوضه‌ها شامل حوضه‌های ضربه‌زا (Impactogene)، نمکی (Halokinetic) و تصادمی (Bolide) هستند.

۳-۴- ویژگی‌های زمین‌شناسی ارائه شده برای هر حوضه

در فایل 'table.xlsx'، برای هر حوضه، بیش از ۲۰ ویژگی زمین‌شناسی در قالب ۴ دسته اصلی به شرح زیر معرفی شده‌اند:

الف) ویژگی‌های ساختاری: این ویژگی‌ها شامل تعریف مختصری از حوضه، فرایندهای ساختاری کلیدی در تشکیل آن، نیروهای موثر (کششی، فشاری، برشی)، ستبرای پوسته در محل تشکیل حوضه (بر حسب کیلومتر)، نسبت هندسی حوضه (طول به عرض)، نرخ فرونشست حوضه (متر بر میلیون سال)، ژرفای لرزه‌ای و ساختار زیرسطحی هستند.

ب) ویژگی‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌شناسی و رسوبی: این ویژگی‌ها شامل نوع سنگ‌های چیره (بازالت، شیل، ماسه‌سنگ، آهک، تبخیری‌ها)، ترکیب شیمیایی رسوبات، نرخ تولید رسوبات توریدیتی (سانتی‌متر در هزار سال)، نرخ تراکم رسوبات (%) و شدت فعالیت آنشفتانی (از زیاد تا اندک) است.

ج) منابع اقتصادی و نمونه‌های مقیاسی: این توصیف شامل پتانسیل منابع معدنی (نفت، گاز، فلزات پایه، فسفات، اورانیم)، نمونه‌های امروزی از حوضه مورد نظر، نمونه دیرینه از حوضه مورد نظر و نمونه‌های مشابه در ایران هستند.

د) اطلاعات نگاره‌ای: این اطلاعات شامل نگاره‌های نمادین مرتبط با هر حوضه است که از منابع مختلف برگرفته و در نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این نگاره‌ها دارای قابلیت بارگذاری خودکار در محیط نرم‌افزار هستند.

۳-۵- کاربرد داده‌ها در نرم‌افزار TSBP

داده‌های گردآوری‌شده به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در محیط نرم‌افزار قابلیت‌های

برای نصب کتابخانه‌های موردنیاز، CMD یا ترمینال را باز کنید و دستور زیر را وارد کنید:

pip install pandas pillow python-docx

پس از نصب پایتون و کتابخانه‌های مورد نیاز پوشه حاوی برنامه و متعلقات آن به نام Desktop را بر روی Desktop خود کپی نمایید.

در CMD یا ترمینال با دستور زیر وارد مسیر پوشه برنامه شوید:

cd «C:\Users\YourUser\Desktop\TSBP»

سپس برنامه را در ترمینال با دستور زیر اجرا کنید:

python TSBP.py

راه آسان دیگر آن است که در پوشه TSBP بر روی TSBP.py دوبار کلیک کرده و یا با کلیک راست روی آن، با انتخاب برنامه پایتون اجرا نمایید. اگر همه چیز درست باشد، پنجره اصلی برنامه باز خواهد شد و کاربر می‌تواند کار با نرم‌افزار را آغاز کند. نحوه استفاده از قابلیت‌های برنامه به شرح زیر است:

پس از اجرای برنامه از منوی کشویی Tectonic Setting، یک محیط زمین‌ساختی را انتخاب کنید (برای مثال Intraplate، شکل ۲).

زیر را فراهم کنند:

- جستجوی تعاملی بر اساس نوع حوضه، موقعیت زمین‌ساختی، یا ویژگی‌های خاص
- نمایش اطلاعات حوضه‌ها به صورت متنی قابل اسکرول با فونت مناسب
- نمایش نگاره‌های نمادین از هر حوضه با قابلیت تغییر اندازه و حفظ نسبت ابعاد
- مقایسه چند حوضه به صورت هم‌زمان برای تحلیل مقایسه‌ای
- نمایش منابع علمی برای بررسی اعتبار داده‌ها

۳-۶- اجرا و نحوه استفاده از برنامه

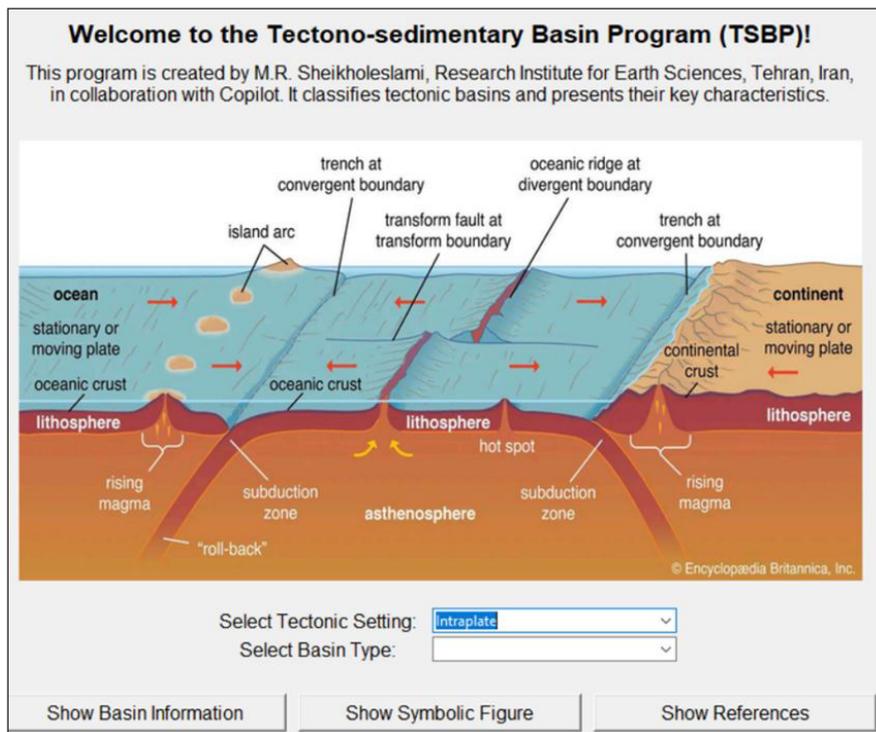
پیش از اجرای برنامه موارد زیر باید روی رایانه کاربر انجام شده باشند.

۱- Python 3 نصب شده باشد.

۲- کتابخانه‌های موردنیاز شامل tkinter، Pillow، pandas، python-docx نصب شوند.

۳- پوشه‌های اکسل (table.xlsx)، نگاره‌ها (Fig)، و مستندات (reference.docx) موجود باشند.

اگر پایتون روی سیستم کاربر نصب نیست، می‌توان آن را از سایت <https://www.python.org/downloads/> دانلود کرد.



شکل ۲- صفحه اصلی برنامه شامل معرفی برنامه و منوهای اصلی برنامه. در این مثال جایگاه زمین‌ساختی Intraplate انتخاب شده است.

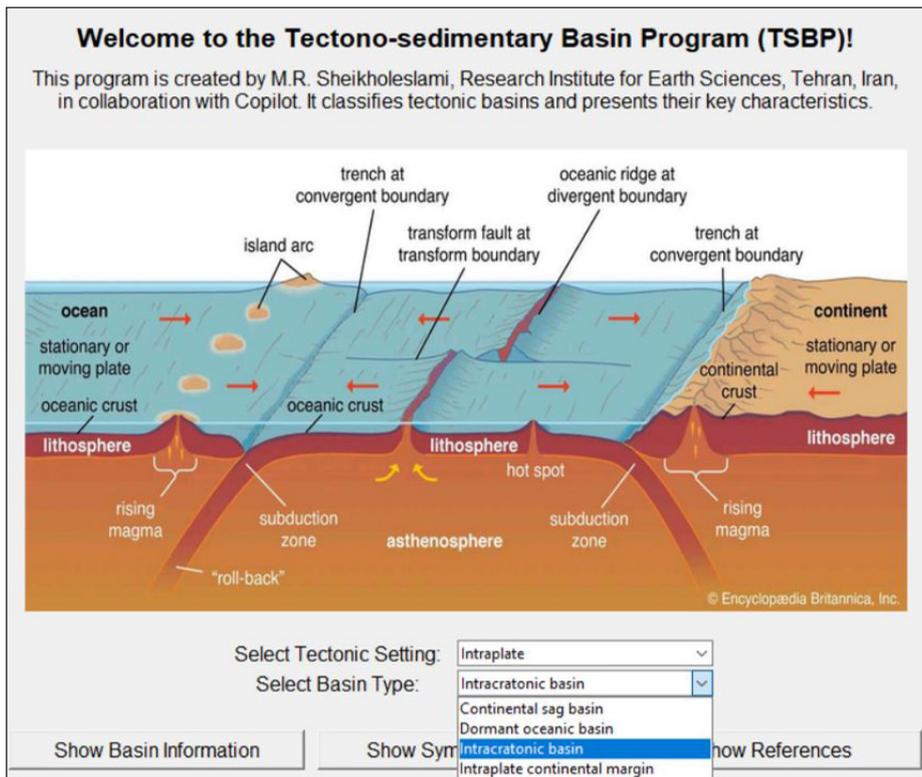
Figure 2. The main interface of the program, including an introduction and the primary menus. In this example, the Intraplate tectonic site is selected.

برای مشاهده نگاره نمادین حوضه بر روی دکمه Show Symbolic Figure کلیک کنید تا نگاره مربوط به حوضه در یک پنجره جدید نمایش داده شود. نگاره قابل تغییر اندازه بوده و نسبت ابعاد حفظ خواهد شد (شکل ۵).

برای مشاهده منابع علمی به کار رفته برای تهیه جدول اکسل بر روی Show References کلیک کنید تا فهرست مستندات علمی اطلاعات نمایش داده شود (شکل ۶).

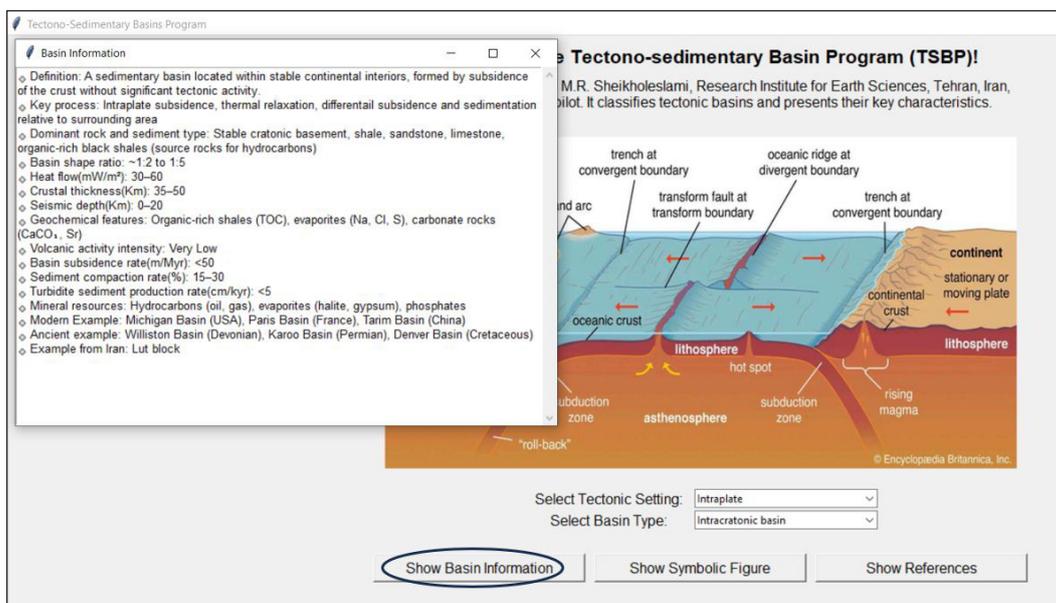
پس از انتخاب، فهرست برای هر جایگاه زمین‌ساختی به‌روزرسانی خواهد شد. در این مرحله باید یک حوضه را انتخاب کنید (برای مثال Intraplate basin، شکل ۳).

برای نمایش جزئیات و توضیحات هر حوضه روی دکمه Show Basin Information کلیک کنید تا ویژگی‌های زمین‌ساختی، فرایندهای ژئوشیمیایی، نرخ فرورانشی و سایر اطلاعات را مشاهده کنید (شکل ۴).



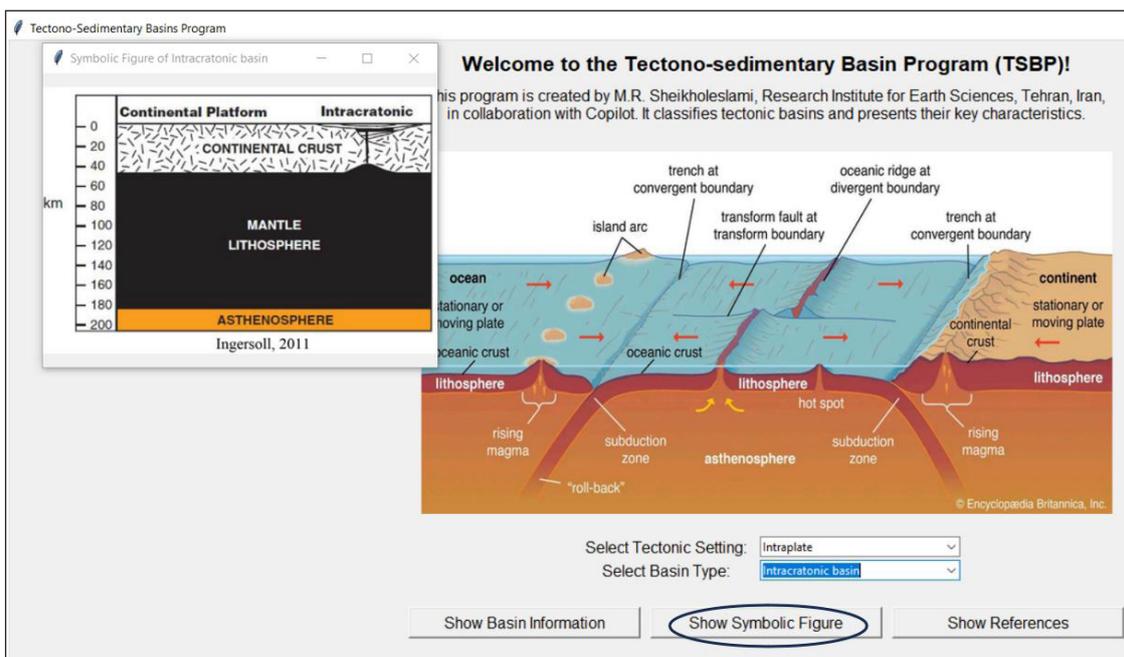
شکل ۳- مرحله انتخاب نوع حوضه رسوبی برای دستیابی به اطلاعات حوضه، نگاره نمادین حوضه و منابع مورد استفاده برای دسته‌بندی حوضه‌ها. در این مثال Intracratonic basin انتخاب شده است.

Figure 3. The stage of selecting the sedimentary basin type to access basin information, symbolic representation of the basin, and the sources used for basin classification. In this example, the Intraplate tectonic site is selected.



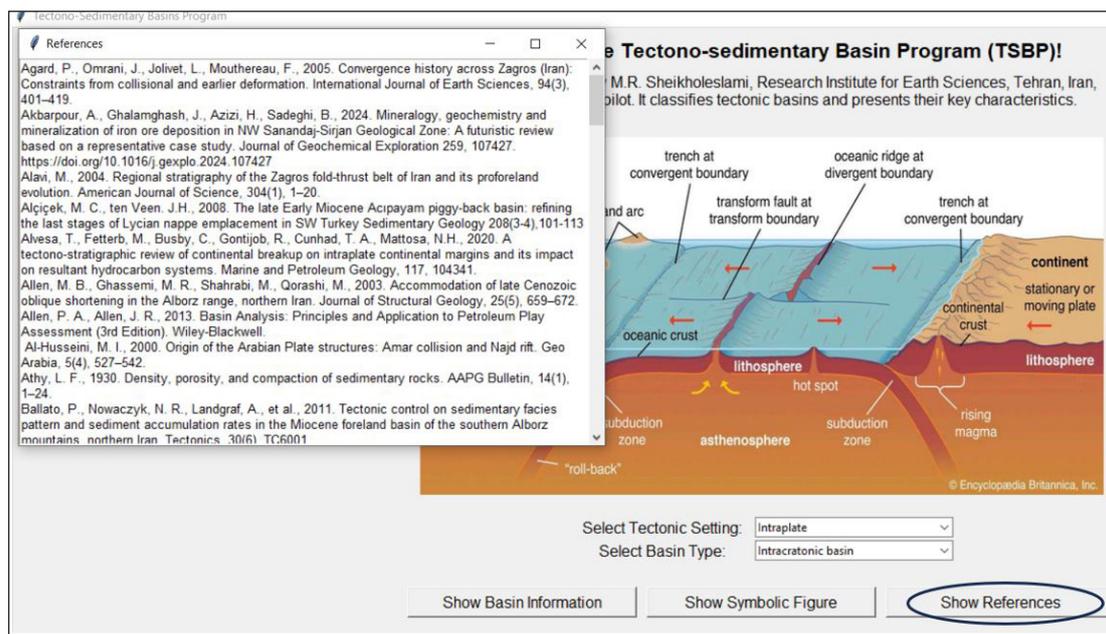
شکل ۴- نمایش ویژگی‌های حوضه رسوبی انتخابی با فشردن دکمه Show Basin Information.

Figure 4. Displaying the characteristics of the selected sedimentary basin by pressing the “Show Basin Information” button.



شکل ۵- نمایش نگاره نمادین حوضه رسوبی انتخابی با فشردن دکمه Show Symbolic Figure.

Figure 5. Displaying the characteristics of the selected sedimentary basin by pressing the “Show Symbolic Figure” button.



شکل ۶- نمایش منابع علمی به کار رفته برای تهیه جدول اکسل با فشردن دکمه Show References.

Figure 6. Displaying the references used to provide the table in excell by pressing the “Show References” button.

دسته‌بندی حوضه‌های رسوبی باشد. نرم‌افزار طراحی شده توانسته است مجموعه‌ای متنوع از اطلاعات کمی و کیفی را در یک محیط تعاملی گردآوری کند و قابلیت بررسی همزمان ویژگی‌های ساختاری، رسوب‌شناسی، ژئوشیمیایی و پتانسیل معدنی حوضه‌ها را نیز فراهم آورد.

یکی از دستاوردهای این پژوهش، ایجاد بستری یکپارچه برای مقایسه حوضه‌ها در مقیاس جهانی و محلی است. در این رویکرد، امکان مشاهده نمونه‌های امروزی و قدیمی هر نوع حوضه و نیز نمونه‌های مشابه در ایران، به کاربران کمک می‌کند

چنانچه برنامه اجرا نشد، بررسی کنید که پایتون و کتابخانه‌ها نصب شده باشند و تمام پوشه‌های موردنیاز در کنار برنامه باشند. اگر پیام خطای Module Not Found Error را دیدید، دوباره دستور pip install pandas pillow python-docx را اجرا کنید.

۴- بحث

نتایج این پژوهش بیانگر آن است که به کارگیری روش‌های برنامه‌نویسی برای تحلیل داده‌های زمین‌ساختی و رسوبی می‌تواند راهکاری سودمند و کارآمد برای معرفی و

داده‌پردازی است که می‌تواند مسیر توسعه ابزارهای مشابه را در سایر حوزه‌های علوم زمین هموار سازد و به افزایش دقت، کارایی و سرعت در بررسی‌های زمین‌شناسی کمک کند.

۵- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف طبقه‌بندی حوضه‌های زمین‌ساختی-رسوبی و ارائه یک ابزار تعاملی مبتنی بر زبان برنامه‌نویسی پایتون انجام شده است. نرم‌افزار توسعه یافته (TSBP) با گردآوری و پردازش داده‌های علمی معتبر، امکان معرفی و مقایسه انواع حوضه‌ها را در قالب یک محیط کاربرپسند فراهم می‌کند. این چارچوب با ترکیب رابط کاربری گرافیکی، نگاره‌های نمادین و منابع علمی، به کاربران اجازه می‌دهد تا بر اساس جایگاه زمین‌ساختی، ویژگی‌های رسوبی، ژئوشیمیایی و پتانسیل معدنی هر حوضه را مشاهده نمایند.

نتایج نشان می‌دهد که این ابزار می‌تواند دقت و سرعت تحلیل داده‌ها را افزایش داده و با قابلیت مقایسه همزمان چند حوضه، به ارتقای فرایندهای آموزشی، پژوهشی و اکتشافی کمک کند. همچنین، ساختار ماژولار و انعطاف‌پذیر نرم‌افزار امکان توسعه قابلیت‌های پیشرفته‌تری همچون نمایش نمودارهای تحلیلی، همگام‌سازی با پایگاه‌های داده علمی بین‌المللی، و بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین را در آینده فراهم می‌سازد.

به طور کلی، توسعه این نرم‌افزار گامی مؤثر در ادغام علوم زمین با علوم داده به‌شمار می‌رود و می‌تواند به‌عنوان ابزاری سودمند برای دانشجویان، پژوهشگران و متخصصان در زمینه تحلیل حوضه‌های رسوبی و اکتشاف منابع زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد.

تا ضمن شناخت ویژگی‌های عمومی هر گروه، تفاوت‌های منطقه‌ای را نیز ارزیابی کنند. این قابلیت برای مطالعات اکتشافی، به‌ویژه در حوزه منابع هیدروکربنی و معدنی، ارزشمند خواهد بود.

در مقایسه با روش‌های غیرتعاملی تحلیل حوضه، این رویکرد برتری‌هایی همچون سرعت بالاتر پردازش، کاهش خطاهای انسانی، و قابلیت شخصی‌سازی و به‌روزرسانی داده‌ها را ارائه می‌دهد. استفاده از کتابخانه‌های تخصصی پایتون مانند Matplotlib، Pandas و Tkinter، امکان پردازش و نمایش دیداری داده‌ها را با دقت و انعطاف‌پذیری بالایی فراهم کرده است. افزون بر این، ترکیب داده‌های ساختاری با اطلاعات رسوبی و ژئوشیمیایی، دید جامع‌تری نسبت به فرایندهای تشکیل و تکامل حوضه‌ها ارائه می‌کند.

با وجود این برتری‌ها، محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. وابستگی به داده‌های ورودی، یکی از چالش‌های کلیدی است؛ چنانچه داده‌ها ناقص یا ناسازگار باشند، خروجی نرم‌افزار می‌تواند از نظر دقت دچار افت شود. همچنین، نبود قابلیت‌های پیشرفته تحلیلی مانند مدل‌سازی سه‌بعدی، شبیه‌سازی دینامیکی و تحلیل‌های زمین‌ساختی-زمانی، می‌تواند دامنه کاربرد برنامه را در پروژه‌های پیچیده محدود کند.

از دیدگاه توسعه آتی، افزودن امکاناتی همچون مقایسه چندحوضه‌ای همزمان، نمایش نمودارهای تحلیلی بر پایه پارامترهای رسوبی و زمین‌ساختی، همگام‌سازی خودکار با پایگاه‌های داده علمی بین‌المللی و استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای شناسایی الگوهای پنهان، می‌تواند نقش نرم‌افزار را به‌عنوان یک ابزار مرجع در مطالعات دانشگاهی و صنعتی افزایش دهد.

در نهایت، این پروژه نمونه‌ای کاربردی از ادغام علوم زمین با فناوری‌های نوین

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94(3), 401-419.
- Akbarpour, A., Ghalamghash, J., Azizi, H., and Sadeghi, B., 2024. Mineralogy, geochemistry and mineralization of iron ore deposition in NW Sanandaj-Sirjan Geological Zone: A futuristic review based on a representative case study. *Journal of Geochemical Exploration* 259, 107427. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2024.107427>.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304(1), 1-20.
- Alçiçek, M. C., and ten Veen. J.H., 2008. The late Early Miocene Acıpayam piggy-back basin: refining the last stages of Lycian nappe emplacement in SW Turkey *Sedimentary Geology* 208(3-4),101-113.
- Al-Husseini, M. I., 2000. Origin of the Arabian Plate structures: Amar collision and Najd rift. *Geo Arabia*, 5(4), 527-542.
- Allen, M. B., Ghassemi, M. R., Shahrabi, M., and Qorashi, M., 2003. Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, northern Iran. *Journal of Structural Geology*, 25(5), 659-672.
- Allen, P. A., and Allen, J. R., 2013. *Basin Analysis: Principles and Application to Petroleum Play Assessment* (3rd Edition). Wiley-Blackwell.
- Alvesa, T., Fetterb, M., Busby, C., Gontijob, R., Cunhad, T. A., and Mattosa, N.H., 2020. A tectono-stratigraphic review of continental breakup on intraplate continental margins and its impact on resultant hydrocarbon systems. *Marine and Petroleum Geology*, 117, 104341.
- Athy, L. F., 1930. Density, porosity, and compaction of sedimentary rocks. *AAPG Bulletin*, 14(1), 1-24.
- Ballato, P., Nowaczyk, N. R., Landgraf, A., Strecker, Manfred R., Friedrich., and Tabatabaei, S. H., 2011. Tectonic control on sedimentary facies pattern and sediment accumulation rates in the Miocene foreland basin of the southern Alborz mountains, northern Iran. *Tectonics*, 30(6), TC6001.
- Bally, A. W., and Snelson, S., 1980. Realms of subsidence. *Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir*, 6, 9-94.
- Berberian, M., and King, G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2), 210-265.
- Beydoun, Z. R., 1991. Arabian Plate hydrocarbon geology and potential—a plate tectonic approach. *AAPG Studies in Geology*, 33, 77-112.
- Bjørlykke, K., 2010. *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*. Springer.
- Busby, C., Azor, A. (Eds.), 2011. *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. Wiley-Blackwell, Oxford. <https://doi.org/10.1002/9781444347166>.
- Byrne, D. E., Sykes, L. R., 1992. Great thrust earthquakes and aseismic slip along the plate boundary of the Makran subduction zone. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 97(B1), 449-478.

- Chiu, H. Y., Chung, S. L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M., and Iizuka, Y., 2013. Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. *Lithos*, 162-163, 70–87.
- Christensen, N. I., and Mooney, W. D., 1995. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B6), 9761–9788.
- Cloos, M., 1993. Lithospheric buoyancy and collisional orogenesis: Subduction of oceanic plateaus, continental margins, island arcs, spreading ridges, and seamounts. *Geological Society of America Bulletin*, 105(6), 715–737.
- Coward, M. P., Ries, A. C. (Eds.), 1995. *Early Precambrian Processes*. Geological Society of London.
- DeCelles, P. G., and Giles, K. A., 1996. Foreland basin systems. *Basin Research*, 8(2), 105–123.
- Dickinson W. R., and Seely D. R., 1979. Structure and Stratigraphy of Forearc Regions, *AAPG Bulletin* 63 (1), 2–31.
- Dickinson, W. R., 1974. Plate tectonics and sedimentation. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication*, 22, 1–27.
- Edgell, H. S., 1996. Salt tectonism in the Persian Gulf basin. In *Salt Tectonics* (pp. 217–230). Geological Society of London. Encyclopedia, Britannica, Inc. 2013.
- Einsele, G., 2000. *Sedimentary Basins: Evolution, Facies, and Sediment Budget* (2nd Edition). Springer.
- Emami, M. H., 1981. Geology of the Saghand area, Central Iran. *Geological Survey of Iran Report*, 52, 1–143.
- Flemings, P. B., and Jordan, T. E., 1989. A synthetic stratigraphic model of foreland basin development. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B4), 3851–3866.
- Fowler, C. M. R., 2005. *The Solid Earth: An Introduction to Global Geophysics* (2nd Edition). Cambridge University Press.
- French, B. M., 1998. *Traces of Catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures*. Lunar and Planetary Institute.
- Ghasemi, A., and Talbot, C. J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6), 683–693.
- Gibbs, A. D., 1984. Structural evolution of extensional basin margins. *Journal of the Geological Society*, 141(4), 609–620.
- Guest, B., Axen, G. J., Lam, P. S., and Hassanzadeh, J., 2006. Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined strike-slip and convergence across the Talesh transfer zone. *Geosphere*, 2(2), 102–117.
- Hall, R., 2002. Cenozoic geological and plate tectonic evolution of SE Asia and the SW Pacific: Computer-based reconstructions, model and animations. *Journal of Asian Earth Sciences*, 20(4), 353–431.
- Heller, P. L., and Dickinson, W. R., 1985. Submarine ramp facies model for delta-fed, sand-rich turbidite systems. *AAPG Bulletin*, 69(6), 960–976.
- Horton, B. K., Hassanzadeh, J., Stockli, D. F., Axen, G.J., Gillis, R.J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M.D., Zamanzadeh, S.M., and Grove, M., 2008. Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. *Tectonophysics*, 451(1-4), 97–122.
- <http://geologylearn.blogspot.com/2015/07/arc-related-basins.html>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Continental_margin#/media/File:Continental_shelf.svg
- <https://opentextbc.ca/physicalgeology2ed/chapter/6-3-depositional-environments-and-sedimentary-basins/>
- <https://www.acer-acre.ca/resources/climate-change-in-context/general-concepts/earth-systems/interactions-among-components-cycles-hydrological-enso-nao>
- <https://www.geological-digressions.com/accretionary-prisms-and-forearc-basins>
- https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2010/10249gordon/ndx_gordon.pdf.html
- <https://www.studocu.com/in/document/pondicherry-university/global-tectonics/the-concept-of-ophiolites/32038541>
- Ingersoll, R. V., Busby, C., 1995. *Tectonics of Sedimentary Basins*. Blackwell Science.
- Jackson, M. P. A., and Talbot, C. J., 1986. External shapes, strain rates, and dynamics of salt structures. *Geological Society of America Bulletin*, 97(3), 305–323.
- Ju, Y., Wang, G., Li, S., Sun, Y., Suo, Y., Somerville, I., Li, W., Hed, B., Zheng, M., and Yu, K., 2020. Geodynamic mechanism and classification of basins in the Earth system. *Gondwana Research*, 102, 200-228.
- Karimejad Lalami, H.R., Hajjalibeigi, H., Sherhati, S., and Adabi, M.H., 2020. Tectonic evolution of the Zagros foreland basin since Early Cretaceous, SW Iran: Regional tectonic implications from subsidence analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 104550. doi:10.1016/j.jseaes.2020.104550.
- Karner, G. D., and Driscoll, N. W., 1999. Tectonic and stratigraphic development of the West African and eastern Brazilian margins: Insights from quantitative basin modeling. *Geological Society of London Special Publications*, 153(1), 11–40.
- Kearey, P., Klepeis, K. A., and Vine, F. J., 2009. *Global Tectonics* (3rd Edition). Wiley-Blackwell.
- Kopp, C., Fruehn, J., Flueh, E. R., Klaeschen, D., Bialas, J., and Reichert, C., 2000. Structure of the Makran subduction zone from wide-angle seismic data. *Tectonophysics*, 329(1-4), 191–207.
- Lasemi, Y., Ghomashi, M., Amin-Rasouli, H., and Kheradmand, A., 2008. The Lower Triassic Sorkh Shale Formation of the Tabas Block, east central Iran: Succession of a failed-rift basin at the Paleo-Tethys margin. *Carbonates and Evaporites* 23 (1), 21–38. <https://doi.org/10.1007/BF03176024>.
- Leeder, M. R., 1999. *Sedimentology and Sedimentary Basins: From Turbulence to Tectonics*. Blackwell Science.

- Luijendijk, E., 2020. PyBasin: a Python-based open-source basin model code to simulate sediment burial, compaction and thermal history. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4263427>.
- Mann, P., Hempton, M. R., Bradley, D. C., and Burke, K., 1983. Development of pull-apart basins. *Journal of Geology*, 91(5), 529–554.
- Merriman R. J., 2005. Clay minerals and sedimentary basin history. *European Journal of Mineralogy*, 17 (1), 7–20.
- Metcalfe, I., 2013. Tethyan evolution of central Asia. *Gondwana Research*, 23(4), 1201–1215.
- Miall, A. D., 2016. *Principles of Sedimentary Basin Analysis* (3rd Edition). Springer.
- Molinaro, M., Leturmy, P., Guezou, J. C., Rigollet, C., M. and de Lamotte, D., 2005. The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: From thin-skinned to thick-skinned tectonics. *Tectonics*, 24(3), TC3007.
- Motiei, H., 1993. *Geology of Iran: Stratigraphy*. Geological Survey of Iran.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentology and Stratigraphy* (2nd Edition). Wiley-Blackwell.
- Pollack, H. N., Hurter, S. J., and Johnson, J. R., 1993. Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set. *Reviews of Geophysics*, 31(3), 267–280.
- Prothero, D. R., and Dott, R. H., 2004. *Evolution of the Earth*. McGraw-Hill.
- Robert, A. M. M., Letouzey, J., Kavooosi, M. A., Sherkat, S., Müller, C., Vergés, J., and Aghababaei, A., 2014. Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin. *Marine and Petroleum Geology*, 57, 68–87. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.05.002>.
- Rollinson, H., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Longman.
- Royden, L. H., Keen, C. E., 1980. Rifting process and thermal evolution of the continental margin of eastern Canada determined from subsidence curves. *Earth and Planetary Science Letters*, 51(2), 343–361.
- Saccani, E., and Photiades, A., 2004. Mid-ocean ridge and supra-subduction affinities in the Pindos ophiolites (Greece): Implications for magma genesis in a forearc setting. *Lithos*, 73(3-4), 229–253.
- Schlager, W., 2005. *Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy*. SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology.
- Sepehr, M., and Cosgrove, J. W., 2004. Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 21(7), 829–843.
- Shahidi, A., and Hassanzadeh, J., 2003. Stratigraphy and depositional environments of the Upper Jurassic–Lower Cretaceous deposits in the Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 26(2), 197–214.
- Sheikholeslami, M.R., 2016. Tectono-stratigraphic evidence for the opening and closure of the Neotethys Ocean in the southern Sanandaj-Sirjan zone, Iran, in Sorkhabi, R., ed., *Tectonic Evolution, Collision, and Seismicity of Southwest Asia: In Honor of Manuel Berberian's Forty-Five Years of Research Contributions: Geological Society of America Special Paper 525*.
- Sheikholeslami, M.R., 2018. Tectosedimentary evolution of the basins in Central Alborz, Iran, *Geosciences*, 106, 29-38.
- Smith, G. A., and Landis, C., 1995. Intra-Arc Basins. In C. J. Busby, & R. V. Ingersoll (Eds.), *Tectonics of Sedimentary Basins* (pp. 263-298). Blackwell Science.
- Stampfli, G. M., and Borel, G. D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth and Planetary Science Letters*, 196(1-2), 17–33.
- Stein, C. A., and Stein, S., 1992. A model for the global variation in oceanic depth and heat flow with lithospheric age. *Nature*, 359(6391), 123–129.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *AAPG Bulletin*, 52(7), 1229–1258.
- Takano, O., Itoh, Y., and Kusomoto, S., 2013. Variation in Forearc Basin Configuration and Basin-filling Depositional Systems as a Function of Trench Slope Break Development and Strike-Slip Movement: Examples from the Cenozoic Ishikari–Sanriku-Oki and Tokai-Oki–Kumano-Nada Forearc Basins, Japan, In book: *Mechanism of Sedimentary Basin Formation - Multidisciplinary Approach on Active Plate Margins*, In Tech Editors: Yasuto Itoh.
- Talbot, C. J., and Alavi, M., 1996. The past of a future syntaxis across the Zagros. *Geological Society, London, Special Publications*, 100(1), 89–109.
- Talebian, M., and Jackson, J., 2004. A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysical Journal International*, 156(3), 506–526.
- Turcotte, D. L., and Schubert, G., 2002. *Geodynamics* (2nd Edition). Cambridge University Press.
- Walderhaug, O., and Bjørkum, P. A., 2003. Temperature control on quartz cementation in deeply buried sandstone reservoirs. *AAPG Bulletin*, 87(6), 939–954.
- Walker, R., and Jackson, J., 2004. Active tectonics and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, 23(5), TC5010.
- Walther, D., 2002. *Basin Analysis: Quantitative Methods* (2nd Edition). Blackwell Science.
- White, R. S., and Klitgord, K. D., 1976. Sedimentation and subsidence in the Gulf of Oman. *Geological Society of America Bulletin*, 87(12), 1703–1714.
- Winter, J. D., 2010. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology* (2nd Edition). Pearson.
- Wu, J. E., McClay, K., Whitehouse, P., and Dooley, T., 2009. 4D analogue modelling of transtensional pull-apart basins. *Marine and Petroleum Geology*, 26, 1608–1623.