



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 (hypersometry) 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 Hyssometric 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

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 hyssometric 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: ۱۴۰۷/۷/۱۲

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 (فرازستجی) و انگرال هیپسومتری است که برای نشان دادن پتانسیل مناطق ازنظر فعالیت تکتونیکی به‌منظور ارزیابی مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری حوزه‌های زهکشی استفاده می‌شود.

هدف: این تحقیق بررسی مشخصه‌های فیزیکی حوضه‌های آبریز سواحل مکران ازنظر 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 باقدرت تفکیک ۱۰ متر بر اساس روش استرالر رتبه‌بندی گردیده و در محیط برنامه‌نویسی پایتون به صورت 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 حوزه‌های زهکشی انجام شده است.

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

وازگان کلیدی: نو زمین‌ساخت، منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد و انگرال، 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 مورفومنتری نقش خود را ایفا می‌کنند (Gurabi & Emami, 2017).

تشخیص وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری برای تمام حوضه‌های زهکشی اصلی مهم و ضروری است. تحلیل هیپسومتری به عنوان یک شاخص برای مراحل فرسایش حوضه‌های زهکشی به کاربرده می‌شود (Singh, 2009). انتگرال هیپسومتری (Hi)^۱ یکی از پارامترهای رده‌بندی شده زمین‌شناختی در توسعه مراحل زمین‌شناسی یک حوضه زهکشی است. این شاخص به عنوان مساحت نسبی زیر منحنی هیپسومتری تعریف شده است، که بیانگر حجم فرسایش نیافته حوضه است و به صورت 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 به عمل آمده است که در اینجا به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود:

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

جیمزون^۴ و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر عوامل تکتونیکی بر نسبت انشعابات، تراکم زهکشی، انتگرال هیپسومتریک شبکه‌های رودخانه‌ای در هیمالیا در شمال هند را موردمطالعه قراردادند. بر اساس نتایج به دست آمده، بیانگر این است که عدم تقارن مورفومنتریک در ناحیه مرکزی مشهود است که دره شیوک از لحاظ تکتونیکی غیرفعال است، اما دره ایندوس توسط مolas و با تولیت 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 موردبدرسی و با محاسبه و رده‌بندی شاخص‌های مذکور و گرفتن میانگین (شاخص S/N)، درنهایت 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 به صورت 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 (A_F)^۶، سینوسیته جبهه کوهستان (S_{mf})^۷، طول جریان رود به شیب رود (S_L)^۸، منحنی هیپسومتری (Hc)، انتگرال هیپسومتری (Hi)، نسبت پهنه‌ای کف دره به ارتفاع دره (V_F)^۹ برای بررسی تغییر شکل آبراهه‌ها و دامنه‌های سیرا در جنوب شرق اسپانیا بر اثر فعالیت‌های زمین‌ساختی استفاده

۱ hypsometric integral

۲ hypsometric curves

۳ Rockwell

۴ Jamieson

۵ Giaconia

۶ Asymmetry Factor

۷ Sinuosity of Mountain-Front

۸ Stream Length- Gradient Index

۹ Valley Floor Index

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

حقی‌پور و بورگ¹ (۲۰۱۴) الگوی کanal و پروفیل طولی شش حوزه مجاور عمدۀ در جنوب‌شرقی ایران و جنوب‌غربی پاکستان در راستای انعکاس رشد اخیر و فعال گوه برافزایشی مکران مورد بررسی قرار داده‌اند (Haghipour & Burg, 2014). نخعی و قنواتی (۱۳۸۵) در تحقیقی با کاربرد منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد در تعیین مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه خیرآباد استان کهکیلویه و بویراحمد استنباط نموده‌اند که کل حوضه این منطقه در حال تعادل نسبی است (Nakhaei & Ghanavati, 2006).

سالاری و مرادی (۱۳۸۸) مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری حوضه آبخیز بانه را با استفاده از منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد مورد ارزیابی قرار داده‌اند. با توجه به محاسبات و ترسیم منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد واقعی و تئوریک، متوجه شده‌اند که حوضه بانه ضمن فرسایش و رسوب‌گذاری، نسبت به حالت تعادل فاصله نسبتاً بیشتری داشته و جوان‌تر است (Salari & Moradi, 2009).

عزتی و آق‌آتابای (۱۳۹۳) شاخص‌های مختلف شامل عدم تقارن حوضه زهکشی، شکل حوضه، منحنی هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری، سینوسیتی و طول-شیب رودخانه حوزه زهکشی بجورد واقع در منطقه البرز شرقی-بینالود محاسبه و سپس نتایج این تجزیه و تحلیل‌ها باهم جمع و با شاخصی تحت عنوان زمین‌ساخت فعال نسبی بیان گردیده است. درنهایت منطقه مورد مطالعه (حوضه‌ی بجورد) به چهار ناحیه تکتونیکی با فعالیت خیلی بالا، بالا، متوسط و پایین تقسیم‌بندی شده است (Ezati & Agh-Atabaei, 2014).

روستایی و آق‌آتابای (۱۳۹۴) در پژوهشی به شناخت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی حوضه آبریز زیارت (واقع در دامنه شمالی البرز خاوری در جنوب گرگان) با استفاده از محاسبه شاخص‌های ریخت زمین‌ساختی و شواهد زمین‌ساختی موجود در این منطقه پرداخته است (Rustaei & Agh-Atabaei, 2015).

گورابی و امامی (۱۳۹۶) با محاسبه کمیت‌های مورفو-تکتونیک حوضه‌ها (شکل، طول، تقارن و عدم تقارن و... حوضه، تراکم و نسبت انشعب و... شبکه زهکشی؛ نسبت مساحت و طول رده آبراهه‌ها) در حوضه‌های زهکشی جگین، سدیج، کهیر و باهوکلات، الگوی رفتاری حوضه‌ها به نیروهای نوزمین‌ساختی مشخص نموده‌اند. علاوه بر شاخص‌های متداول عدم تقارن آبراهه، ناهنجاری و تراکم ناهنجاری سلسه مراتبی، تقارن توپوگرافی عرضی، پیچناکی رودخانه و شکل حوضه از شاخص‌های سطحی نسبت مساحت رده و طول آبراهه‌ها نیز جهت ارزیابی کنش-واکنش زمین‌ساخت-فرم حوضه‌ها استفاده شده است (Gurabi & Emami, 2017).

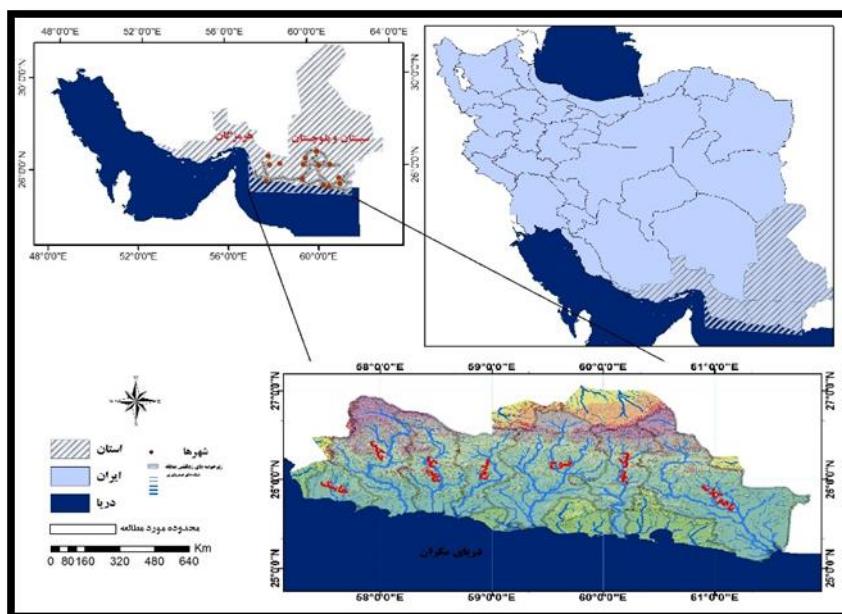
این پژوهش از این لحاظ حائز اهمیت است که تاکنون تحقیقی پیرامون میزان فعالیت زمین‌ساختی در ارزیابی مساحت‌های در حال فرسایش و رسوب‌گذاری در زیر حوزه‌های زهکشی گستره ناحیه سواحل مکران به صورت جامع با استفاده از شاخص منحنی‌های هیپسومتری بی‌بعد صورت نگرفته است. بنابراین با انجام این تحقیق باهدف بررسی ویژگی‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی می‌تواند در جهت شناخت بیشتر برای مدیریت و برنامه‌ریزی کارآمدتر برای توسعه پایدار صورت بگیرد.

ابتکار عمل در این مطالعه، از مفاهیم سیستم اطلاعات جغرافیایی در محیط برنامه‌نویسی پایتون به صورت کدنویسی برای ارزیابی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در سطح کل حوزه آبریز سواحل مکران و نیز زیر حوزه‌های زهکشی جاسک،

جگین، گابریک، سدیج، فتوچ، نیک شهر و باهو کلات منطقه جهت محاسبه مقادیر جداول و ترسیم منحنی های هیپوسومتری بی بعد استفاده شده اند.

محدوده و زیر حوضه های منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز منطقه مطالعاتی، زیر حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان می باشد 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 متنه می گردد. این حوضه بزرگ خود به دو زیر حوزه کوچک تر به نام های حوضه آبریز رودخانه های بین بندرب Abbas و سدیج و حوضه آبریز رودخانه های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان تقسیم می گردد. این حوضه ها دارای ریز حوضه های محلی متعددی می باشد که بر اساس مکان های مربوط به گسترش آنها نام گذاری شده است. اکثر این مناطق دارای آبراهه های متعددی می باشند که اکثر آنها مربوط به آب بوده و اکثراً به صورت خشک رودهای در سطح منطقه گسترده شده اند (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه موقعیت زیر حوضه های آبریز منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز رودخانه های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان

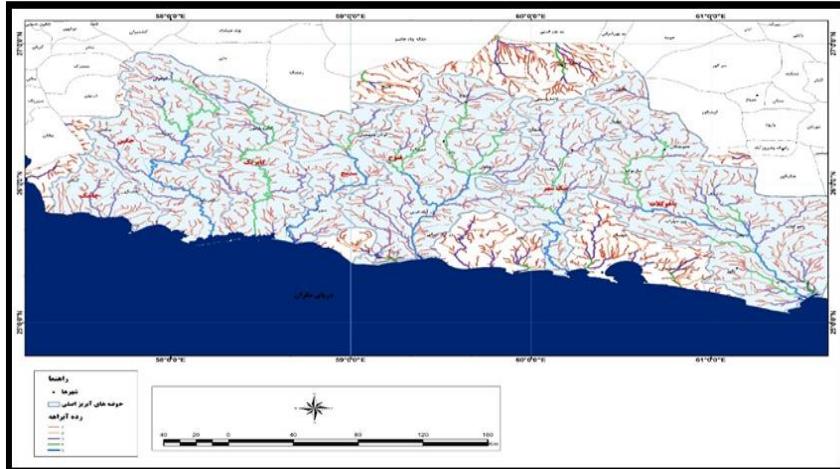
حوضه آبریز بلوچستان جنوبی که مجموع رودخانه های بین سدیج و مرز پاکستان را در بر می گیرد، بنام " اختصاری راجح - باهو کلات " شناخته شده است. این حوضه در منتهی الیه جنوب شرقی ایران واقع شده و مجموع جریان آنها به دریای عمان می ریزد. این حوضه آبریز بین مختصات جغرافیایی $47^{\circ} 58' 0''$ تا $12^{\circ} 56' 30''$ درجه طول شرقی و $5^{\circ} 0' 0''$ تا $27^{\circ} 0' 20''$ 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 هم مرز بوده و در جنوب آن نیز سواحل دریای عمان واقع شده است. مساحت حوضه آبریز مذکور برابر ۴۸۵۵۱ کیلومترمربع با تعداد ۱۵ منطقه مطالعاتی بوده که در حدود ۷۶ درصد آن را مناطق کوهستان و ۲۴ درصد بقیه را دشت و کوهپایه تشکیل داده است. شهرهای چابهار، کنارک، نیک شهر و قصرقدن در این حوضه قرار دارد.

حوضه آبریز رودخانه‌های بین بندرعباس - سدیج:

حوضه آبریز رودخانه‌هایی که بانام اختصاری "بندرعباس - سدیج" شناخته می‌شود شامل مجموعه رودخانه‌هایی است که از شرق حوضه آبریز رودخانه کل شروع شده و در حد شرقی حوضه آبریز رودخانه سدیج خاتمه می‌پذیرد. حوضه آبریز "بندرعباس - سدیج" در تقسیم‌بندی‌های دفتر مطالعات پایه منابع آب، بخشی از حوضه آبریز خلیج‌فارس 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 خلیج‌فارس و دریای عمان محدود گردیده است. این حوضه آبریز در بخش میانی حوضه‌های مجاور خلیج‌فارس قرار داشته و زهکشی آب سطحی و زیرزمینی آنها به سمت خلیج‌فارس و دریای عمان می‌باشد. این حوضه آبریز بین مختصات جغرافیائی 55° تا 58° طول شرقی و 28° تا 31° عرض شمالی واقع شده و مساحت آن برابر 44763 کیلومترمربع با تعداد ۲۲ منطقه مطالعاتی بوده که در حدود ۷۲ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۲۸ درصد آن را دشت‌ها 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.

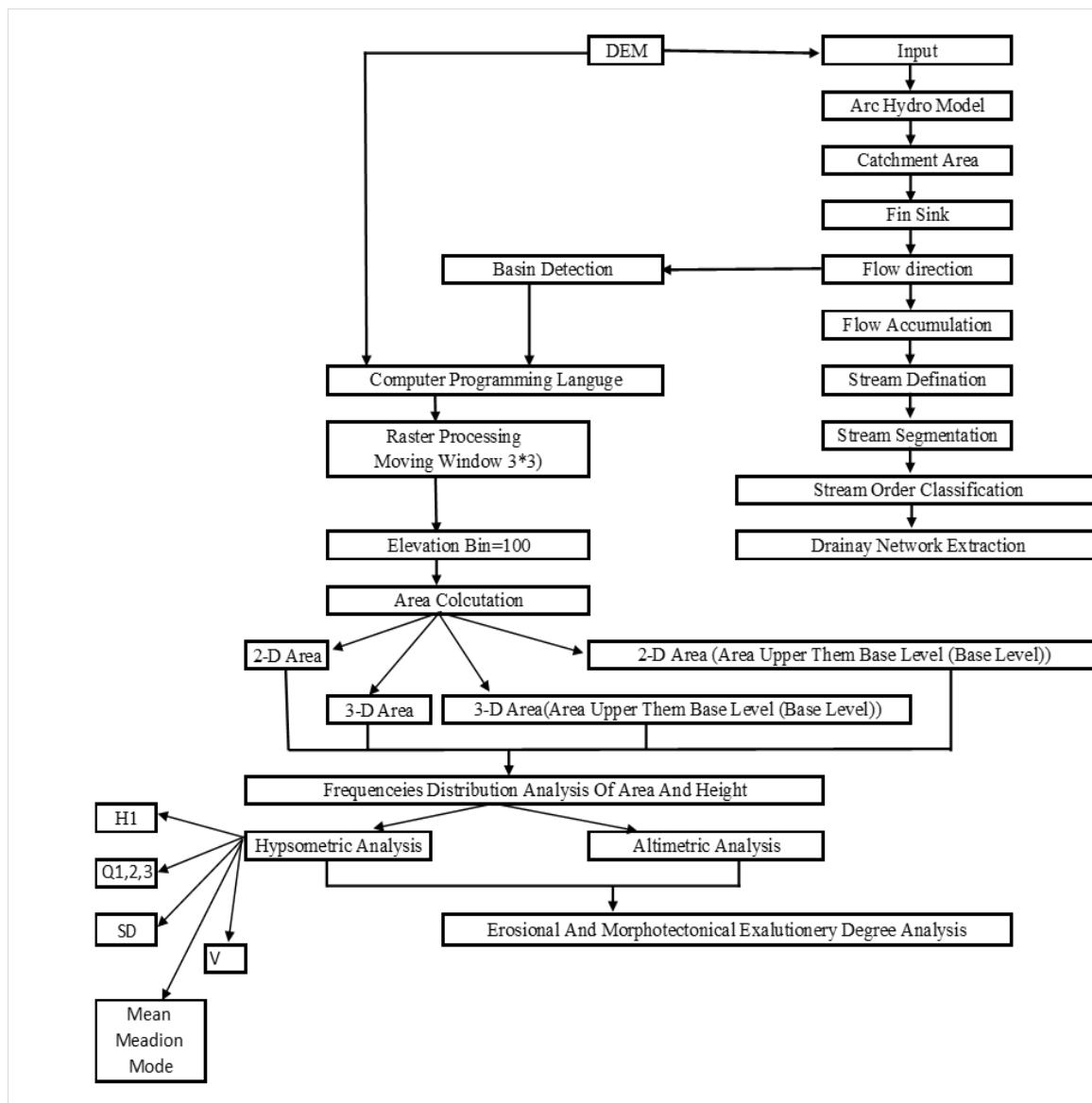
مواد و روش‌ها

در این تحقیق با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS در محیط Arcmap نقشه‌های توپوگرافی $1:50000$ ، نقشه‌های زمین‌شناسی $1:100000$ زمین مرجع و مختصات دار شده، داده‌های رستری به فرمت وکتوری تبدیل (رقومی شده) و اقدام به ترسیم نقشه‌های محدوده مطالعاتی گردید. برای استخراج شبکه آبراهه‌ها و رتبه‌بندی آنها برای استفاده در محاسبات شاخص منحنی‌های ارتفاعی هیدرولوژی، از مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM)¹ و بر اساس روش استرال² از ۱ تا ۵ رتبه‌بندی شد(شکل ۲).



شکل ۲- رده آبراهه‌ها در حوضه‌های زهکشی منطقه بر اساس روش استرال

چگونگی انجام فرآیند آماده‌سازی 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.

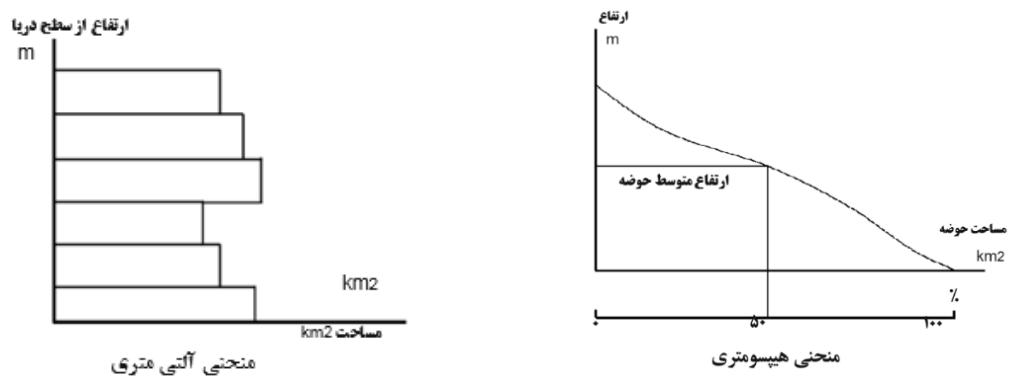


شکل ۳- الگوریتم استخراج شبکه زهکشی و داده‌های مورفومتری زیر حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی

منحنی‌های هیپسومتری و انگرال هیپسومتری

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

منحنی هیپسومتری را به‌وسیله 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.

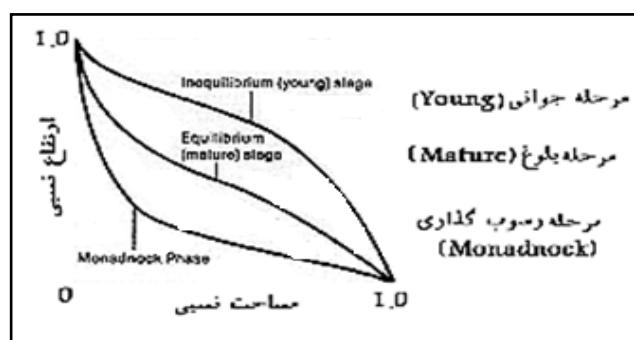


شکل ۴- منحنی‌های هیپسومتری و آلتی‌متری حوزه زهکشی

مقدار مساحت نسبی (A/a) بین ۰ در پایین ترین نقطه ($h/H=0$) تا ۱ در بالاترین نقطه ($h/H=1$) حوضه تغییر می‌کند (Abedini & Shabrang, 2014) انتگرال مساحت زیر منحنی هیپسومتری می‌تواند نشانگر شکل منحنی و میزان فعالیت‌های Ruszkiczay-Rüdiger, (Fodor, Horváth, & Telbisz, 2009

$$Hi = \frac{H_{mean} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \quad (1)$$

در معادله بالا Hi = انتگرال هیپسومتریک؛ H_{mean} = ارتفاع متوسط حوضه؛ H_{min} = حداقل ارتفاع حوضه و H_{max} = حدا کثر 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 حوضه‌های زهکشی عادی هستند، یعنی زهکشی‌های عادی در روی سطوح ارتفاعی، دارای اختلاف چندانی با محیط پیرامون خود نمی‌باشد (حدا کثر وحدائق 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 می‌کشد. تحدب منحنی هیپسومتریک مشخص کننده نواحی با فرسایش ضعیف (جوان)، شکل منحنی S نواحی با فرسایش آرام (بلوغ) و منحنی تقریباً مستقیم کننده نواحی با فرسایش بالا و مرحله پیری می‌باشد (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 برنامه‌نویسی پایتون به صورت کدنویسی انجام گرفته است. بنابراین ضرورت دارد از انواع مدل‌های تصحیح کننده و بارز ساز استفاده شود. شکل (۶) مربوط به قطعه کد پایتون تهیه شده برای ترسیم منحنی‌های هیپسومتری و انتگرال حوضه‌های 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- Elevs'+' t '+'Mode-Elevs'+' t '+'Range-Elevs'+' t '+'variance'+' t '+'Std- Elevs'+' 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+') Hypsome- try_results.write('Hypsometry Results for '+files[:-4]+'\n') Hypsome- 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('varience 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 هیپسومتری‌های بی بعد حوضه‌های 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 ارتفاعی در زیر حوضه‌های منطقه محاسبه شده است.

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

m	ارتفاع	اختلاف ارتفاع	Km2	مساحت	a/A	h/H
۸۷	.		۱۸۴۷	۱	.۰۰۲۲	
۱۸۷	۱۰۰		۷۸۱	.۰۷۲۳	.۰۰۶۸	
۲۸۷	۲۰۰		۶۸۰	.۰۶۰۶	.۰۱۱۳	
۳۸۷	۳۰۰		۵۰۲	.۰۵۰۴	.۰۱۵۹	
۴۸۷	۴۰۰		۴۰۲	.۰۴۲۹	.۰۲۰۵	
۵۸۷	۵۰۰		۳۵۸	.۰۳۶۹	.۰۲۵۰	
۶۸۷	۶۰۰		۳۲۶	.۰۳۱۵	.۰۲۹۶	
۷۸۷	۷۰۰		۳۳۸	.۰۲۶۶	.۰۳۴۱	
۸۸۷	۸۰۰		۳۶۶	.۰۲۱۶	.۰۳۸۷	
۹۸۷	۹۰۰		۳۲۷	.۰۱۶۱	.۰۴۳۳	
۱۰۸۷	۱۰۰۰		۲۱۶	.۰۱۱۲	.۰۴۷۸	
۱۱۸۷	۱۱۰۰		۱۵۱	.۰۰۸۰	.۰۵۲۴	
۱۲۸۷	۱۲۰۰		۱۳۴	.۰۰۵۷	.۰۵۶۹	
۱۳۸۷	۱۳۰۰		۹۶	.۰۰۳۷	.۰۶۱۵	
۱۴۸۷	۱۴۰۰		۵۹	.۰۰۲۳	.۰۶۶۱	
۱۵۸۷	۱۵۰۰		۴۴	.۰۰۱۲	.۰۷۰۶	
۱۶۸۷	۱۶۰۰		۲۲	.۰۰۰۶	.۰۷۵۲	
۱۷۸۷	۱۷۰۰		۱۲	.۰۰۰۲	.۰۷۹۷	
۱۸۸۷	۱۸۰۰		۶	.۰۰۰۱	.۰۸۴۳	
۱۹۸۷	۱۹۰۰		۲	.۰۰۰۰	.۰۸۸۹	
۲۰۸۷	۲۰۰۰		.	.۰۰۰۰	.۰۹۳۴	

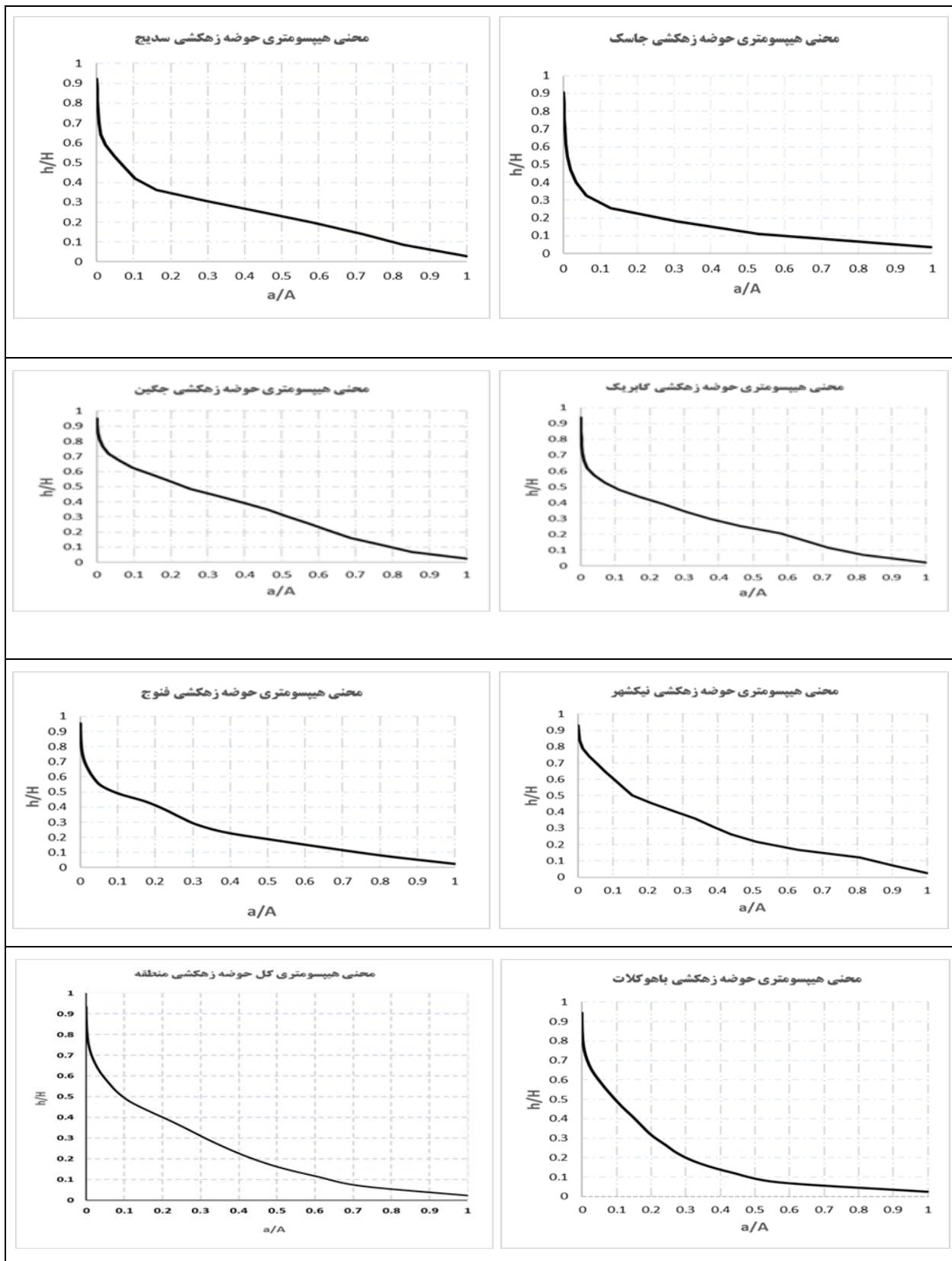
جدول ۳- میانگین حد اکثر ناهمواری حوضه (m) میانگین مساحت بین خطوط تراز(Km^2), میانگین نسبت ارتفاعی(m)

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

منحنی مساحت-ارتفاع دربردارنده مساحت مطلق و نسبی ناحیه مابین دو منحنی میزان مجاور هم در یک حوضه زهکشی است. منحنی‌های هیپسومتری و انتگرال هیپسومتری پراکندگی ارتفاعات را در بخشی از پهنه‌ای 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 پایین ترین 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 ماندری 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 لاحاظ تکتونیکی بوده و چه مناطقی از نظر فعالیت تکتونیکی دارای پتانسیل کمتری می‌باشند (Pourkermani & Solgi, 2009).

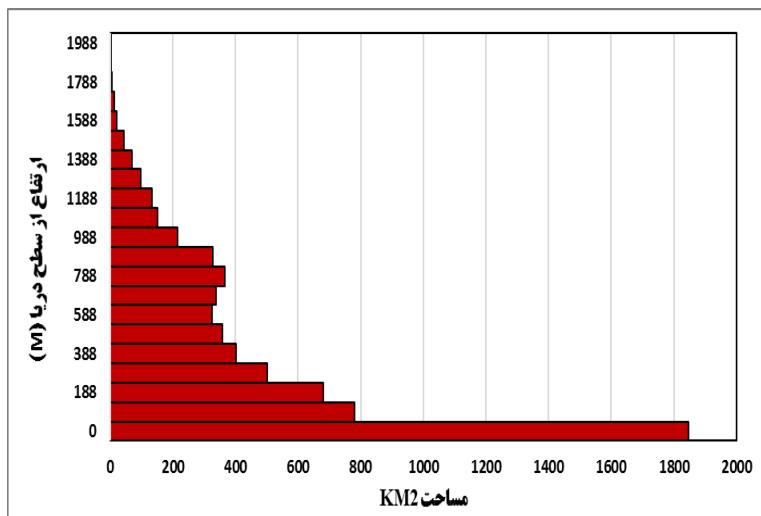
در تحلیل منحنی‌های هیپسومتریک حوضه‌های آبریز منطقه مطالعاتی می‌توان گفت نظر به اینکه در بخش بالایی تحدب وجود دارد و بخش پایینی تقریباً است (شکل ۷) بر اساس نتایج برآوردهای در شاخص منحنی هیپسومتری به دست آمده، بیانگر این است که گسل‌ها در تحدید حدود حوضه‌های زهکشی نقش اساسی دارند، به طوری که خط الرأس شمالی 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 هیپسومتریک 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 هیپوسومتری کل حوضه زهکشی منطقه ۲۰٪ محاسبه شده است که برابر روش ارزیابی مرحله مرفوولوژیکی حوضه به روش استرال^۱ (۱۹۵۲) و کینگ^۲ (۱۹۶۶) در گروه زیر ۳۰٪ (مرحله ماقبل آخر یا مونادک یا به عبارتی دشت‌گون) قرار می‌گیرد. همچنین در شکل (۸) منحنی آلتیمتریک کل حوضه زهکشی منطقه را نمایش داده شده است.



شکل-۸- منحنی آلتیمتری کل حوضه زهکشی منطقه مطالعه

این پنهنه مرکب از پدیده‌های متنوعی است. گستردگی آن‌ها به ترتیب از کوهستان به‌سوی خط ساحلی شامل، مخروط‌های آبرفتی، پادگانه‌های رودخانه‌ای، اراضی هزار دره (بدلندی) و گالی‌ها، چاله‌های بسته، تپه‌های ماسه‌ای، تالاب‌های جزر و مدی، خورها، دلتاها، پادگانه‌های دریایی و نظایر آن می‌باشد. پنهنه‌های 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 به عنوان عوامل زمین‌ساخت در تعیین ناهمواری‌ها و ساختمان چینه‌شناسی به خوبی 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 فرونگشت 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 درجه‌یک بیشتر و به طبع آن افزایش نسبت رده‌های مساحت پایین‌تر نسبت به حوضه‌های پایدار می‌شود. در حدفاصل طاقدیس‌ها، دشت‌های عمده‌ای گستردگی 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 طاقدیسی و ناودیسی و دشت‌های میانکوهی، اشکال تپه‌ماهور و زمین‌های گستته، اراضی هزار دره و چین‌های دیاپیری عمده‌ترین اشکال ناهمواری در محدوده موردمطالعه به شمار می‌روند.

1 Strahler
2 King

نتیجه‌گیری

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 بهویشه 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 موردمطالعه

اندازه‌گیری شاخص منحنی هیپسومتری و انگرال هیپسومتری در حوضه‌ی سواحل مکران و تمامی زیر حوضه‌های آن نشان می‌دهد که در حوضه‌ی اصلی فرآیندهای ژئومورفولوژیکی به صورت متعادل عمل می‌کنند. با توجه مقادیر جدول و ترسیم منحنی هیپسومتری کل حوضه منطقه نشان‌دهنده گسترش متعادل دشت و ارتفاع است. ولی محاسبه منحنی و انگرال هیپسومتری در زیر حوضه‌های منطقه موردمطالعه 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 به صورت متعادل عمل می‌کنند. انگرال هیپسومتری کل حوضه زهکشی برابر %۲۰ است.

تقدیر و تشکر

برای انجام این پژوهش از کمک و یاری استاد 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 نویسنده‌گان: مرتضی پور زارع (نویسنده اول)، 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 Jersi: Prentice Hall.
- Nakhaei, M., & Ghanavati, E. (2006). Application of hyssometric curves in determining areas under erosion and sedimentation in Kheyabad Watershed, Kohgiluyeh and Boyer Ahmad. *Iranian Geology Journal*, 2(4), 65-72. (Persian).
- Pedrera, 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 15 th 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).
- Ruszkičay-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]