

Evaluation of Erosion and Sedimentation Areas of Drainage Basins of Makran Coastal Using Non-dimensional Hypsometric Curves

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Pourzare M.¹ MA,
Seif A.* PhD

How to cite this article

Pourzare M, Seif A. Evaluation of Erosion and Sedimentation Areas of Drainage Basins of Makran Coastal Using Non-dimensional Hypsometric Curves. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):170-184.

ABSTRACT

Introduction and Background Geomorphic quantitative indices are useful for identifying specific features of a particular region, especially in tectonic studies. One of these indicators is the hypsometric curves (hypsometry) and the hypersonic integral which is used to indicate the potential of the regions in terms of tectonic activity in order to assess the areas under erosion and sedimentation of drainage areas.

Aims The aim of this study investigates the physical characteristics of the catchment areas of the Makran coastline in terms of their erosion characteristics and sedimentation using non-dimensional hypsometric curves.

Methodology In this study, for extraction of the network of streams and their ranking, a digital elevation model of the region with Resolution of 10 meters was ranked according to the Australian method. In the Python programming environment, it was coded to calculate the values of tables and plot the dimensionless hypersonic curves for analyzing the erosion state and sedimentation in the entire surface of the watershed of Makran coastal areas as well as drainage basins.

Conclusion Measuring the Hypsometric Curve Index shows that they are balanced in the main basin of geomorphologic processes. Considering the values of the table and drawing of the hypsometric curve of the whole area of the region, it shows a balanced expansion of plain and altitude. But calculating the hypsometric curve and integral in the sub-basins of the study area shows that the northern part of the sub-basins, tectonic processes are superior to erosion processes. If in the southern sub-basins, erosion processes take precedence over tectonic processes or geomorphologic processes act in a balanced manner. With the influence of geological parameters and the creation of tectonic anomalies, the land will be changed and erosion in the basins will be changed. The total thickness of the drainage basin is 20%.

Keywords PNEO-TECTONICS; Non-Dimensional and Integral Hypsometric Curves; Drainage Basins of Makran Coastal; Erosion

*Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

¹Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

*Correspondence

Address: Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Hezarjarib Street, Isfahan, Iran. Postal Code: 8174673441

Phone: 03137933093

Fax: 0313668739

a.seif@geo.ui.ac.ir

Article History

Received: July 17, 2018

Accepted: October 4, 2018

ePublished: December 09, 2018

CITATION LINKS

[Abedini & Shabrang; 2014] Evaluation of neo tectonic activities in Meshkin Chai Catchment ...; [Chen, et al.; 2003] Along-strike variations of morphotectonic features in ...; [Dehbozorgi et al.; 2010] Quantitative analysis of relative tectonic activity in the ...; [El Hamdouni, et al.; 2008] Assessment of relative active tectonics, southwest border ...; [Ezati & Agh-Atabaei; 2014] An analysis of towed active construction of the Bojnourd Basin ...; [Giaconia et al.; 2012] Geomorphic evidence of active tectonics ...; [Gurabi & Emami; 2017] Neotectonics influences on morphological variations ...; [Haghipour & Burg; 2014] Geomorphological analysis of the drainage ...; [Jamieson, et al.; 2004] Tectonic forcing of longitudinal valleys in the Himalaya ...; [Keller & Pinter; 2002] Active tectonics, Earthquakes, Uplift ...; [Nakhaei & Ghanavati; 2006] Application of hypsometric curves in determining areas under erosion and sedimentation ...; [Pedrera, et al. 2009] Testing the sensitivity of geomorphic indices ...; [Pourkermani & Solgi; 2009] Morphotectonics ...; [Rockwell, et al.; 1985] Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain ...; [Rustaei & Agh-Atabaei; 2015] Quantitative analysis of the impact of neo tectonic activity ...; [Ruszkiczay-Rüdiger, et al.; 2009] Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low ...; [Salari & Moradi; 2009] Application of dimensionless hypsometric curves in evaluation of erosion ...; [Singh; 2009] Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser ...; [Strahler; 1952] Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional ...

ارزیابی مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه‌های زهکشی سواحل مکران با استفاده از منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۷/۱۲

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۴/۲۶

DOI: 10.29252/geores.33.3.170

چکیده

مقدمه: شاخص‌های کمی ژئومورفیکی برای شناسایی خصوصیات خاص یک ناحیه به‌ویژه در مطالعات تکتونیکی مفید هستند. یکی از این شاخص‌ها، منحنی‌های هیپسومتری (فرازسنجی) و انتگرال هیپسومتری است که برای نشان دادن پتانسیل مناطق از نظر فعالیت تکتونیکی به‌منظور ارزیابی مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه‌های زهکشی استفاده می‌شود.

هدف: این تحقیق بررسی مشخصه‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز سواحل مکران از نظر ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری آن‌ها با استفاده از منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این تحقیق برای استخراج شبکه آبراهه‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها از مدل رقومی ارتفاعی منطقه با قدرت تفکیک ۱۰ متر بر اساس روش استرالز رتبه‌بندی گردیده و در محیط برنامه‌نویسی پایتون به‌صورت کدنویسی جهت محاسبه مقادیر جداول و ترسیم منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد برای تحلیل وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در سطح کل حوزه آبریز سواحل مکران و نیز زیر حوضه‌های زهکشی انجام شده است.

نتیجه‌گیری: اندازه‌گیری شاخص منحنی هیپسومتری نشان می‌دهد که در حوضه‌ی اصلی فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به‌صورت متعادل عمل می‌کنند. با توجه مقادیر جدول و ترسیم منحنی هیپسومتری کل حوضه منطقه نشان‌دهنده گسترش متعادل دشت و ارتفاع است. ولی محاسبه‌ی منحنی و انتگرال هیپسومتری در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش شمالی زیر حوضه‌ها، فرآیندهای تکتونیکی بر فرآیندهای فرسایشی برتری دارد. در صورتی که در بخش جنوبی زیر حوضه‌ها، فرآیندهای فرسایشی بر فرآیندهای تکتونیکی برتری می‌گیرند و یا فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به‌صورت متعادل عمل می‌کنند. با تأثیر پذیرفتن پارامترهای زمین‌شناسی و ایجاد آنومالی‌های تکتونیک، جنس زمین تغییر یافته و فرسایش در حوضه‌ها دگرگون خواهد شد. انتگرال هیپسومتری کل حوضه زهکشی برابر ۲۰٪ است.

واژگان کلیدی: نو زمین‌ساخت، منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد و انتگرال، حوضه‌های زهکشی سواحل مکران، فرسایش.

مقدمه

رابطه بین فرم و فرآیند در ژئومورفولوژی از اهمیت زیادی برخوردار است. با تغییر فرآیند، فرم‌ها تغییر کرده و فرآیندهای جدیدی در قالب فرم‌های جدید به وجود خواهند آمد. فرآیندهای تکتونیک در گذر زمان چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها را به وجود می‌آورند. حوضه‌های آبریز و اشکال شبکه زهکشی نیز از فرم‌های منتج از فرآیندهای بیرونی و درونی هستند.

شناسایی فرم‌ها و تغییرات آن‌ها در ژئومورفولوژی کمک زیادی در شناسایی نوع فرآیندها و تغییرات آن‌ها خواهد کرد که در این راستا دانش ژئومورفومتری و مورفومتری نقش خود را ایفا می‌کنند (Gurabi & Emami, 2017).

تشخیص وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل هیپسومتری به‌عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به‌کاربرده می‌شود (Singh, 2009). انتگرال هیپسومتری (Hi)^۱ یکی از پارامترهای رده‌بندی‌شده زمین‌شناختی در توسعه مراحل زمین‌شناسی یک حوضه زهکشی است. این شاخص به‌عنوان مساحت نسبی زیر منحنی هیپسومتری تعریف شده است، که بیانگر حجم فرسایش نیافته حوضه است و به‌صورت درصدی بیان می‌شود (Keller & Pinter, 2002). منحنی هیپسومتری (Hc)^۲ با پیاده کردن نسبت ارتفاع کل حوضه (ارتفاع نسبی) در مقابل نسبت مساحت کل حوضه حاصل می‌شود (Strahler, 1952).

امروزه در ارزیابی زمین‌ساخت فعال یا نو زمین‌ساخت از شاخص‌های ژئومورفیک علی‌الخصوص منحنی‌های هیپسومتری در کنار سایر روش‌های متنوع بیشتر استفاده می‌شود که تحقیقات زیادی در سال‌های اخیر در داخل کشورمان و خارج در زمینه ارزیابی زمین‌ساخت فعال به‌عمل آمده است که در اینجا به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود:

راکول^۳ و همکاران (۱۹۸۵) مخروط‌افکنه‌های آبرفتی و جبهه‌های کوهستانی نزدیک وتورا، کالیفرنیا را با کمک تکتونیک ژئومورفولوژی موردبررسی قرار دادند. با توجه به نتایج نشان می‌دهد که سینوسیته جبهه کوهستان در ناحیه مورد مطالعه از ۱/۰۱ تا ۲/۷۲ متغیر است. از مشخصه جبهه فعال تکتونیک در منطقه وتورا، میزان نرخ بالآمدگی حدود ۰/۴ میلی‌متر در سال است (Rockwell, Keller, & Johnson, 1985).

جیمسون^۴ و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر عوامل تکتونیک بر نسبت انشعابات، تراکم زهکشی، انتگرال هیپسومتریک شبکه‌های رودخانه‌ای در هیمالیا در شمال هند را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیانگر این است که عدم تقارن مورفومتریک در ناحیه مرکزی مشهود است که دره شیوک از لحاظ تکتونیک غیرفعال است، اما دره ایندوس توسط مولاس و باتولیت به سمت شمال شرقی محصور شده است (Jamieson, Sinclair, Kirstein, & Purves, 2004).

همدونی و همکاران (۲۰۰۸) حوضه نوادا در جنوب اسپانیا را با استفاده از شش شاخص زمین ریخت ساختی به ارزیابی نسبی زمین‌ساخت فعال موردبررسی و با محاسبه و رده‌بندی شاخص‌های مذکور و گرفتن میانگین (شاخص S/N)، در نهایت در چارچوب مدل شاخص زمین‌ساخت فعال نسبی، به رده‌بندی زمین‌ساخت فعال به چهار رده بسیار فعال تا فعالیت نسبتاً کم پرداخته است (El Hamdouni, Irigaray, Fernández, Chacón, & Keller, 2008).

ده بزرگی و همکاران (۲۰۱۰)، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک ناحیه سروستان در بخش زاگرس مرکزی را مطالعه کرده‌اند و این ناحیه را به چهار منطقه به لحاظ فعالیت‌های نو زمین‌ساختی به‌صورت بسیار فعال، فعال، نسبتاً فعال و با فعالیت بسیار پایین طبقه‌بندی نموده‌اند (Dehbozorgi et al., 2010).

گیکونیا^۵ و همکاران (۲۰۱۲)، از شاخص‌های ژئومورفیک فاکتور عدم تقارن (AF)^۶، سینوسیته جبهه کوهستان (S_{mf})^۷، طول جریان رود به شیب رود (SL)^۸، منحنی هیپسومتری (Hc)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع دره (VF)^۹ برای بررسی تغییر شکل آبراهه‌ها و دامنه‌های سیرا در جنوب شرق اسپانیا بر اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی استفاده

1 hypsometric integral

2 hypsometric curves

3 Rockwell

4 Jamieson

5 Giaconia

6 Asymmetry Factor

7 Sinuosity of Mountain-Front

8 Stream Length- Gradient Index

9 Valley Floor Index

نموده و تغییرات را مربوط به دو منطقه ی گسلی، گسل معکوس از خطالرأس به سمت شمال و شرق و دیگری گسل نرمال از خطالرأس به طرف جنوب می دانند (Giaconia et al., 2012).

حقی پور و بورگ^۱ (۲۰۱۴) الگوی کانال و پروفیل طولی شش حوزه مجاور عمده در جنوب شرقی ایران و جنوب غربی پاکستان در راستای انعکاس رشد اخیر و فعال گوه برافزایشی مکران مورد بررسی قرار داده اند (Haghipour & Burg, 2014).
نخعی و قنواتی (۱۳۸۵) در تحقیقی با کاربرد منحنی های هیپسومتری بی بعد در تعیین مساحت های در حال فرسایش و رسوب گذاری حوضه خیرآباد استان کهگیلویه و بویراحمد استنباط نموده اند که کل حوضه این منطقه در حال تعادل نسبی است (Nakhaei & Ghanavati, 2006).

سالاری و مرادی (۱۳۸۸) مساحت های در حال فرسایش و رسوب گذاری حوضه آبخیز بانه را با استفاده از منحنی های هیپسومتری بی بعد مورد ارزیابی قرار داده اند. با توجه به محاسبات و ترسیم منحنی های هیپسومتری بی بعد واقعی و تئوریک، متوجه شده اند که حوضه بانه ضمن فرسایش و رسوب گذاری، نسبت به حالت تعادل فاصله نسبتاً بیشتری داشته و جوان تر است (Salari & Moradi, 2009).

عزتی و آق آتابای (۱۳۹۳) شاخص های مختلف شامل عدم تقارن حوضه زهکشی، شکل حوضه، منحنی هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری، سینوسی و طول- شیب رودخانه حوزه زهکشی بجنورد واقع در منطقه البرز شرقی- بینالود محاسبه و سپس نتایج این تجزیه و تحلیل ها باهم جمع و با شاخصی تحت عنوان زمین ساخت فعال نسبی بیان گردیده است. در نهایت منطقه مورد مطالعه (حوضه ی بجنورد) به چهار ناحیه ی تکتونیکی با فعالیت خیلی بالا، بالا، متوسط و پایین تقسیم بندی شده است (Ezati & Agh-Atabaei, 2014).

روستایی و آق آتابای (۱۳۹۴) در پژوهشی به شناخت فعالیت های نوزمین ساختی حوضه آبریز زیارت (واقع در دامنه شمالی البرز خاوری در جنوب گرگان) با استفاده از محاسبه شاخص های ریخت زمین ساختی و شواهد زمین ساختی موجود در این منطقه پرداخته است (Rustaei & Agh-Atabaei, 2015).

گورابی و امامی (۱۳۹۶) با محاسبه کمیت های مورفوتکتونیک حوضه ها (شکل، طول، تقارن و عدم تقارن و ... حوضه؛ تراکم و نسبت انشعاب و ... شبکه زهکشی؛ نسبت مساحت و طول رده آبراهه ها) در حوضه های زهکشی جگین، سدیج، کهیر و باهوکلالت، الگوی رفتاری حوضه ها به نیروهای نوزمین ساختی مشخص نموده اند. علاوه بر شاخص های متداول عدم تقارن آبراهه، ناهنجاری و تراکم ناهنجاری سلسله مراتبی، تقارن توپوگرافی عرضی، پیچناکی رودخانه و شکل حوضه از شاخص های سطحی نسبت مساحت رده و طول آبراهه ها نیز جهت ارزیابی کنش- واکنش زمین ساخت- فرم حوضه ها استفاده شده است (Gurabi & Emami, 2017).

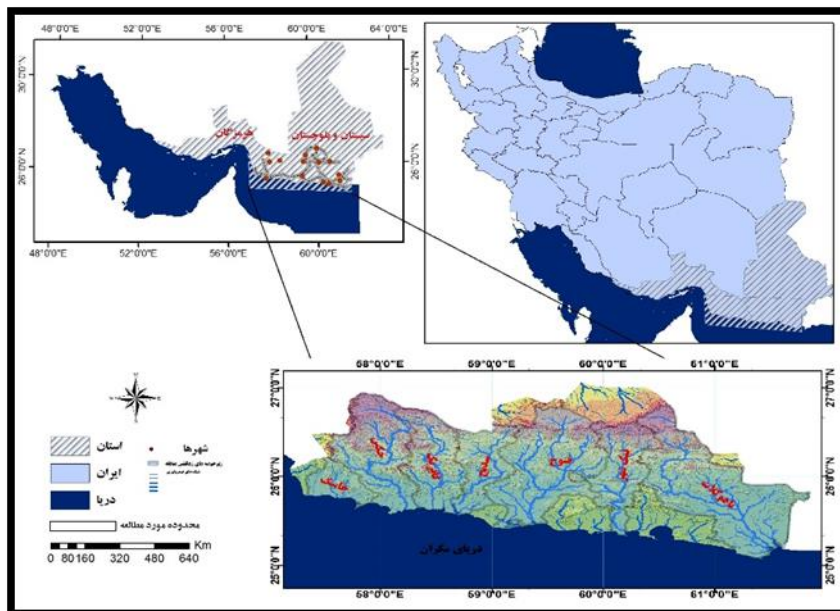
این پژوهش از این لحاظ حائز اهمیت است که تاکنون تحقیقی پیرامون میزان فعالیت زمین ساختی در ارزیابی مساحت های در حال فرسایش و رسوب گذاری در زیر حوزه های زهکشی گستره ناحیه سواحل مکران به صورت جامع با استفاده از شاخص منحنی های هیپسومتری بی بعد صورت نگرفته است. بنابراین با انجام این تحقیق باهدف بررسی ویژگی های فرسایشی و رسوب گذاری حوضه های آبریز منطقه مطالعاتی می تواند در جهت شناخت بیشتر برای مدیریت و برنامه ریزی کارآمدتر برای توسعه پایدار صورت بگیرد.

ابتکار عمل در این مطالعه، از مفاهیم سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط برنامه نویسی پایتون به صورت کدنویسی برای ارزیابی وضعیت فرسایش و رسوب گذاری در سطح کل حوزه آبریز سواحل مکران و نیز زیر حوزه های زهکشی جاسک،

جگین، گابریک، سدیج، فنوج، نیک شهر و باهو کلات منطقه جهت محاسبه مقادیر جداول و ترسیم منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد استفاده شده‌اند.

محدوده و زیر حوضه‌های منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز منطقه مطالعاتی، زیر حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان می‌باشد که از شرق به مرز پاکستان و از جنوب به دریای عمان و از شمال به حوضه جازموریان و از غرب به حوضه آبریز خلیج فارس منتهی می‌گردد. این حوضه بزرگ خود به دو زیر حوضه کوچک‌تر به نام‌های حوضه آبریز رودخانه‌های بین بندرعباس و سدیج و حوضه آبریز رودخانه‌های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان تقسیم می‌گردد. این حوضه‌ها دارای ریز حوضه‌های محلی متعددی می‌باشد که بر اساس مکان‌های مربوط به گسترش آن‌ها نام‌گذاری شده است. اکثر این مناطق دارای آبراهه‌های متعددی می‌باشند که اکثراً در مواقع خاصی از سال دارای آب بوده و اکثراً به صورت خشک‌رودهای در سطح منطقه گسترده شده‌اند (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت زیر حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه‌های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان

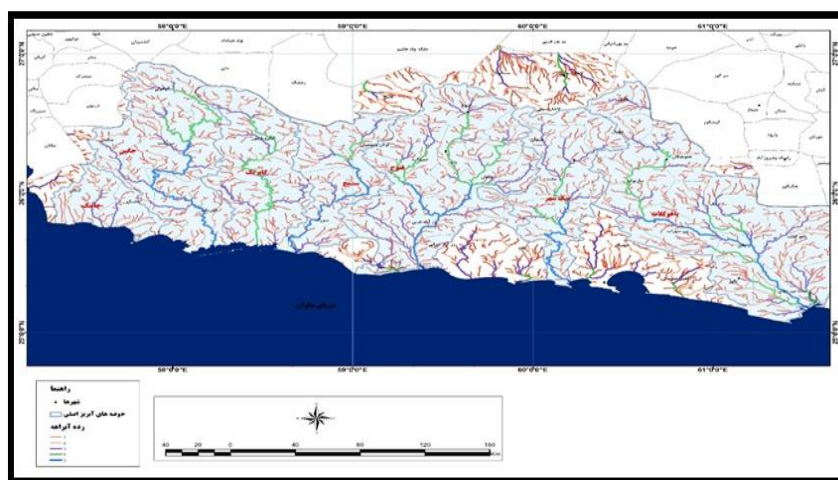
حوضه آبریز بلوچستان جنوبی که مجموع رودخانه‌های بین سدیج و مرز پاکستان را در برمی‌گیرد، بانام "اختصاری رایج - باهو کلات" شناخته شده است. این حوضه در منتهی‌الیه جنوب شرقی ایران واقع شده و مجموع جریان آن‌ها به دریای عمان می‌ریزد. این حوضه آبریز بین مختصات جغرافیایی $47^{\circ} 58'$ تا $12^{\circ} 30'$ درجه طول شرقی و $25^{\circ} 05'$ تا $27^{\circ} 02'$ درجه عرض شمالی قرار گرفته و از شمال محدود به حوضه آبریز هامون جازموریان و حوضه آبریز مشکیل بوده، از غرب به حوضه آبریز سدیج و از شرق با پاکستان هم‌مرز بوده و در جنوب آن نیز سواحل دریای عمان واقع شده است. مساحت حوضه آبریز مذکور برابر 48551 کیلومترمربع با تعداد 15 منطقه مطالعاتی بوده که در حدود 76 درصد آن را مناطق کوهستان و 24 درصد بقیه را دشت و کوهپایه تشکیل داده است. شهرهای چابهار، کنارک، نیک‌شهر و قصرقند در این حوضه قرار دارد.

حوضه آبریز رودخانه های بین بندرعباس - سدیح:

حوضه آبریز رودخانه هایی که بانام اختصاری "بندرعباس - سدیح" شناخته می شود شامل مجموعه رودخانه هایی است که از شرق حوضه آبریز رودخانه کل شروع شده و در حد شرقی حوضه آبریز رودخانه سدیح خاتمه می پذیرد. حوضه آبریز "بندرعباس - سدیح" در تقسیم بندی های دفتر مطالعات پایه منابع آب، بخشی از حوضه آبریز خلیج فارس بوده و از طرف غرب به حوضه آبریز رودخانه کل، از شمال به حوضه آبریز هامون جازموریان، از شرق به حوضه آبریز بلوچستان جنوبی و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان محدود گردیده است. این حوضه آبریز در بخش میانی حوضه های مجاور خلیج فارس قرار داشته و زهکشی آب سطحی و زیرزمینی آن ها به سمت خلیج فارس و دریای عمان می باشد. این حوضه آبریز بین مختصات جغرافیائی $58^{\circ} 58'$ تا $59^{\circ} 18'$ طول شرقی و $25^{\circ} 34'$ تا $28^{\circ} 31'$ عرض شمالی واقع شده و مساحت آن برابر 44763 کیلومتر مربع با تعداد 22 منطقه مطالعاتی بوده که در حدود 72 درصد آن را مناطق کوهستانی و 28 درصد آن را دشت ها و کوهپایه تشکیل داده است. شهرهای بندرعباس، میناب، رودان و جاسک در این حوضه آبریز واقع شده و بخشی از جاده اصلی بندرعباس به سیرجان و نیز بندرعباس به میناب و جاسک در این حوضه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

در این تحقیق با بهره گیری از نرم افزار ArcGIS در محیط Arcmap نقشه های توپوگرافی $1:50000$ ، نقشه های زمین شناسی $1:100000$ زمین مرجع و مختصات دار شده، داده های رستری به فرمت وکتوری تبدیل (رقومی شده) و اقدام به ترسیم نقشه های محدوده مطالعاتی گردید. برای استخراج شبکه آبراهه ها و رتبه بندی آن ها برای استفاده در محاسبات شاخص منحنی های ارتفاعی هیدرولوژی، از مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM)^۱ و بر اساس روش استرال^۲ از ۱ تا ۵ رتبه بندی شد (شکل ۲).

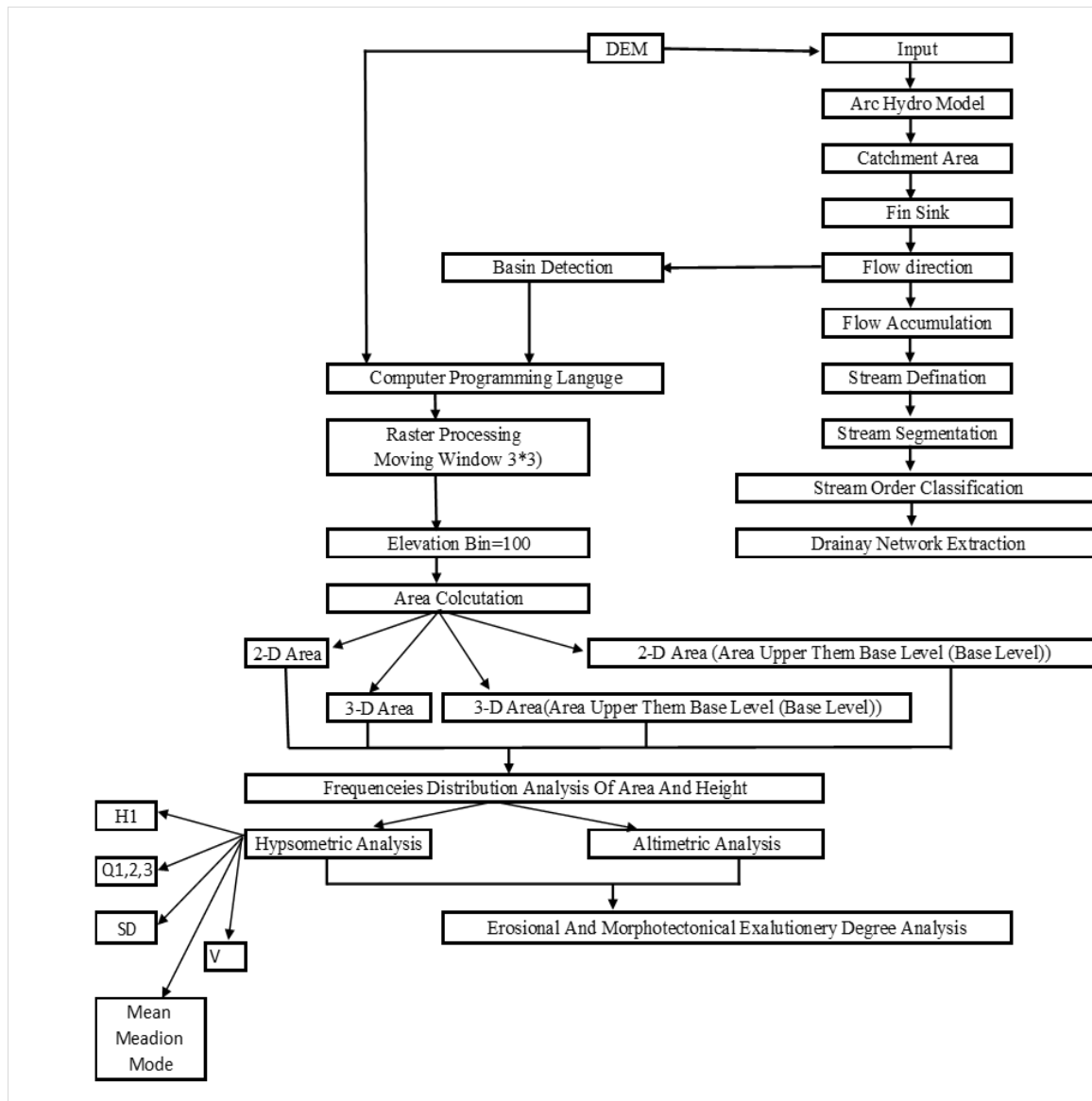


شکل ۲- رده آبراهه ها در حوضه های زهکشی منطقه بر اساس روش استرال

چگونگی انجام فرآیند آماده سازی لایه شبکه زهکشی با کمک اکستنشن ArcHydro در محیط ArcMap و با استفاده از DEM محدوده مطالعاتی، و نیز محاسبه محیط، مساحت و ضریب گراویلیوس حوزه به صورت الگوریتم در شکل ۳ نمایش داده شده است.

1 Digital Elevation Model

2 Strahler

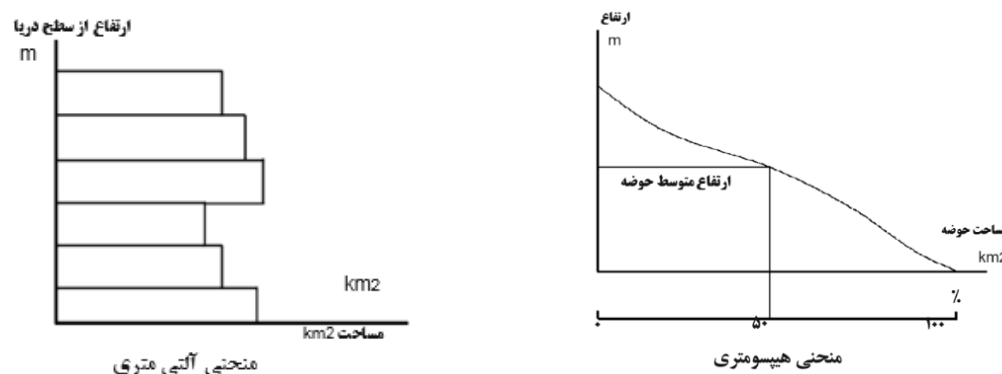


شکل ۳- الگوریتم استخراج شبکه زهکشی و داده‌های مورفومتری زیر حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی

منحنی‌های هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری

این منحنی‌ها پراکندگی ارتفاعات را در بخشی از پهنای یک حوضه زهکشی به کل وسعت حوضه را تشریح می‌کند (شکل ۴). منحنی‌های هیپسومتریک مقدار نسبی مساحت پایین یا بالای حوضه‌های آبریز را در ارتفاع معین نمایش می‌دهند (Chen, Sung, & Cheng, 2003).

منحنی هیپسومتری را به وسیله کشیدن نسبت ارتفاع کل حوضه (نسبت ارتفاعی h به H یا $\frac{h}{H}$ ، به نسبت مساحت کل حوضه (نسبت مساحت a به A یا $\frac{a}{A}$) می‌توانیم به دست آوریم (Pourkermani & Solgi, 2009). در این شاخص H = ارتفاع کل برجستگی داخل حوضه، A = مساحت کل حوضه برابر با جمع مساحت بین خطوط میزان موجود در حوضه می‌باشد و a = مساحتی از حوضه که بالاتر از ارتفاع (h) قرار دارد.

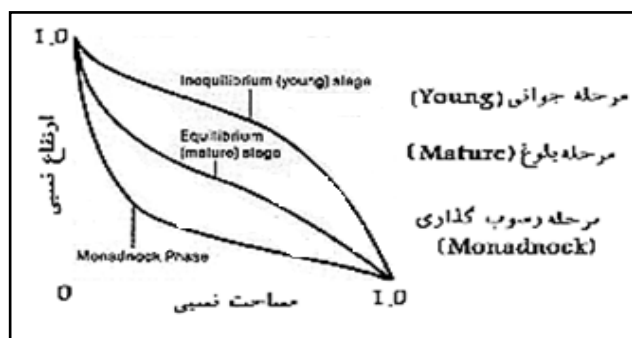


شکل ۴- منحنی های هیپسومتری و آلتی متری حوضه زهکشی

مقدار مساحت نسبی (A/a) بین ۰ در پایین ترین نقطه (h/H=0) تا ۱ در بالاترین نقطه حوضه (h/H=1) حوضه تغییر می کند (Abedini & Shabrang, 2014) انتگرال مساحت زیر منحنی هیپسومتری می تواند نشانگر شکل منحنی و میزان فعالیت های منطقه باشد. یک راه برای محاسبه انتگرال هیپسومتری از یک منحنی، استفاده از رابطه زیر است (Ruszkiczay-Rüdiger, 2009) (Fodor, Horváth, & Telbisz, 2009)

$$H_i = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad \text{رابطه (۱):}$$

در معادله بالا H_i = انتگرال هیپسومتری؛ H_{mean} = ارتفاع متوسط حوضه؛ H_{min} = حداقل ارتفاع حوضه و H_{max} حداکثر ارتفاع حوضه است. مقادیر بالای انتگرال هیپسومتری برای دلالت دارد که اکثر توپوگرافی منطقه نسبت به ارتفاع میانگین بلندتر است، مثلاً ارتفاع بلند و مسطح آن به وسیله یک رودخانه عمیق حفر شده است، نشانگر تکتونیک فعال است. مقادیر متوسط و کم انتگرال تشریح کننده وضعیت معمولی حوضه های زهکشی عادی هستند، یعنی زهکشی های عادی در روی سطوح ارتفاعی، دارای اختلاف چندانی با محیط پیرامون خود نمی باشد (حداکثر و حداقل انتگرال هیپسومتری بین ۱ تا ۰ در نوسان است) (Dehbozorgi et al., 2010) شکل (۵) تطبیق بین انتگرال هیپسومتری و مراحل چرخه فرسایشی دیویس را به تصویر می کشد. تحدب منحنی هیپسومتری مشخص کننده نواحی با فرسایش ضعیف (جوان)، شکل منحنی S نواحی با فرسایش آرام (بلوغ) و منحنی تعقر مشخص کننده نواحی با فرسایش بالا و مرحله پیری می باشد (Pedrera, Pérez-Peña, Galindo, 2009) (Zaldívar, Azañón, & Azor, 2009)



شکل ۵- سه حالت از منحنی هیپسومتری

در این پژوهش برای محاسبه مقادیر با استفاده از مفاهیم سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط برنامه نویسی پایتون به صورت کدنویسی انجام گرفته است. بنابراین ضرورت دارد از انواع مدل های تصحیح کننده و بارز ساز استفاده شود. شکل (۶) مربوط به قطعه کد پایتون تهیه شده برای ترسیم منحنی های هیپسومتری و انتگرال حوضه های زهکشی منطقه مطالعاتی است.

<pre> import numpy import math import os for files in list_files: if files.endswith('.txt'): print '===== START =====' print '===== Calculate Hypsometry for Basin '+files[:4]+' pixel_size = HI_output = open(path+'HI_Basins.txt','a+') HI_output.write('HI Results for '+files[:4]+'\\n') HI_output.write('Maximum- Elvs'+\\t+'Minimum-Elvs'+\\t+'Mean- Elvs'+\\t+'Mode-Elvs'+\\t+'Range-Elvs'+ \\t+'variance'+\\t+'Std- Elvs'+\\t+'HI-Exact'+\\t+'HI-Estimate'+\\t+' 'Skew- ness'+\\t+'kurtosis'+\\t+'kurtosis-My In- dex'+\\n') #import matplotlib.pyplot as plt Hypsometry_results = open(path+'Hypsometry Total Ba- sin_Basins.txt','a+') Hypsomet- try_results.write('Hypsometry Results for '+files[:4]+'\\n') Hypsomet- try_results.write('Elevation(Start)+'\\t+'Elevati- on(End)+'\\t+' 'Pixel-Frequency(Upper than Start Elev)+'\\t+'Pixel-Frequency(Between Class)+'\\t+' '2D Area(Between Class)+'\\t+'2D Area (Upper than Start Elev)+'\\t+'a/A'+\\t+'h/H'+\\n') HI_output = open(path+'HI_Basins.txt','a+') HI_output.write('Hypsometry </pre>	<pre> Results for '+str(files[:4]+'\\n') list_elevations = [] code_matrix_elevation = numpy.loadtxt(path+files,skiprows = 6) row = code_matrix_elevation.shape[0] column = code_matrix_elevation.shape[1] value_numbers = 0.0 r_code = -1 sum_xxbar3+=(H-mean)**3.0 sum_xxbar4+=(H-mean)**4.0 n+=1 skewness = (sum_xxbar3)/(n*SD**3.0) kurtosis = (sum_xxbar4)/(n*SD**4.0) kurtosis_my_index = float(mode)/(float(maxs) - float(mins)) Hypsometry_results.write('Skewness = '+str(skewness)+'\\n') Hypsometry_results.write('kurtosis = '+str(kurtosis)+'\\n') Hypsometry_results.write('kurtosis-MyIndex = '+str(kurtosis_my_index)+'\\n') Hypsometry_results.write('variance Elevs of Grid = '+str(variance)+'\\n') Hypsometry_results.write('Standard Elevation Elevs of Grid = '+str(SD)+'\\n') HI_output.write(str(maxs)+'\\t'+str(mins)+'\\t'+str(mean)+'\\t'+str (mode)+'\\t'+ str(Range)+'\\t'+str(variance)+'\\t'+str(SD)+'\\t'+str(HI)+'\\t'+str(H I_simple)+'\\t'+str(skewness)+ \\t'+str(kurtosis)+'\\t'+str(kurtosis_my_index)+'\\n') Hypsometry_results.write('\\n') HI_output.close() Hypsometry_results.close() #os.system('shutdown -s') </pre>
---	---

شکل ۶- بخشی از کد پایتون برای ترسیم منحنی هیپسو مترهای بی بعد حوضه های زهکشی منطقه

یافته‌های پژوهش

جهت تحلیل هیپسومتریکی زیر حوضه‌ها و کل منطقه بر اساس اطلاعات مربوط به مساحت‌ها و ارتفاعات با استفاده از لایه‌های رقومی ارتفاعی و شبکه هیدرولوژی منطقه در محیط برنامه‌نویسی پایتون به صورت کدنویسی با محاسبه وزنی آن‌ها، مطابق جدول ۲ به دست آورده‌ایم. همچنین مطابق با جدول ۳، میانگین حداکثر ناهمواری، میانگین مساحت بین خطوط تراز و میانگین نسبت ارتفاع در زیر حوضه‌های منطقه محاسبه شده است.

جدول ۲- ارقام محاسبه شده مربوط به منحنی هیپسومتری بی بعد برای کل حوضه زهکشی منطقه

ارتفاع m	اختلاف ارتفاع	مساحت Km2	a/A	h/H
۸۷	۰	۱۸۴۷	۱	۰/۰۲۲
۱۸۷	۱۰۰	۷۸۱	۰/۷۲۳	۰/۰۶۸
۲۸۷	۲۰۰	۶۸۰	۰/۶۰۶	۰/۱۱۳
۳۸۷	۳۰۰	۵۰۲	۰/۵۰۴	۰/۱۵۹
۴۸۷	۴۰۰	۴۰۲	۰/۴۲۹	۰/۲۰۵
۵۸۷	۵۰۰	۳۵۸	۰/۳۶۹	۰/۲۵۰
۶۸۷	۶۰۰	۳۲۶	۰/۳۱۵	۰/۲۹۶
۷۸۷	۷۰۰	۳۳۸	۰/۲۶۶	۰/۳۴۱
۸۸۷	۸۰۰	۳۶۶	۰/۲۱۶	۰/۳۸۷
۹۸۷	۹۰۰	۳۲۷	۰/۱۶۱	۰/۴۳۳
۱۰۸۷	۱۰۰۰	۲۱۶	۰/۱۱۲	۰/۴۷۸
۱۱۸۷	۱۱۰۰	۱۵۱	۰/۰۸۰	۰/۵۲۴
۱۲۸۷	۱۲۰۰	۱۳۴	۰/۰۵۷	۰/۵۶۹
۱۳۸۷	۱۳۰۰	۹۶	۰/۰۳۷	۰/۶۱۵
۱۴۸۷	۱۴۰۰	۶۹	۰/۰۲۳	۰/۶۶۱
۱۵۸۷	۱۵۰۰	۴۴	۰/۰۱۲	۰/۷۰۶
۱۶۸۷	۱۶۰۰	۲۲	۰/۰۰۶	۰/۷۵۲
۱۷۸۷	۱۷۰۰	۱۲	۰/۰۰۲	۰/۷۹۷
۱۸۸۷	۱۸۰۰	۶	۰/۰۰۱	۰/۸۴۳
۱۹۸۷	۱۹۰۰	۲	۰/۰۰۰	۰/۸۸۹
۲۰۸۷	۲۰۰۰	۰	۰/۰۰۰	۰/۹۳۴

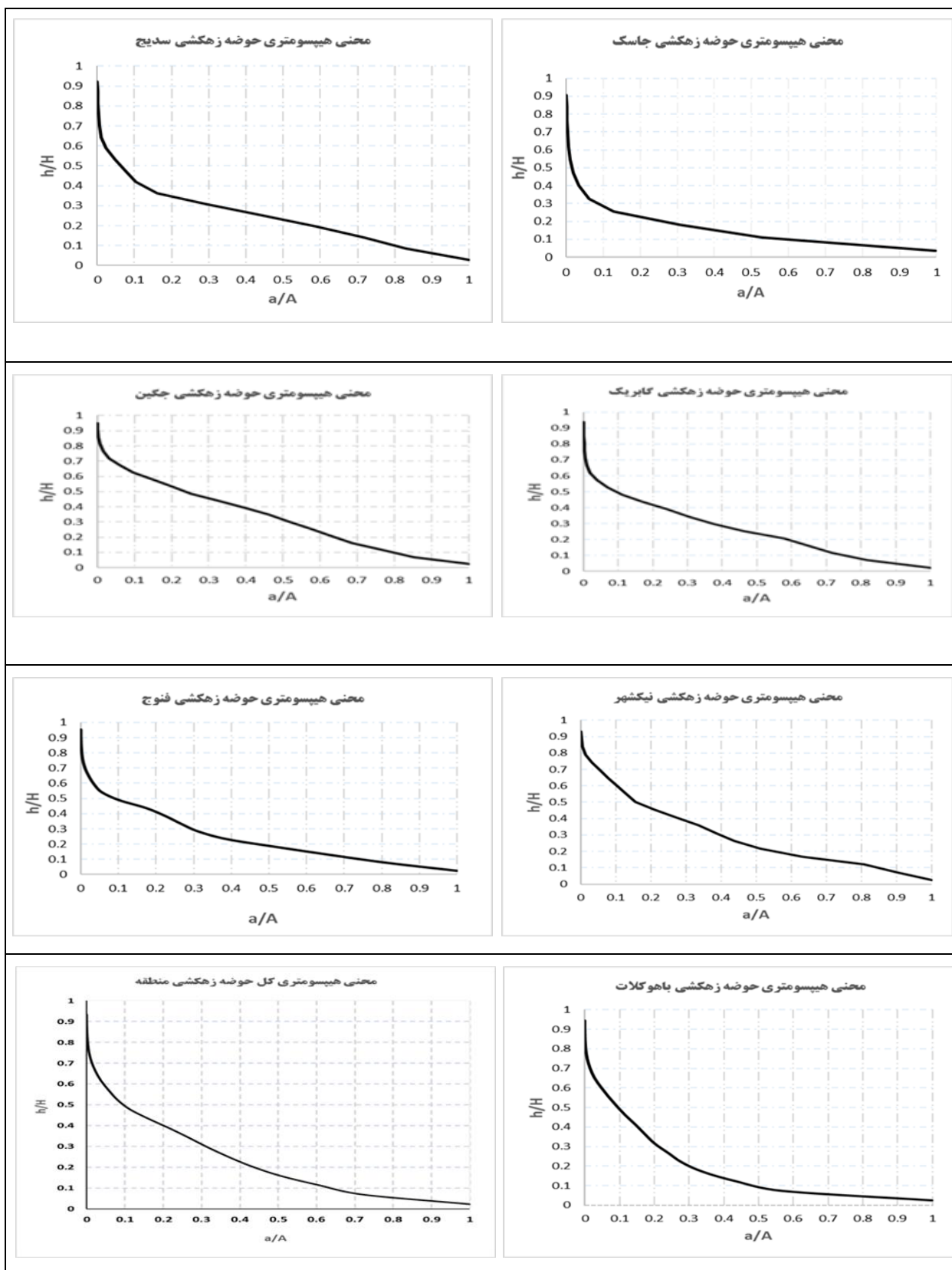
جدول ۳- میانگین حداکثر ناهمواری حوضه (m) میانگین مساحت بین خطوط تراز (Km^2)، میانگین نسبت ارتفاعی (m)

ردیف	ریز حوضه های زهکشی	میانگین حداکثر ارتفاع ناهمواری	میانگین مساحت های بین خطوط تراز	میانگین نسبت ارتفاعی
۱	جاسک	۷۰۰	۱۶۱/۶۸	۰/۴۷۲
۲	سدیج	۹۰۰	۲۳۱/۲۰	۰/۴۷۵
۳	جگین	۱۱۰۰	۳۴۰/۱۱	۰/۴۸۷
۴	گابریک	۱۱۰۰	۲۵۱/۶۵	۰/۴۸۱
۵	فنوج	۱۰۰۰	۵۱۳/۷۹	۰/۴۸۹
۶	نیکشهر	۱۰۵۰	۲۴۷/۹۵	۰/۴۷۸
۷	باهو کلات	۱۰۵۰	۶۲۶/۵۶	۰/۴۸۴
۸	کل حوضه	۱۰۸۷	۳۱۸/۱۷	۰/۴۷۸

منحنی مساحت- ارتفاع دربردارنده مساحت مطلق و نسبی ناحیه مابین دو منحنی میزان مجاور هم در یک حوضه زهکشی است. منحنی های هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری پراکندگی ارتفاعات را در بخشی از پهنای یک حوضه زهکشی

به کل وسعت حوضه را تشریح می‌کند. این منحنی را به وسیله کشیدن نسبت ارتفاع کل حوضه (نسبت ارتفاعی h به H) به نسبت مساحت کل حوضه (نسبت مساحت a به A) می‌توانیم به دست آوریم. مقدار نسبت a به A همواره از عدد صفر در پایین‌ترین نقطه حوضه تا عدد یک در بالاترین نقطه حوضه در نوسان است. بنابراین ویژگی‌های ناهمواری‌های تمام حوضه‌ها را می‌توان بر اساس روابط مساحت-ارتفاع تشریح کرد. نسبتی که بین انتگرال هیپسومتری و چرخه فرسایش دیویس وجود دارد، به این صورت است که در الگوی دیویس، مرحله جوانی به وسیله دره‌های عمیق و برجستگی‌های ناهموار مشخص می‌گردد. مرحله بلوغ که در آن مقداری از فرآیندهای ژئومورفیک در حال تعادل هستند، به وسیله رودهای مآندری و دشت سیلابی شناخته می‌شود. و در مرحله پیری مناظری که به سطح پایه نزدیک شده‌اند و در آن ارتفاعات کاهش یافته است. به عنوان شاخص در نظر گرفته شده‌اند. این شاخص‌ها در هر سه مرحله با منحنی‌های هیپسومتری تطبیق داده شده است. به طور کلی، بررسی داده‌های هیپسومتری نشان می‌دهد که چه مناطقی دارای پتانسیل بیشتری از لحاظ تکتونیکی بوده و چه مناطقی از نظر فعالیت تکتونیکی دارای پتانسیل کمتری می‌باشند (Pourkermani & Solgi, 2009).

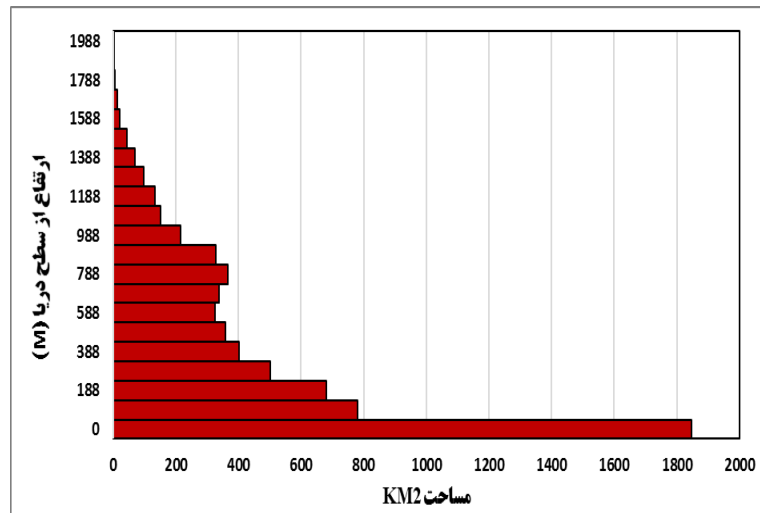
در تحلیل منحنی‌های هیپسومتری یک حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی می‌توان گفت نظر به اینکه در بخش بالایی تحذب وجود دارد و بخش پایینی تقعر است (شکل ۷) بر اساس نتایج برآوردی در شاخص منحنی هیپسومتری به دست آمده، بیانگر این است که گسل‌ها در تحدید حدود حوضه‌های زهکشی نقش اساسی دارند، به طوری که خط الرأس شمالی تمام حوضه‌های آبریز بر مرز گسلی زون‌های ساختمانی مکران انطباق دارند.



شکل ۷- منحنی هیپسومتری حوضه های زهکشی منطقه مطالعاتی

با توجه به وضعیت تحلیلی منحنی هیپسومتری شبکه زهکشی که نشان دهنده مقدار سرزمین فرسایش یافته یا فرسایش نیافته در یک سطح تراز می باشد بدین صورت می توان نتیجه گرفت که منحنی هیپسومتری کل حوضه بیانگر فرسایش بالای منطقه

بوده و بر اساس الگوی دیویس، در مرحله پیری مناظری که به سطح پایه نزدیک شده‌اند و در آن ارتفاعات کاهش یافته است. انتگرال مساحت زیر منحنی هیپسومتری کل حوضه زهکشی منطقه ۲۰٪ محاسبه شده است که برابر روش ارزیابی مرحله مرفولوژیکی حوضه به روش استرالر^۱ (۱۹۵۲) و کینگ^۲ (۱۹۶۶) در گروه زیر ۳۰٪ (مرحله ماقبل آخر یا موناک یا به عبارتی دشت گون) قرار می‌گیرد. همچنین در شکل (۸) منحنی آلتیمتری کل حوضه زهکشی منطقه را نمایش داده شده است.



شکل ۸- منحنی آلتیمتری کل حوضه زهکشی منطقه مطالعاتی

این پهنه مرکب از پدیده‌های متنوعی است. گسترده‌ترین آن‌ها به ترتیب از کوهستان به‌سوی خط ساحلی شامل، مخروط-های آبرفتی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، اراضی هزار دره (بدلندی) و گالی‌ها، چاله‌های بسته، تپه‌های ماسه‌ای، تالاب‌های جزر ومدی، خورها، دلتاها، پادگانه‌های دریایی و نظایر آن می‌باشد. پهنه‌های مذکور هر کدام در قالب یک سیستم عمل می‌کنند. بدین جهت دارای ارتباط مستمر و مداوم هستند، به‌گونه‌ای که در اغلب موارد تعیین مرز و محدوده مشخص برای آن‌ها امکان‌پذیر نیست.

گسل‌های سدیج، کنارک، میناب و نوار ساحلی به‌عنوان عوامل زمین‌ساخت در تعیین ناهمواری‌ها و ساختمان چین‌شاسی به‌خوبی نقش ایفا نموده‌اند. ساحل مکران به‌سوی شمال تبدیل به فلاتی با فرازای میان ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر گشته و سپس به بلندی‌های مکران (بشاگرد) با فرازای میان ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ متر از رویه آزاد آب دریا می‌رسد. آن‌سوی بلندی‌های مکران فرونشست جازموریان قرار گرفته که پایین‌ترین نقطه آن تنها ۳۰۰ متر از رویه آزاد آب دریا بلندی دارد.

در مناطق فعال تکتونیکی حوضه‌ها دارای ناپایداری بیشتری هستند و این ناپایداری باعث به وجود آمدن آبراهه‌های درجه یک بیشتر و به طبع آن افزایش نسبت رده‌های مساحت پایین‌تر نسبت به حوضه‌های پایدار می‌شود. در حدفاصل طاق‌دیس-ها، دشت‌های عمدتاً گسترده و منطبق با ناودیس‌های منطقه شکل گرفته‌اند. این دشت‌ها بخش‌های اصلی حوضه‌های آبخیز منتهی به جلگه ساحلی را تشکیل می‌دهند. بعد از جلگه‌های پست ساحلی، تناوب ساختمان‌های طاق‌دیس و ناودیس و دشت‌های میانکوهی، اشکال تپه‌ماهور و زمین‌های گسسته، اراضی هزار دره و چین‌های دیابیری عمده‌ترین اشکال ناهمواری در محدوده مورد مطالعه به شمار می‌روند.

نتیجه گیری

زمانی عوامل بیرونی و زمانی عوامل درونی در ایجاد تغییرات نقش داشته‌اند. حتی تغییرات در زیرمجموعه این عوامل و عناصر بسته به زمان و مکان متفاوت است. زمانی عناصر اقلیمی نقش باد در فرسایش مؤثرتر می‌باشد. حال آنکه در دورانی نقش رودخانه و آبراهه‌ها بارزتر به نظر می‌رسد. این منطقه به دلیل وسعت زیاد دارای تفاوت‌های فرسایشی در هر نقطه آن است. در حال حاضر (۱۳۹۷) در بعضی از نقاط به دلیل وزش بادهای دوره‌ای و مستمر در زمان معینی از سال، شاهد گسترش تپه‌های ماسه‌ای در کنار سواحل می‌باشیم. ضمن آنکه شکل‌گیری این تپه‌ها متفاوت از نقاط بیابانی می‌باشد. گسل‌های متعدد جوان به‌ویژه در پادگانه‌های رودخانه‌ای منطقه، مؤید تداوم فعالیت تکتونیک تا عصر حاضر می‌باشد (شکل ۹). این فعالیت موجب تغییر مداوم سطح اساس رودخانه‌های منطقه شده است. راستای این اختلاف سطح در جهت بالا آمدن حوضه‌های آبریز می‌باشد.



شکل ۹- نمونه گسل‌های جوان در پادگانه‌های رودخانه‌ای در حوضه‌های مورد مطالعه

اندازه‌گیری شاخص منحنی هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری در حوضه‌ی سواحل مکران و تمامی زیر حوضه‌های آن نشان می‌دهد که در حوضه‌ی اصلی فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به‌صورت متعادل عمل می‌کنند. با توجه مقادیر جدول و ترسیم منحنی هیپسومتری کل حوضه منطقه نشان‌دهنده گسترش متعادل دشت و ارتفاع است. ولی محاسبه‌ی منحنی و انتگرال هیپسومتری در زیر حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بخش شمالی زیر حوضه‌ها، فرآیندهای تکتونیکی بر فرآیندهای فرسایشی برتری دارد. در صورتی که در بخش جنوبی زیر حوضه‌ها، فرآیندهای فرسایشی بر فرآیندهای تکتونیکی برتری می‌گیرند و یا فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به‌صورت متعادل عمل می‌کنند. انتگرال هیپسومتری کل حوضه زهکشی برابر ۲۰٪ است.

تقدیر و تشکر

برای انجام این پژوهش از کمک و یاری اساتید بزرگوار و نیز مهندس سینا صلحی به‌منظور تجزیه و تحلیل یافته‌ها صمیمانه از همه آنان سپاسگزاری می‌کنم. بایسته است از مساعدت سازمان نقشه‌برداری کشور در جهت ارائه داده‌ها تشکر و قدردانی نمایم.

سهم نویسندگان: مرتضی پور زارع (نویسنده اول) پژوهشگر اصلی، نگارنده بحث، روش‌شناسی تحقیق و تحلیل آماری (۵۰٪)، عبدالله سیف (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی، نگارنده بحث (۵۰٪)

منابع و مأخذ

- Abedini, M., & Shabrang, S. (2014). Evaluation of neo tectonic activities in Meshkin Chai Catchment area by *geomorphologic* indices. *Geography and Development*, 12(35), 49-66. (Persian). [DOI:10.22111/GDIJ.2014.1554]
- Chen, Y. C., Sung, Q., & Cheng, K.-Y. (2003). Along-strike variations of morphotectonic features in the Western Foothills of Taiwan: tectonic implications based on stream-gradient and hypsometric analysis. *Geomorphology*, 56(1), 109-137. [DOI:10.1016/S0169-555X(03)00059-X]
- Dehbozorgi, M., Pourkermani, M., Arian, M., Matkan, A. A., Motamedi, H., & Hosseiniasl, A. (2010). Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran. *Geomorphology*, 121(3), 329-341. [DOI:10.1016/j.geomorph.2010.05.002]
- El Hamdouni, R., Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., & Keller, E. A. (2008). Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). *Geomorphology*, 96(1), 150-173. [DOI:10.1016/j.geomorph.2007.08.004]
- Ezati, M., & Agh-Atabaei, M. (2014). An analysis of towed active construction of the Bojnourd Basin using morphotectonic indicators. *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 2(4), 130-144. (Persian).
- Giaconia, F., Booth-Rea, G., Martínez-Martínez, J. M., Azañón, J. M., Pérez-Peña, J. V., Pérez-Romero, J., & Villegas, I. (2012). Geomorphic evidence of active tectonics in the Sierra Alhamilla (eastern Betics, SE Spain). *Geomorphology*, 145-146, 90-106. [DOI:10.1016/j.geomorph.2011.12.043]
- Gurabi, A., & Emami, K. (2017). Neotectonics influences on morphological variations of Makran costal basins. *Journal of Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), 74-89. (Persian).
- Haghipour, N., & Burg, J. P. (2014). Geomorphological analysis of the drainage system on the growing Makran accretionary wedge. *Geomorphology*, 209, 111-132. [DOI:10.1016/j.geomorph.2013.11.030]
- Jamieson, S. S. R., Sinclair, H. D., Kirstein, L. A., & Purves, R. S. (2004). Tectonic forcing of longitudinal valleys in the Himalaya: morphological analysis of the Ladakh Batholith, North India. *Geomorphology*, 58(1), 49-65. [DOI:10.1016/S0169-555X(03)00185-5]
- Keller, E. A., & Pinter, N. (2002). *Active tectonics, Earthquakes, Uplift and Landscape* (Second ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Nakhaei, M., & Ghanavati, E. (2006). Application of hyssometric curves in determining areas under erosion and sedimentation in Kheyrahad Watershed, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad. *Iranian Geology Journal*, 2(4), 65-72. (Persian).
- Pedrerá, A., Pérez-Peña, J. V., Galindo-Zaldívar, J., Azañón, J. M., & Azor, A. (2009). Testing the sensitivity of geomorphic indices in areas of low-rate active folding (Eastern Betic Cordillera, Spain). *Geomorphology*, 105(3), 218-231. [DOI:10.1016/j.geomorph.2008.09.026]
- Pourkermani, M., & Solgi, A. (2009). *Morphotectonics* (First ed.). Tehran: Islamic Azad University, Research Branch. (Persian).
- Rockwell, T. K., Keller, E. A., & Johnson, D. L. (1985). *Tectonic geomorphology of alluvial fans and mountain fronts near Ventura, California*. Paper presented at the Tectonic Geomorphology. Proceedings of the 15th Annual Geomorphology Symposium, Boston.
- Rustaei, M., & Agh-Atabaei, M. (2015). Quantitative analysis of the impact of neo tectonic activity the index on morphotectonic in the catchment ziyarat. *Quarterly Journal of Geographical Research*, 30(2), 131-146. (Persian).
- Ruszkiczay-Rüdiger, Z., Fodor, L., Horváth, E., & Telbisz, T. (2009). Discrimination of fluvial, eolian and neotectonic features in a low hilly landscape: A DEM-based morphotectonic analysis in the Central Pannonian Basin, Hungary. *Geomorphology*, 104(3), 203-217. [DOI:10.1016/j.geomorph.2008.08.014]
- Salari, M., & Moradi, O. (2009). Application of dimensionless hypsometric curves in evaluation of erosion and sedimentation areas in Baneh watershed. *Geographical Information Quarterly (Sepehr)*, 18(69), 49-51. (Persian).
- Singh, O. (2009). Hypsometry and erosion proneness: a case study in the lesser Himalayan Watersheds. *Journal of Soil and Water conservation*, 8(2), 53-59.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Bulletin of the Geological Society of America*, 63(11), 1117-1142. [DOI:10.1130/0016-7606]