

## مطالعه‌ی نئوتکتونیک و فرسایش حوضه‌ی مارون با تکنیک ژئومورفومتری

مهدی مومی پور\*؛ گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۲

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۴)

### چکیده

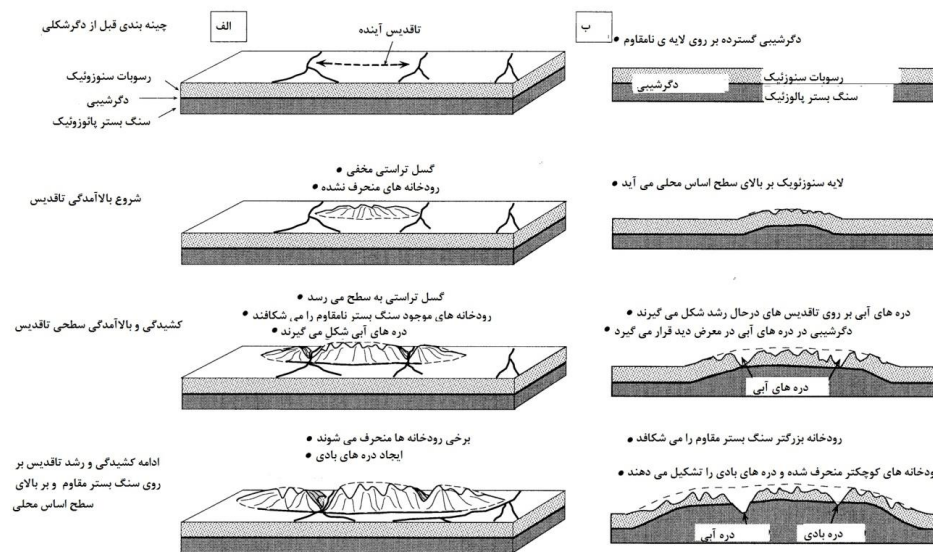
بررسی رابطه‌ی فعالیت‌های تکتونیک و ارتباط آن با شکل‌گیری لندفرم‌های زمین، مبحث مهمی در مطالعات ژئومورفولوژیکی است. در این پژوهش، حوضه‌ی رود مارون در جنوب غربی ایران مورد مطالعه قرار گرفته است. با تحلیل مدل رقومی ارتفاع منطقه به عنوان داده‌ی اصلی و استخراج پارامترهای شاخص شیب طولی رود (SL)، منحنی هیپسومتری و نقشه‌ی هم‌پایه به عنوان شاخص، به بررسی شرایط نئوتکتونیک منطقه پرداخته شده است. هدف این مطالعه، بررسی وضعیت فعالیت تکتونیک منطقه، ارتباط آن با فرسایش و نحوه‌ی شکل‌گیری لندفرم‌هاست. الگوی خطوط هم‌پایه در منطقه‌ی مورد مطالعه، نشان دهنده‌ی شرایط فرسایش منطقه در گذشته‌ی زمین‌شناسی بوده و تأیید کننده‌ی این است که دره‌های ایجاد شده، از نوع دره‌ی آبی هستند. منحنی هیپسومتری حوضه‌ی رود مارون در منطقه‌ی مورد مطالعه، حالت S شکل دارد و تعادل نسبی فرسایش و تکتونیک با غلبه فرسایش را نشان می‌دهد. الگوی توزیع شاخص شیب طولی رودخانه در منطقه‌ی مورد مطالعه، تشخیص چند قلمرو اصلی را ممکن ساخت. مقادیر بالای این شاخص، در حد فاصل سد مارون تا سد شهدا و حداقل مقادیر در بالا دست سد مارون می‌باشد. تفسیر نقشه‌ی همپایه‌ی منطقه نشان داد که بالادست حوضه، مقادیر همپایه‌ی بیشتری دارد و در پایین دست، مقادیر کمتر می‌شود. این یافته با الگوی SL و مشاهدات میدانی نیز همخوانی دارد. با توجه به نتایج به دست آمده در منطقه، شرایط فرسایشی بر تکتونیک غالب است.

واژگان کلیدی: رود مارون، مدل رقومی ارتفاع، ژئومورفومتری، نقشه همپایه، هیپسومتری

### ۱- مقدمه

مجراهای آبرفتی نسبت به تغییرات دبی رود و اختصا صات بار ر سوبی خود، همچنین نیروهای تکتونیک بسیار حساس هستند. بسیاری از تغییراتی که در طول زمان در ریخت‌شناسی کانال روی می‌دهد، ممکن است به تغییرات مذکور مرتبط باشد؛ برای نمونه گسترش محلی مئآندر، شکل شاخه شاخه‌ی مجرای رود، پهن و باریک شدن بستر مجرا و غیره از جمله تغییراتی هستند که در اثر تغییرات دبی و بار سوبی اتفاق می‌افتد. تغییر شکل مجرای رودها می‌تواند به صورت‌های متفاوتی دیده شود، اما معمولاً اولین اثر به طور محلی در کاهش یا افزایش شیب مجرا، و انحراف به اطراف و حفر بستر یا رسوب‌گذاری جلوه‌گر می‌شود. اغلب تفکیک اثرات ناشی از تکتونیک پویا، از تغییرات دبی رود و اختصا صات بار ر سوبی آن بر روی ریخت‌شناسی مجرا در زمین، کاری بسیار مشکل است. در کل می‌توان ویژگی‌های تنظیم‌کننده‌ی مجرای رود — که وابسته به تکتونیک پویا هستند — را به صورت ذیل معرفی کرد: تغییر شکل نیمرخ طولی بستر رود، نیمرخ مجرا، تغییر در شیب دره و مجرا، در پهنای مجرا، تبدیل دشت سیلابی به تراس‌های کم

ارتفاع، گسترش دشت سیلابی پویا و تغییر در پایداری مجرا شامل حفر قائم رودها، رسوب گذاری و جابه‌جایی مجرا (شکل ۱).



شکل ۱: اندرکنش میان چین فعال و رودخانه. الف) نمای پرسپکتیو یک چین در حال رشد با دو پیشینه رود در حال عبور از سطح آن. لایه‌های زیرین مقاوم‌تر هستند و وقتی چین رشد می‌کند و محور آن بالاتر می‌آید، رودخانه شروع به شکاف لایه‌های کم‌مقاومت می‌کند. وقتی رودخانه به لایه مقاوم‌تر برسد، رودخانه‌ای که توان کمتری دارد از مسیر اولیه خود منحرف می‌شود و شکاف بادی<sup>۲</sup> ایجاد می‌کند که محل قبلی عبور رودخانه بوده‌است. ب) نیمرخ عرضی از همان مراحل است که وضعیت برش رودخانه را نشان می‌دهد (Burbank et al, 1999).

تحلیل‌های مورفومتری، به تحلیل کمی خصوصیات هندسی اشکال زمینی اطلاق می‌شود و شامل شاخص‌های ژئومورفیک و شاخص‌های رتبه‌ای شبکه‌های زهکشی است. شاخص‌های ژئومورفیک مانند انتگرال هیپسومتری، شیب طولی رودخانه، نسبت پهنای کف دره به ارتفاع آن، شاخص فقدان تقارن حوضه‌ی زهکشی و غیره، در بررسی فعالیت‌های نئوتکتونیک در جبهه‌ی کوهستان یا حوضه‌های زهکشی استفاده می‌شود. پارامترهای رتبه‌ای شبکه‌های زهکشی مانند رتبه‌بندی شبکه‌ی رودخانه‌ای، نسبت انشعاب، تراکم شبکه‌ی رودخانه‌ای و غیره پارامترهایی هستند که با محاسبه‌ی آنها امکان بررسی تأثیر تکتونیک در تحول شبکه‌های هیدروگرافی آشکار می‌شود (Guarnieri and Pirrotta, 2008). مددی و همکاران (۲۰۰۴)، فعالیت‌های نئوتکتونیک دامنه‌های شمال غربی تالش را با روش‌های ژئومورفولوژی تحلیل کرده‌اند. زرگرزاده و همکاران (۲۰۰۷)، تکتونیک فعال در منطقه‌ی زاگرس را با شاخص‌های ژئومورفیک در محیط GIS بررسی کرده‌اند. بررسی عوارض و شواهد ژئومورفولوژی ساختمانی و شاخص‌های مورفومتری رودخانه‌ها و پیداشانی کوهستان، از جمله روش‌های استفاده شده در این مطالعه است. بهرامی و همکاران (۲۰۰۸)، مورفومتری و مورفولوژی شبکه‌ی زهکشی مخروط آتشفشانی تفتان را مطالعه کرده‌اند. بیاتی‌خطیبی (۲۰۰۹)، اثرات فعالیت‌های نئوتکتونیک در نیمرخ طولی رودخانه‌های حوضه‌ی قرنق‌چای در دامنه‌های شرقی سهند را بررسی کرده است. کرمی (۲۰۰۹)، فعالیت‌های تکتونیک حوضه‌ی اوجان‌چای را با استفاده از تحلیل‌های شکل‌سنجی به طور نسبی ارزیابی کرده است. کرمی (۲۰۰۹)، فعالیت‌های تکتونیک حوضه‌ی زهکشی سعیدآبادچای را از نظر ژئومورفیک

1 Antecedent  
2 Wind gap

بررسی کرده‌است. وی اثر گسل تبریز بر این حوضه و تغییرات مورفولوژی جبهه‌ی کوهستانی دامنه‌ی شمالی سهند را مطالعه نموده‌است. یمانی و همکاران (۲۰۱۰)، مورفوتکتونیک ناحیه‌ی دهشیر در ایران مرکزی را با استفاده از تکنیک‌های ژئومورفومتری مطالعه کرده‌اند. آنها با استفاده از داده‌های راداری ارتفاعی SRTM به تجزیه و تحلیل شبکه‌ی زهکشی راقومی، ژئومورفومتری راقومی، پردازش تصویر راداری، استخراج خطواره‌ها و تحلیل آنها و تحلیل فضایی و آماری داده‌ها پرداخته‌اند. واکر<sup>۱</sup> (۲۰۰۶)، مشاهدات ژئومورفولوژیکی را برای توضیح رشد گسل‌های تراستی و امتداد لغز در جنوب استان کرمان به کار گرفته‌است. روژیدزی رودیگر<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۹)، تحلیل‌های مورفوتکتونیک براساس DEM را برای حوضه‌ی مرکزی پانونیان مجارستان انجام دادند و عوارض نئوتکتونیک و فرسایش بادی و آبی را از هم تفکیک کردند. کاسنر و گلوگوئن<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) با استفاده از شکل هندسی حوضه‌ی آبریز در فروافتادگی تاجیک، به اطلاعات نئوتکتونیک منطقه دست یافته‌اند. ده‌بزرگی و همکاران (۲۰۱۰)، فعالیت تکتونیک در سروس‌ستان زاگرس مرکزی را با تحلیل‌های کمی بررسی کرده‌اند.

برای برآورد خطرات ناشی از فعالیت‌های تکتونیک، همچنین اکتشاف منابع طبیعی و مطالعه‌ی تکوین ساختارهای زمین، شناخت ساختارهای زمین‌شناسی سطحی و ژئومورفولوژی شواهد خوبی را نشان می‌دهد. از سوی دیگر، برای تفسیر ساختارهای زیرسطحی نیز مفید هستند. شناخت تحولات تکتونیک و اثرات آن در شکل‌گیری عوارض سطحی زمین، با مطالعه‌ی مورفوتکتونیک ممکن است. پارامترهایی برای شناخت مورفوتکتونیک یک منطقه توسط محققان مختلف معرفی شده است که براساس اطلاعات موجود و تحلیل آن، در مورد شرایط تکتونیک منطقه و شکل‌گیری لندفرم‌های آن نتایج حاصل می‌شود. در این پژوهش، بخشی از کمربند چین‌خورده‌ی زاگرس در استان خوزستان مطالعه شده است. با توجه به بررسی رفتار شبکه‌ی آبراهه، شناخت تکتونیک و مورفوتکتونیک چنین مناطقی برای فعالیت‌های عمرانی و ساخت و سازهای مرتبط با شبکه‌ی آبراهه اهمیت فراوان دارد. با مشخص شدن رابطه‌ی تکتونیک فعال و تکامل شبکه‌های آبراهه، می‌توان وضعیت آتی این شبکه را براساس میزان فعالیت تکتونیک منطقه پیش‌بینی کرد. هدف این مطالعه بررسی شرایط فعالیت تکتونیک منطقه‌ی مورد مطالعه در گذشته و حال، و بررسی ارتباط میزان این فعالیت با شرایط فرسایشی منطقه است. در این راستا مطالعه‌ی شاخص هیپسومتری و نقشه‌ی هم‌پایه، از مهم‌ترین روش‌های رسیدن به هدف می‌باشد.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

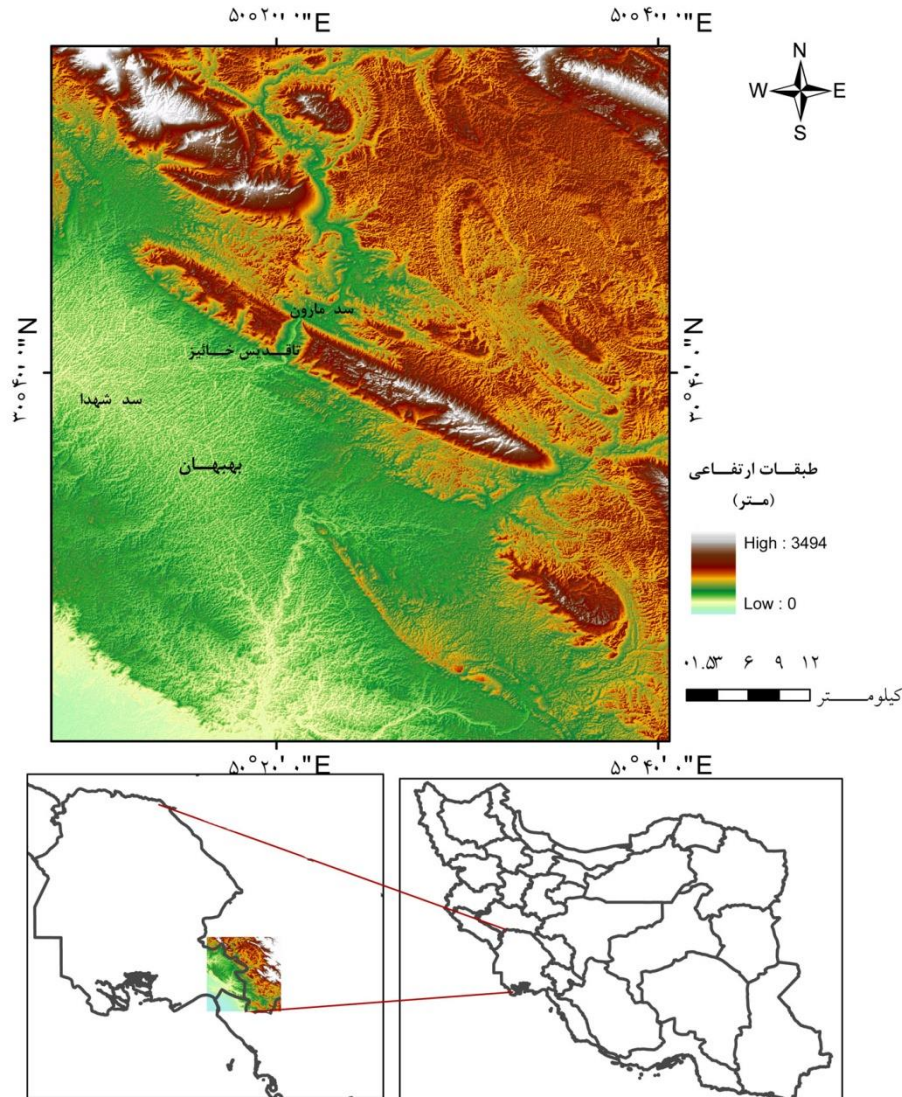
حوضه‌ی مارون در بخش چین‌خورده‌ی ساده رشته‌کوه زاگرس در استان‌های خوزستان و کهگلویه و بویراحمد، در طول شرقی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض شمالی ۳۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه و در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهبهان واقع شده‌است. تاقدیس خائیز که مرز استان‌های کهگلویه و بویراحمد و خوزستان است، در این حوضه واقع شده‌است. رود مارون از میان آن می‌گذرد و در یال شمالی این تاقدیس، سد مارون احداث شده‌است. شکل شماره‌ی ۲، محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه و طبقات ارتفاعی آن را نشان می‌دهد. مسیر مورد مطالعه‌ی

1 Walker

2 Ruszkiczay-Rüdiger

3 Kassner and Gloaguen

رود مارون، از ۶۰ کیلومتری بالادست سد آغاز شده و تا ۴۵ کیلومتری پایین دست سد بررسی شده است. مسیر رودخانه و محدوده‌ی حوضه‌ی مارون و آبراهه‌های فرعی آن، در شکل ۶ آمده است. این حوضه در رشته کوه زاگرس واقع شده است که از مناطق فعال تکتونیکی محسوب می‌شود و وقوع زلزله‌های متعدد در آن، گواهی بر این ادعاست.



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

## ۲-۲- روش‌ها

در این پژوهش از مدل رقومی ارتفاع **ASTER GDEM**، تصاویر ماهواره‌ای **ETM+** و **OLI** لند ست، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است. سنجنده‌ی **ASTER** با تصویربرداری در دو باند ۳ (با دو نقطه دید متفاوت) می‌تواند با ایجاد پارالاکس، تصویر ماهواره‌ای سه بعدی تهیه کند. تصاویر **GDEM** نخست در سال ۲۰۰۹ ارائه، سپس ویرایش بهینه شده‌ی آن در سال ۲۰۱۱ پردازش شد و در اختیار پژوهشگران قرار گرفت. این **DEM** دارای قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است و به صورت غیرفعال و در محدوده‌ی عرض جغرافیایی ۸۳ درجه‌ی

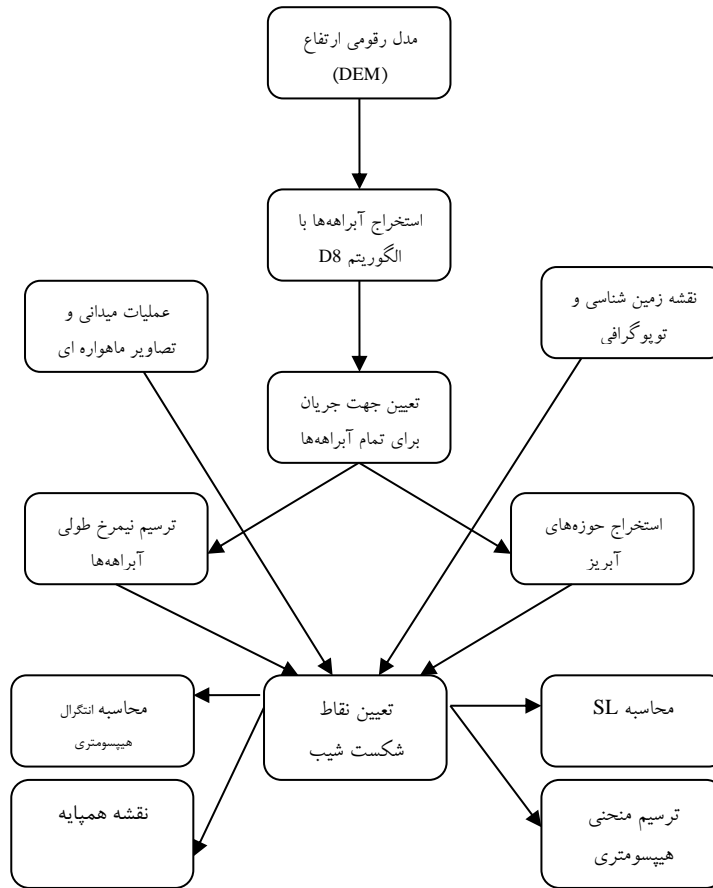
شمالی تا جنوبی تهیه شده است. این مدل رقومی ارتفاع به طور خودکار زمین مرجع بوده و براساس سطح مبنای WGS84 و سیستم مختصات UTM، مختصات دار است. تصاویر با فرمت GeoTIFF، و در فریم‌های به ابعاد یک درجه‌ی طول و عرض جغرافیایی قابل تهیه هستند. برای انجام تحلیل‌های ژئومورفومتری، از برنامه‌ی جانبی TecDEM در نرم‌افزار Matlab استفاده شد. در این برنامه با معرفی مدل رقومی ارتفاع و رفع اشکالات DEM (مانند پر کردن گودال‌های حاصل از خطای DEM)، شبکه آبراهه‌های منطقه با الگوریتم D8 استخراج شد. رده‌بندی آبراهه‌ها به روش استرال (۱۹۵۲) انجام شد، سپس شاخص‌های گرادیان شیب طولی رودخانه (SL)، منحنی و انتگرال هیپ سومتری و نقشه‌های همپایه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه محاسبه شدند. برای بررسی‌های بیشتر و تحلیل نتایج، از نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بهیجان استفاده شد و بازدید میدانی از منطقه به عمل آمد. از نقشه‌های توپوگرافی نیز برای کمک به تشخیص پدیده‌ها در بازدید میدانی استفاده شد. فلوچارت مراحل انجام کار در شکل ۳ آمده است.

ارزیابی اثر تکتونیک دوران سنوزوئیک بر چشم اندازه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه، بر پایه‌ی تحلیل روابط بین نقشه‌های مورفومتری (مانند نقشه‌های همپایه، گرایان هیدرولیکی، هیپ سومتری و ...) و پدیده‌های ژئومورفولوژیکی که در بازدیدهای میدانی مشاهده شده است، می‌باشد. منبع اصلی اطلاعات و داده‌ها برای آماده‌سازی نقشه‌های مورفومتری، مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است. لیست تکنیک‌های مورفومتری که در این مطالعه به کار گرفته شده، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: تکنیک‌های مورفومتری استفاده شده

پارامتر	مشخصات	محدودیت‌ها	منابع
نقشه همپایه	تغییرات ناگهانی در مقادیر همپایه ممکن است نشانه‌ی جابجایی‌های تکتونیک باشد.	این پارامتر به لیتولوژی نیز حساس است و تغییرات شبیه به تکتونیک را ایجاد می‌کند.	۱۵
انتگرال هیپسومتری	مناطق فعال تکتونیک مقادیر بالاتر از ۰/۶ دارند.	به مقاومت لیتولوژی در برابر فرسایش هم حساس است.	۲۲
گرادیان شیب طولی رودخانه	تغییرات آن می‌تواند نشانه‌ای از تغییر وضعیت تکتونیک باشد.	این پارامتر به تغییر لیتولوژی هم حساس است.	۱

پدیده‌های ژئومورفیک مرتبط با رخداد‌های نئوتکتونیک، براساس نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تشخیص داده، سپس با بازدید میدانی کنترل شد. از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده ETM+ لند ست ۷ و OLI لند ست ۸ نیز برای تفسیر بصری و شناخت پدیده‌ها، همچنین برای استخراج خطواره‌های مرتبط با ژئومورفولوژی منطقه استفاده شد.



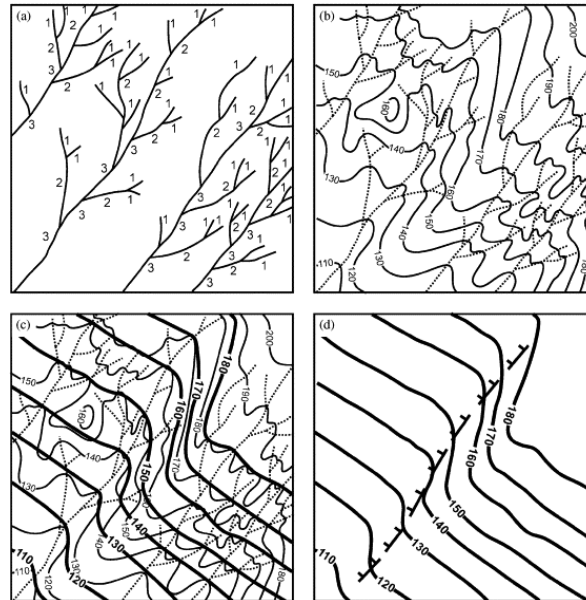
شکل ۳: نمودار نحوه‌ی عملیات انجام شده در این مطالعه

نقشه‌های همپایه، ویرایش "ساده شده" سطح توپوگرافی هستند که در آن اثر فرسایشی آبراهه‌های رده‌ی ۱ حذف شده (Grohmann et al, 2007) و انحرافات ناگهانی در مقادیر همپایه، ممکن است جابجایی‌های تکتونیکی یا تغییرات ناگهانی لیتولوژیک را نشان دهد (Golts and Rosenthal, 1993). این نقشه‌ها براساس روش پیشنهادی گولتز و رزنتال (۱۹۹۳) تهیه شد و فرض می‌شود محدوده‌ی سطوح فرسایشی مرتبط با رخدادهای فرسایشی — تکتونیکی توسط این خطوط همپایه معین می‌شود (به خصوص در مورد رخدادهای جدیدتر). نقشه‌ی همپایه‌ای که در این مطالعه مطرح شده، معادل نقشه‌ی "سطح اساس" است که توسط فیلو سوفوف<sup>۱</sup> (۱۹۶۰) مطرح شد. این نقشه رابطه‌ی میان سطح اساس و مرحله‌ی فرسایشی را بیان می‌کند. آبراهه‌های رده‌ی ۱ — که بیانگر تازه‌ترین برش رودخانه هستند — در این نقشه حذف می‌شوند تا تحلیل خصوصیتی که توسط ساختارهای جدید کنترل می‌شوند، ممکن شود. گروهمن<sup>۲</sup> (۲۰۰۵)، آبراهه‌های رده‌ی ۱ را با هدف حذف آثار توپوگرافیک آنها حذف کرد؛ زیرا معتقد بود این آبراهه‌ها، ممکن است پرتگاه‌ها یا سایر پدیده‌های توپوگرافیک مرتبط با رخدادهای فرسایشی — تکتونیکی را مخفی نماید. استخراج خودکار آبراهه‌ها از مدل رقمی ارتفاع، با روش D8 و توسط نرم‌افزار TecDEM صورت گرفت (O'Callaghan and Mark, 1984). نقشه‌های استخراجی از DEM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر را می‌توان به صورت نقشه‌های در حد مقیاس ۱:۸۰۰۰۰ نمایش داد (Mumipour, 2015). رده بندی آبراهه‌ها توسط نرم‌افزار TecDEM و براساس روش استرالر (۱۹۵۲) صورت

1 Filosofov  
2 Grohmann



گرفت. نقاط ارتفاعی DEM بر آبراهه‌های رده‌ی ۲ و رده‌های بالاتر، همپوشانی شده است و با روش درونیابی IDW (وزن‌دهی معکوس فاصله)، نقشه‌ی همپایه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه ایجاد شد. شکل ۴، نمایش شماتیک چگونگی تهیه‌ی این نقشه را نشان می‌دهد.



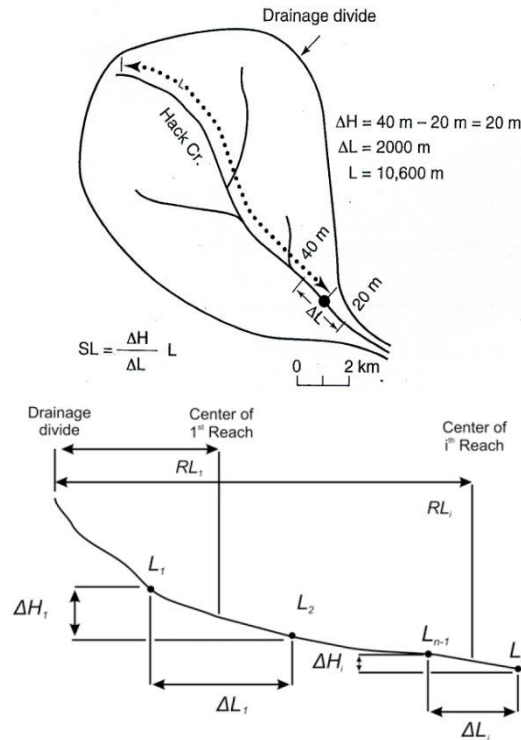
شکل ۴: تهیه‌ی نقشه‌ی هم‌پایه (a) تعیین رده‌ی آبراهه‌ها، (b) همپوشانی آبراهه‌ها و خطوط منحنی میزان، (c) خطوط هم‌پایه‌ی مستخرج از رده‌های ۲ و ۳ (استرالر، d) شناسایی گسل احتمالی از روی انحراف خطوط هم‌پایه (Grohmann, 2005).

شاخص شیب طولی رودخانه‌ی ۱، هرگونه بی‌نظمی را در نیمرخ طولی رودخانه نشان می‌دهد (Karami, 2009) و با رابطه (۱) بیان می‌شود (شکل ۵).

$$SL = (\Delta H / \Delta L) L \quad \text{رابطه (۱)}$$

$SL$  = شاخص شیب طولی رودخانه،  $\Delta H / \Delta L$  = شیب آبراهه یا گرادیان یک قطعه،  $\Delta H$  = اختلاف ارتفاع قطعه مورد نظر (متر)،  $\Delta L$  = طول شاخه‌ی مورد نظر (متر)،  $L$  = مجموع طول آبراهه (متر) از نقطه‌ای که شاخص محاسبه می‌شود تا مرتفع‌ترین نقطه‌ی آبراهه در بالادست. این شاخص همچنین برابر است با  $SL = (\Delta H / \Delta L) * L$  که در آن  $\Delta H$  اختلاف فراز میان دو نقطه‌ی انتخابی در طول مسیر رود،  $\Delta L$  فاصله‌ی میان آن دو نقطه و  $L$  طول مجرای رود از نقطه‌ی میانه نقاط برگزیده شده تا بلندترین نقطه‌ی مجرا در بالا دست رود است. شاخص  $SL$  به تغییرات شیب مجرا بسیار حساس است و این حساسیت اجازه می‌دهد که برآوردی از ارتباط میان پویایی زمین‌ساختی، مقاومت سنگ بستر و توپوگرافی آن به دست آید. مقادیر بالای این شاخص عموماً در مناطقی که رودها، سنگ‌های سخت یا ساختمان‌های فعال را قطع کنند، دیده می‌شود. این پارامترها با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی یا مدل رقومی ارتفاع (DEM) اندازه‌گیری می‌شود.

<sup>1</sup> Stream Length Gradient Index (SL)



شکل ۵: نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص SL (Keller and Pinter, 2002).

شاخص SL به تغییرات شیب آبراهه حساس است و این موضوع، ارزیابی رابطه بین فعالیت‌های تکتونیک، مقاومت سنگ و توپوگرافی را امکان‌پذیر می‌سازد (Jordan, 2004)؛ برای مثال، SL در جایی که سنگ‌های کربناته، ماسه سنگ، سیلتستون و شیل برونزد دارند، نسبتاً کم است ولی در جایی که رودخانه، سنگ‌های نسبتاً سخت را قطع کند این شاخص افزایش می‌یابد. منطقه‌ای با سنگ‌های نرم و SL بالا، فعالیت‌های تکتونیک جدید را نشان می‌دهد؛ برای مثال، دره‌های خطی که به وسیله‌ی گسلش شیب لغز ایجاد شده‌اند، مقدار شاخص پایین مورد انتظار است؛ زیرا سنگ‌های این دره به وسیله‌ی حرکات گسلی خرد شده‌اند و جریان رودخانه در این دره‌ها شیب جزئی را طی می‌کند (Keller and Pinter, 2002).

پدیده‌های ژئومورفولوژی که فعالیت‌های احتمالی تکتونیک را نشان می‌دهند، بر روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ شناسایی شدند که شامل الگوهای زیر هستند: به هم ریخته‌ی آبراهه‌ها، شکست‌های مهم آبراهه‌ای، ساختارهای مرتفعی که انحراف یا سارت آبراهه‌ها را موجب شده‌اند و در نهایت مسیرهای غیرعادی آبراهه‌ها. برای درک ارتباط بین این پدیده‌ها با خطواره‌های استخراجی از نقشه‌های مورفومتری، نقشه‌های بافر فاصله‌ی این پدیده‌ها از خطواره‌های استخراجی از DEM ایجاد و همی خطواره‌ها در شش جهت تقسیم بندی شدند. با توجه به منابع اطلاعاتی مختلفی که در این مطالعه استفاده شده و مقیاس‌های مختلف و خطای مکانی آن، پدیده‌های با فاصله‌ی ۱ کیلومتر از ساختارهای خطی، مرتبط و متأثر از آن ساختار فرض شده‌اند.

انتگرال هیپسومتر (Strahler, 1952) برای منطقه‌ی مورد مطالعه و زیرحوضه‌های آن محاسبه شد تا مراحل مختلف بلوغ این حوضه‌ها تعیین شود. انتگرال هیپسومتری (رابطه ۲)، با انتگرال‌گیری از منحنی هیپسومتری (x, y) با ارتفاع (h) و مساحت (a) هر حوضه، نسبت به حداکثر ارتفاع (H) و مساحت کل (A) محاسبه می‌شود:

$$\int_0^1 x \, dy \quad \text{رابطه ۲}$$

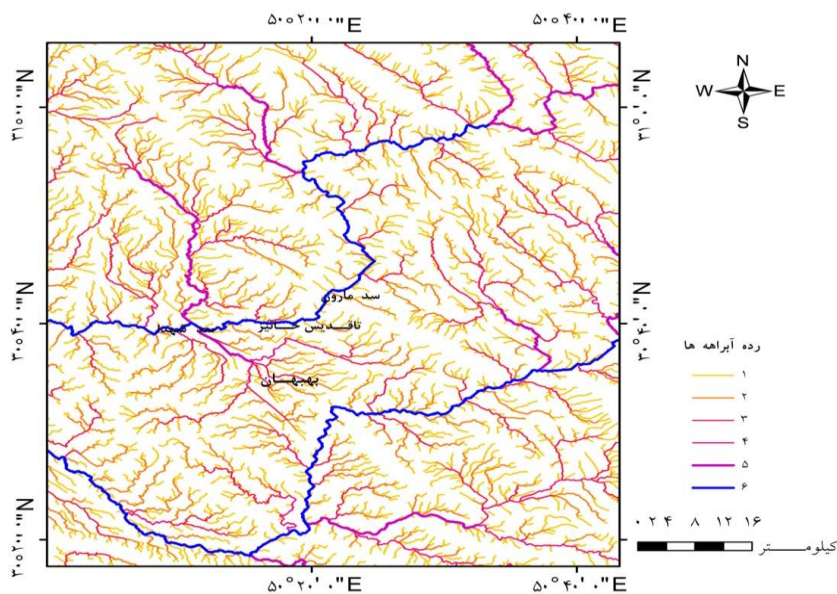


در این رابطه  $x=a/A$  و  $y=h/H$  است. مقادیر نزدیک به یک (۱۰۰٪)، نشان‌دهنده‌ی حوضه‌های جوان‌تر هستند که فاقد تعادل ظاهری است و در آن، شاهد تغییرات سریع هستیم. مقادیر نزدیک به نیم (۵۰٪)، حوضه‌های بالغ بوده که به تعادل فرسایشی رسیده‌اند و مقادیر نزدیک به صفر، حوضه‌های پیر هستند که فرسایش در آنها غالب است. مقادیر انتگرال هیپسومتری با استفاده از نرم‌افزار TecDEM محاسبه (Keller and Pinter, 2002) و نتایج براساس محدوده‌های پیشنهادی استرالر (۱۹۵۲) طبقه‌بندی شد؛ به نحوی که مقادیر HI بزرگتر از ۶۰ درصد، حوضه‌های جوان، مقادیر HI بین ۳۰ تا ۶۰ درصد، حوضه‌های بالغ و مقادیر HI زیر ۳۰ درصد، حوضه‌های پیر را نشان می‌دهند.

منحنی هیپسومتری با پلات کردن مساحت نسبی بر ارتفاع نسبی ترسیم می‌شود. مساحت نسبی از تقسیم مساحت بین دو ارتفاع معین به کل مساحت به دست می‌آید. ارتفاع نسبی نیز از نسبت ارتفاع منحنی میزان معینی، به حداکثر ارتفاع حوضه به دست می‌آید. انتگرال هیپسومتری از روی منحنی هیپسومتری محاسبه می‌شود و معادل نسبت مساحت زیر نمودار به مساحت مستطیلی است که کل آن بخش از نمودار را احاطه می‌کند. این مقدار بر حسب درصد بیان می‌شود. تحلیل‌های هیپسومتری، ابزاری مهم برای برآورد و مقایسه‌ی تکامل ژئومورفولوژیک لندفرم‌های مختلف، بدون در نظر گرفتن عامل این تکامل است. عوامل اصلی که در تکامل چشم‌انداز نقش دارند شامل تکتونیک، اقلیم و تغییرات لیتولوژیک هستند. منحنی هیپسومتری به حجم سنگ‌های حوضه و مقدار فرسایش آن، نسبت به مقدار باقیمانده‌ی سنگ‌ها بستگی دارد (Shahzad and Gloaguen, 2011). انتگرال هیپسومتری نشان‌دهنده‌ی میزان فرسایشی است که طی زمان زمین‌شناسی در حوضه‌ی معینی اتفاق افتاده است.

### ۳- یافته‌ها (نتایج)

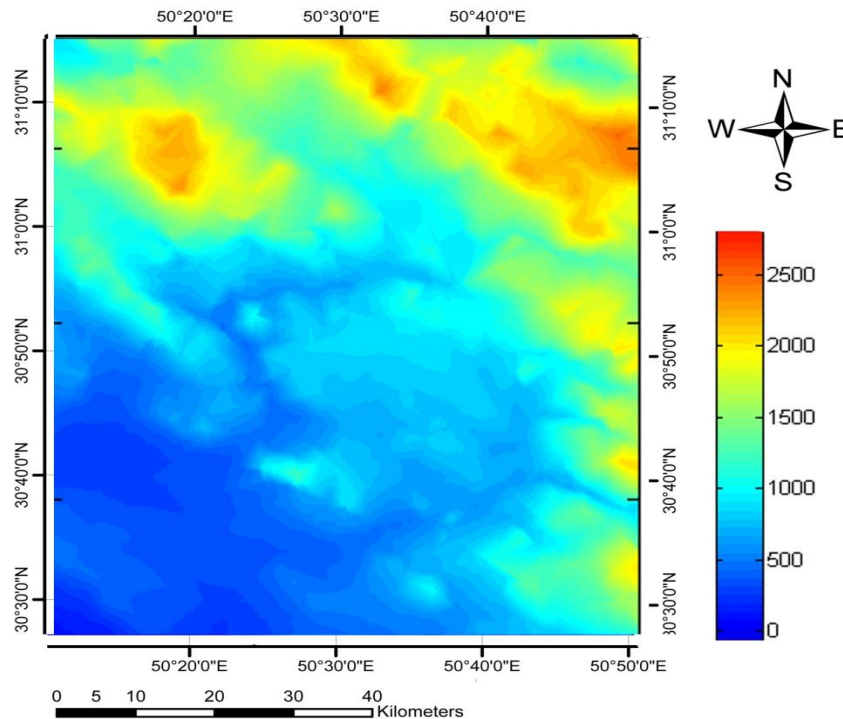
در این مطالعه داده‌های مورفوتکتونیک حاصل شده از تکنیک‌های ژئومورفومتری، به منظور شناسایی وضعیت نفوتکتونیک و فرسایش منطقه‌ی مورد مطالعه تحلیل شدند. این نتایج با داده‌های ساختاری تهیه شده از نقشه‌های توپوگرافی و بازدیدهای میدانی مقایسه شد، تا رابطه‌ی بین مناطق تحت تأثیر حرکات نفوتکتونیک و مشاهدات مورفومتری منطقه مشخص شود.



شکل ۶: رده بندی استرالر آبراهه‌های استخراج شده از مدل رقمی ارتفاع

### ۱-۳- نقشه‌ی هم‌پایه

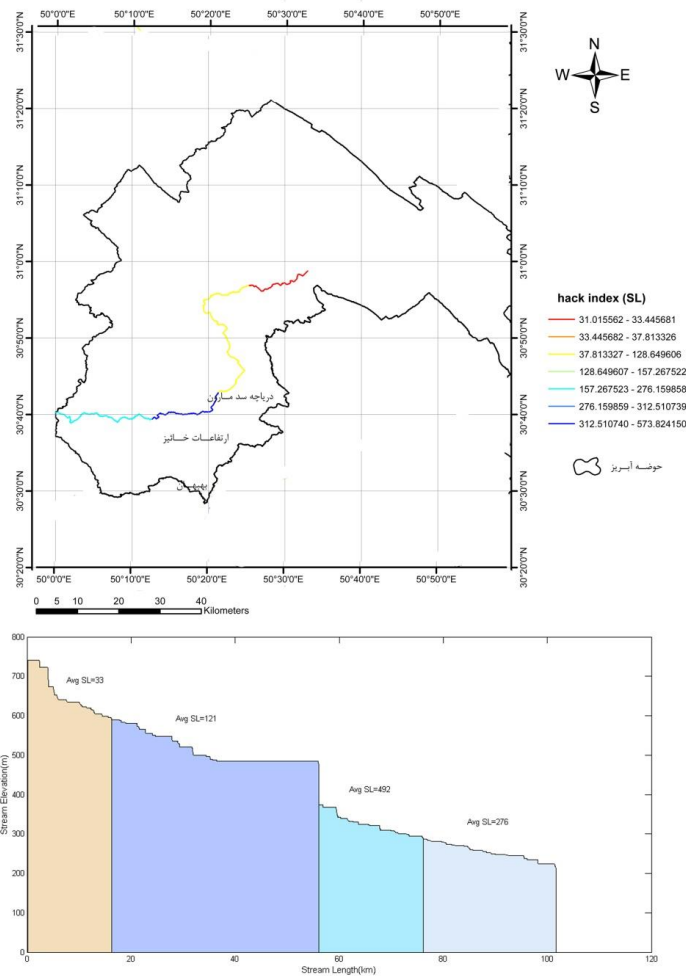
نقشه‌ی هم‌پایه‌ای که براساس آبراهه‌های رده‌ی ۲ و بالاتر ساخته شده‌است، تشخیص پدیده‌هایی که در اثر ساختارهای جدید تکتونیکی پدید آمده‌اند (مانند خمیدگی در محدوده‌ی خط گسلی یا خطواره‌ها) را ممکن می‌سازد (شکل ۶). به عنوان تحلیل اول، سه محدوده‌ی اصلی مقادیر هم‌پایه در منطقه‌ی مورد مطالعه تعیین شد: زیاد، متوسط و کم. سپس خطواره‌های هم‌پایه بر روی این نقشه تفسیر شدند (شکل ۷).



شکل ۷: نقشه‌ی هم‌پایه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

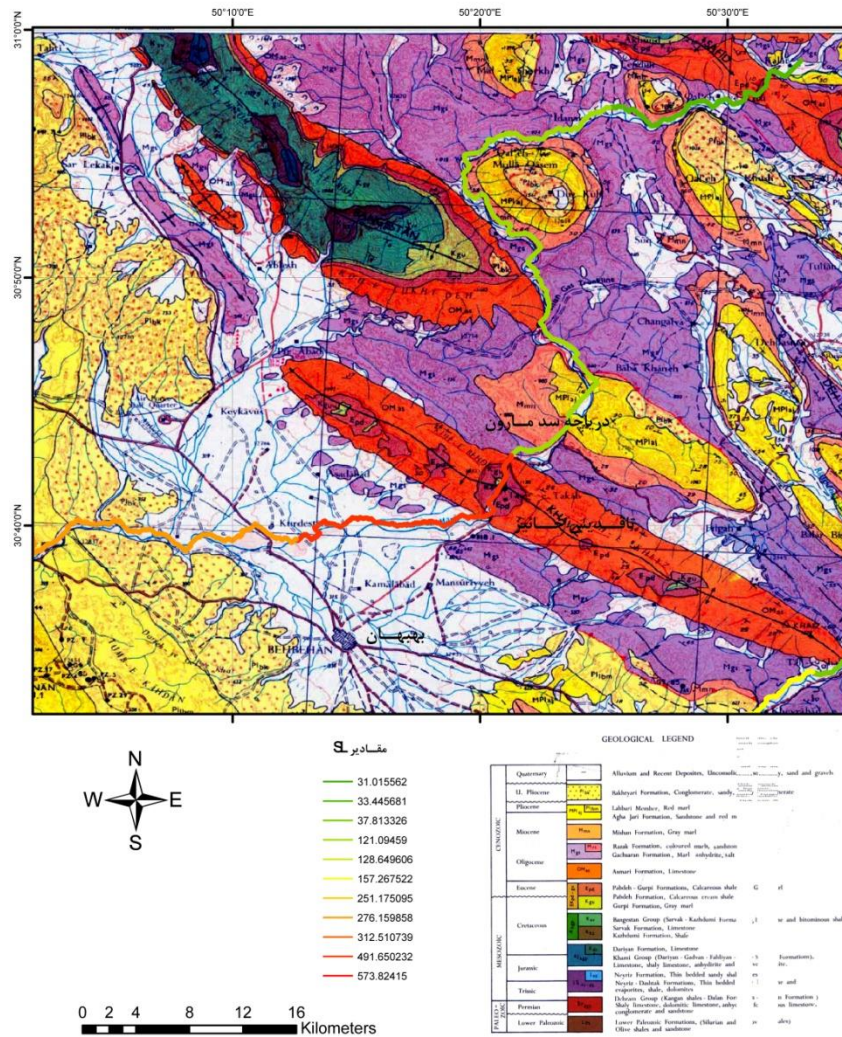
### ۲-۳- شاخص شیب طولی رودخانه

الگوی توزیع شاخص شیب طولی رودخانه در منطقه‌ی مورد مطالعه، تشخیص چند قلمرو اصلی را ممکن ساخت (شکل ۸). مقادیر بالای این شاخص در حدفاصل سد مارون تا سد شهدا و حداقل مقادیر، در بالادست سد مارون می‌باشد. از نظر الگوی توزیع شاخص SL بر روی تغییرات لیتولوژیک، نقشه‌ی همپوشانی این شاخص و نقشه‌ی زمین‌شناسی می‌تواند راهنمای خوبی باشد (شکل ۹). براساس این نقشه، مقادیر بالا منطبق بر سازندهای پابده و رسوبات کواترنری و مقادیر کم، عمدتاً با سازند گچساران همپوشانی دارند.



شکل ۸: شاخص شیب طولی رودخانه الف (نقشه توزیع در منطقه، ب) نیمرخ طولی و نمایش مقادیر متوسط SL بر روی آن

در بخش‌هایی که مقادیر SL تغییر می‌کند، نشانه‌ای از تغییر لیتولوژیکی یا تغییر وضعیت لیتولوژیکی آبراهه است. با انطباق نقشه‌ی لیتولوژی یا نقشه‌ی زمین‌شناسی، بخش‌هایی که تغییر SL منشأ تکتونیک داشته مشخص شده‌است و نقاط شکست شیب تعیین می‌شود. در منطقه‌ی مورد مطالعه، بیشتر تغییرات SL در اثر تغییرات لیتولوژی بود و با بازدید میدانی و بررسی نقشه‌ی زمین‌شناسی، سه مورد نقطه‌ی شکست تکتونیک تعیین شد.

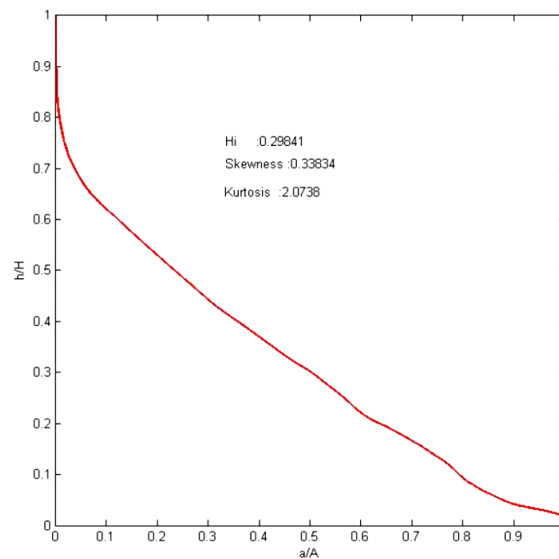


شکل ۹: انطباق نقشه‌ی زمین‌شناسی با شاخص رود مارون

همان‌طور که در شکل ۸ در نقشه و نیمرخ‌های طولی نمایش داده شد، مقدار متوسط شاخص در بازه‌ی ۳۱ تا ۵۷۴ است و تغییر و توزیع آن در همه‌ی بخش‌های منطقه یکسان نیست که این امر حاکی از تنوع شرایط تکتونیکی و لیتولوژیکی منطقه است. در حوضه‌ی مارون در بخش بالادست حوضه، میزان تغییرات SL به دلیل تغییر شدید شیب زیاد است که در این بخش به دلیل تفاوت لیتولوژیک و اختلاف فرسایش واحدهای لیتولوژیک می‌باشد. تغییرات SL در بخش میانی این حوضه، به دلیل اختلاف فرسایش واحدهای لیتولوژیک است. همان‌گونه که در شکل ۹ نشان داده شده است، بیشتر طول رود مارون در بالادست سد از سازند گچساران می‌گذرد و در تاقدیس خائیز به سازند گورپی می‌رسد. پس از عبور از تاقدیس — که سد مارون نیز در آن ساخته شده است — وارد آبرفت‌های کواترنری می‌شود، سپس به سازندهای کنگلومرای بختیاری و آغاچری می‌رسد. مقادیر شاخص SL، در سازندهای گورپی و آبرفت‌های کواترنری به حداکثر مقدار خود رسیده و در سازند گچساران دارای حداقل مقدار است.

## ۳-۳- هیپسومتری

نتایج انتگرال هیپسومتری همچنین ترسیم منحنی‌های آن، شناخت حوضه‌های جوان، بالغ و پیر را ممکن می‌سازد. حوضه‌های دارای منحنی هیپسومتری S شکل که بیانگر حوضه‌های بالغ می‌باشد، عمدتاً در بخش شمال شرقی منطقه و بر روی سازندهای گچساران قرار دارد. این حوضه‌های بالغ احتمالاً مرتبط با ساختارهای با جهت‌گیری NW-SE هستند که نقشه‌ی همپایه نیز این مورد را تأیید می‌کند. حوضه‌های پیر، عمدتاً در سازندهای آبرفت کواترنری و منطقه‌ی مرکزی تاقدیس خائیز قرار دارند. بین این حوضه‌ها و خطواره‌های نقشه‌ی هم‌پایه، همبستگی مشاهده نمی‌شود. حوضه‌های پیرتر در بخش غربی منطقه قرار دارند.



شکل ۱۰: نمودار هیپسومتری برای حوضه‌ی مارون در منطقه‌ی مورد مطالعه

آبراهه‌های موجود در یک شبکه‌ی آبراهه‌ای را می‌توان بر اساس موقعیت شان نسبت به هم رده‌بندی کرد. رده‌ی استرالر یک آبراهه، وابستگی زیادی به توپوگرافی دارد. شکل ۴ رده بندی آبراهه‌های منطقه با الگوی استرالر را نمایش می‌دهد. رده‌های مشابه را می‌توان به رخداد زمین‌شناسی واحدی نسبت داد؛ لذا سن یکسانی دارند. توزیع مکانی الگوی آبراهه‌ها، شواهدی از واحدهای زمین‌شناسی زیرین را نشان می‌دهند. پویایی رده‌های استرالر آبراهه و تغییرات توپوگرافیکی را می‌توان با نقشه‌ی هم‌پایه مطالعه کرد (Grohmann et al, 2007 & Bull, 2009 & Garrote et al, 2008 & Keller and Pinter, 2002). خطوط هم‌پایه، سطوح فرسایشی را نشان می‌دهند که در اثر فرسایش و تکتونیک شکل گرفته‌اند. برای تهیه‌ی نقشه‌ی هم‌پایه، باید ارتفاع و مکان آبراهه‌های رده دوم و سوم را درون‌یابی کرد (Grohmann, 2005) که به طور شماتیک در شکل ۴ نشان داده شده‌است. تغییرات شدید در خطوط هم‌پایه، محل‌های احتمالی گسل یا تغییرات لیتولوژیک را نشان می‌دهد. خطوط هم‌پایه، سطوح فرسایشی را نمایش می‌دهند؛ لذا دوره‌های فرسایشی و بخصوص موارد جدید آن را مشخص می‌کنند.

شکل ۱۰ نشان‌دهنده‌ی نمودار هیپسومتری رود مارون است. میزان و جهت انحنای منحنی‌های هیپسومتری هر حوضه، بیانگر وضعیت فرسایش و تکتونیک در آن حوضه است. منحنی‌های مقعر، نشان‌دهنده‌ی حوضه‌های پیرتر (یا دارای



فعالیت فرسایشی بیش از فعالیت تکتونیکی) بوده و برعکس منحنی‌های محدب، بیانگر حوضه‌های جوان (دارای فعالیت تکتونیکی بیش از فعالیت فرسایشی) است (Grohmann, 2004). و وضعیت میان این دو حالت - حالت S - شکل - هم برقراری نوعی تعادل میان نیروهای تکتونیکی و فرسایشی را نشان می‌دهد. لذا با این تفاسیر، حوضه رود مارون در منطقه مورد مطالعه که منحنی هیپسومتری حالت S شکل دارد و تعادل نسبی فرسایش و تکتونیک را نشان می‌دهد. از نظر مقدار انتگرال هیپسومتری، حوضه در مرز بلوغ و پیری و رو به پیری است.

#### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

مقادیر هم‌پایه‌ی بالا در بخش شمال و شمال غربی منطقه مورد مطالعه قرار دارد که عمدتاً شامل سازندهای گروه بنگستان و نیریز است. خطوط هم‌پایه در این محدوده، جهت SW-NE دارند (شکل ۷). مقادیر متوسط در بخش میانی منطقه بوده و بر روی سازندهای پابده و گورپی قرار گرفته‌اند. مقادیر هم‌پایه‌ی کم نیز در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه قرار دارد و خطوط هم‌پایه‌ی جهت‌گیری SW-NE دارند (شکل ۷). تفاوت مورفولوژی اصلی بین سطوح هم‌پایه و سطح توپوگرافی اصلی در این است که نويز حاصل از آبراهه‌های رده پایین (رده ۱) حذف شده؛ بنابراین تشخیص اثرات تکتونیکی آسان‌تر است.

نقشه‌ی هم‌پایه، رابطه‌ی میان رده‌ی آبراهه‌ها و وضعیت توپوگرافی را نشان می‌دهد. رده‌ی آبراهه نیز موقعیت آن را در شبکه‌ی آبراهه‌ها نشان می‌دهد و در چنین شبکه‌ای، آبراهه‌های با رده‌ی مشابه به فرآیندها یا اتفاقاتی با سن زمین‌شناسی مشابه مربوطند. خط هم‌پایه، خطی است که سطحی فرسایشی را نشان می‌دهد، سطح هم‌پایه از اتصال نیمرخ‌های آبراهه‌ای با رده‌ی مشابه (هم رده) ایجاد می‌شود و به توپوگرافی بالای سطح هم‌پایه ارتباطی ندارد. خطوط هم‌پایه سطوح فرسایشی را ترسیم می‌کنند؛ از این رو سطوح هم‌پایه به وقایع تکتونیکی - فرسایشی (به خصوص وقایع جدیدتر) ارتباط می‌یابند. تغییر ناگهانی جهت خطوط هم‌پایه، ممکن است انعکاسی از جابجایی تکتونیکی یا تغییر شدید لیتولوژیکی باشد. هم‌پایه را می‌توان نسخه‌ای ساده شده از یک سطح اصیل توپوگرافیک دانست که آثار فرسایشی آبراهه‌های رده‌ی اول از آن حذف شده است. هدف اصلی این روش این است که مناطقی که احتمالاً وقایع تکتونیکی در آنها فعال بوده‌است، در یک پهنه‌ی لیتولوژیکی همگن تشخیص داد. الگوی خطوط هم‌پایه در منطقه مورد مطالعه، نشان دهنده‌ی شرایط فرسایش منطقه در گذشته‌ی زمین‌شناسی و تأیید کننده‌ی این است که دره‌های ایجاد شده، از نوع دره‌ی آبی هستند؛ یعنی دره‌ای که حاصل فرسایش تاقدیس توسط پیشینه رود است.

شاخص SL تغییرات شیب بستر رودخانه را بیان می‌کند و نمودار شیب طولی، اثر عوامل لیتولوژی و تکتونیکی را در تغییر شیب طولی رودخانه نشان می‌دهد. قابل ذکر است نیمرخ طولی آبراهه‌ها با متغیرهای متعددی مانند دبی، اندازه‌ی مواد، لیتولوژی و تکتونیک در ارتباط می‌باشد. بین این متغیرها روابط پیچیده‌ای وجود دارد و رودخانه باید شیب بستر خود را با تغییرات نامنظم بده، سرعت و بار رسوبی هماهنگ سازد. با وجود این، بی‌نظمی‌های موجود در نیمرخ طولی رودها، اغلب به وسیله‌ی عامل تکتونیک و واحدهای لیتولوژی با مقاومت‌های متفاوت که در بستر رودخانه برونزد دارند، تغییر می‌کند. شاخص شیب رودخانه، از پارامترهای ژئومتریک مهم برای بیان تفاوت‌های نسبی بالاآمدگی در مناطق مختلف بوده‌است، ولی صرفاً بیانگر فعالیت‌های تکتونیکی نیست بلکه نقش عوامل دیگر مثل لیتولوژی را نیز بیان می‌کند. در حالت کلی، این شاخص برای نشان دادن تغییرات شیب بستر رودخانه‌ها به کار می‌رود (شکل ۸). با



انطباق نقشه‌ی زمین‌شناسی و شاخص SL در شکل ۸ مشاهده می‌شود که نواحی با سازندهای سست و فرسایش‌پذیر، مقادیر بالاتر شاخص SL را نشان می‌دهند. البته مقادیر شاخص SL بعد از گذر رودخانه از تاقدیس خائیز بیشتر شده است. در پهنه‌ی آبرفتی، بیشترین مقدار و در گچ‌ساران، کمترین مقادیر مشاهده می‌شود. از شاخص SL برای ارزیابی فعالیت نسبی تکتونیک استفاده می‌شود. با اینکه در منطقه‌ای با سنگ‌های سست، مقادیر بالای SL نشان دهنده‌ی فعالیت تکتونیک بالاست، اما مقادیر کم SL هم ممکن است در مناطق تکتونیک فعال مشاهده شود؛ مثل مواردی که رودخانه‌ها از روی گسل‌های امتدادلغز عبور می‌کنند.

در تحلیل دیگری که رابطه‌ی این ساختارها را با داده‌های هیپسومتری بررسی می‌کند، مشخص شد که حدود ۵ درصد آنها حوضه‌های بالغ و ۹۵ درصد حوضه‌ها، پیر هستند. با توجه به اینکه مساحت حوضه‌های بالغ و پیر با هم متفاوت است؛ لذا احتمال وقوع پدیده‌ها، از تقسیم در صد آنها به در صد مساحت حوضه‌ها به دست می‌آید. در منطقه‌ی مورد مطالعه، همه‌ی مقادیر انتگرال هیپسومتری زیر ۰/۵ بوده است که نشان می‌دهد در این منطقه، حوضه‌ی جوان وجود ندارد و اکثر قریب به اتفاق حوضه‌ها در رده‌ی پیر - مقدار انتگرال هیپسومتری زیر ۰/۳ - قرار دارند.

شبکه‌های آبراه‌های عموماً تحت تأثیر نوع، جهت و فعالیت جدید چین‌ها و گسل‌های محلی و ناحیه‌ای در مناطق فعال تکتونیک قرار می‌گیرند. در رشته‌کوه زاگرس، اکثر سیستم‌های آبراه‌های تحت تأثیر و کنترل فرآیندهای نئوتکتونیک هستند. توسعه‌ی آبراه‌ها، روندی ژئومورفولوژیکی است که چندین هزار سال به طول می‌انجامد. تعیین روند آتی توسعه‌ی شبکه‌ی آبراه‌ها، به چگونگی روند آتی فرسایش، تکتونیک و وضعیت لیتولوژیکی منطقه بستگی دارد. در این مطالعه مشخص شده است که روند توسعه و تکامل شبکه‌ی آبراه‌های در بخش‌های مختلف منطقه‌ی مورد مطالعه یکسان نیست؛ زیرا گرچه شرایط تکتونیک برای کل منطقه فعال است، در همه‌ی بخش‌های منطقه، مقادیر فعالیت و نحوه‌ی عملکرد یکسان نیست. تفسیر نقشه‌ی مقادیر SL و نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه در کنار هم، به درک بهتر این موضوع کمک می‌کند. بیشتر تغییرات SL به دلیل تغییر لیتولوژی است. تفسیر منحنی و انتگرال هیپسومتری نیز بیانگر پیر بودن اکثر زیرحوضه‌های مارون است که نشان می‌دهد فعالیت فرسایشی، بیش از فعالیت تکتونیک در تشکیل لندفرم‌های حوضه‌ی مورد مطالعه اثرگذار بوده است.

شیب طولی بالاتر، نرخ فرسایش بالاتر را در بر دارد و البته این موضوع خود ممکن است در اثر فعالیت تکتونیک ایجاد شده باشد و به گونه‌ای پس‌خوراند منفی را موجب شود. نرخ‌های بالآمدگی در بخش‌های مختلف آبراه‌ها متفاوت است؛ هر چه این نرخ بالاتر باشد، شیب آبراه بیشتر می‌شود و برای رسیدن به تعادل پایدار، بستر خود را بیشتر فرسایش می‌دهد.

## ۵ - سپاس‌گزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی داخلی، شماره‌ی ۷۶ مورخ ۹۳/۶/۲۳ از محل اعتبارات ویژه‌ی پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر است. از داوران محترم برای ارائه‌ی نظرات سازنده که باعث بهتر شدن مقاله شد، سپاسگزارم.

## منابع

1. Bahrami, S. H.; Yamani, M.; & K. Alavipanah, 2008. Analysis of morphometry and morphology of drainage networks in Taftan volcano, *Physical Geography Researches*, 65, 61-72 (In Persian).
2. Bayati-Khatibi, M., 2009. Identification of Neotectonic activity in Gharangoo-chai using geomorphic and morphotectonic indices, *Geographic Space*, 25, 23 - 50 (In Persian).
3. Bull, W. B. , 2009. Tectonically Active Landscapes, Wiley-Blackwell, Oxford.
4. Burbank, D. W.; McLean, J. K.; Bullen, M.; Abdrakhmadov, K. Y.; & M. M. Miller, 1999. Partitioning of intermountain basins by thrust-related folding, Tien Shen, Kyrgyzstan, *Basin Research*, 11, 75 - 92.
5. Dehbozorgi, M.; Pourkermani, M.; Arian, M.; Matkan, A. A.; Motamedi, H.; & A. Hosseiniasl, 2010. Quantitative analysis of relative tectonic activity in the Sarvestan area, central Zagros, Iran, *Geomorphology*, 121, 329 – 341.
6. Filosofov, V. P., 1960. Brief Guide to Morphometric Methods in Search of Tectonic Features. (Saratov University Publishing House, Saratov), 1960.
7. Garrote, J.; Heydt, G. G.; & R. T. Cox, 2008. Multi-stream order analyses in basin asymmetry: a tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain), *Geomorphology*, 102 (1), 130 – 144.
8. Golts, S., & E. A. Rosenthal., (1993). morphotectonic map of the northern Aravain, derived from isobase lines. *Geomorphology*, 7, 305 – 315.
9. Grohmann, C. H., 2004. Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R, *Computers & Geosciences*, 30 (9–10) , 1055–1067.
10. Grohmann, C. H., 2005. Trend-surface analysis of morphometric parameters: a case study in southeastern Brazil, *Computers & Geosciences*, 31 (8) , 1007–1014.
11. Grohmann, C. H.; Riccomini, C.; & F. M. Alves, 2007. SRTM-based morphotectonic analysis of the Pocos de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil, *Computers & Geosciences*, 33 (1), 10 –19.
12. Guarnieri P., & C. Pirrotta , 2008. The response of drainage basins to the late Quaternary tectonic in the Sicillian side of the Messina Strait (NE Sicily), *Geomorphology*, 95, 260 - 273.
13. Jordan, G., 2004. "Terrain Modelling with GIS for Tectonic Geomorphology: numerical methods and applications", comprehensive summeries of Uppsala dissertations, ACTA universitatis Upsaliensis, Uppsala, Sweden.
14. K"añner, A., & R. Gloaguen, (2009). "Neotectonic information from drainage basin geometry in the Tajik depression", IGARSS 2009 conference: II-353- II-356.
15. Karami, F., Assessment of Relative Tectonic activity using morphometric analysis (case study: Ojan chai catchment, NE Sahand Mountain), *Journal of Geography and Environmental Palnning* , 35: 135-154 (In Persian).
16. Karami, F., 2009. Geomorphic assessment of tectonic activities in Saidabad catchment, *Physical Geography Researches*, 69, 67 - 82 (In Persian).
17. Keller, E. A., & N. Pinter, (2002). Active Tectonics. Earthquakes, Uplift, and Landscape. Prentice Hall, New Jersey.
18. Madadi, A.; Rezayi-Moghaddam, M. H.; & A. Rajayi, 2004. Analysis of Neotectonic activities using geomorphological methods in NW slopes of Talesh (Baghro dagh), *Geographical Researchs*, 48: 123-138 (In Persian).
19. Mumipour, M., 2015. Extraction, Evaluation and monitoring suspended sediments in Arvand rood entrance to Persian Gulf using ETM+ Satellite images, First Conference on Marine based sustainable development, Khorramshahr (In Persian).

20. O'Callaghan, J. F., & D. M. Mark , 1984. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics, & Image Processing*, 28, 323 - 344.
21. Ruszkiczay-Rüdiger, Z.; Fodor, L.; Horváth, E.; & T. Telbisz , 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, 203 – 217.
22. Shahzad, F., & R. Gloaguen., (2011). TecDEM: A MATLAB based toolbox for tectonic geomorphology, Part 1: Drainage network preprocessing and stream profile analysis, *Computers & Geosciences*, 37, 250 – 260.
23. Strahler, A. N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of ero-sional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63, 1117 - 1142.
24. Walker, R. T., 2006. A remote sensing study of active folding and faulting in southern Kerman province, S.E. Iran, *Journal of Structural Geology*, 28 (4), 654 – 668.
25. Yamani, M.; Ghassemi, M.; Alavipanah, A.; & A. Ghoorabi, 2010. Morphotectonic of Dehshir using Geomorphometry techniques, *Physical Geography Research*, 71, 1 - 20 (In Persian).
26. Zargarzadeh , M.; Rangzan, K.; Charchi, A.; & E. Abshirini, 2007. Study of active tectonics in Zagros using geographic indices and morphometric parametes in GIS environment, 26<sup>th</sup> congress of Earth Sciences, GSI, Tehran (In Persian).

## A Study of Maroon Basin Neotectonics and Erosion Using Geomorphometric Techniques

Mehdi Mumipour\*: *Assistant professor, Department of Environment, Faculty of Marine Natural Sciences, Khorramshahr University of Marine Science and Technology*

Article History (Received: 14 July 2016 Accepted: 21 January 2017)

### Extended abstract

#### 1- INTRODUCTION

In the regions with the active tectonics, the geometry and evolution of the river systems are sensitive to the surface uplift rate. The simply-folded belt of Zagros has been developed during the late Cenozoic era, and is still active as it is affected by the tectonic activity of the Arabian-Iranian shortening processes pertaining to plate boundary, since the widespread seismic activity in this region is an evidence. In a tectonically active region, geomorphic markers, such as alluvial fans, multiple river terraces and some other geomorphic features are essential as a reference frame for the gauge deformations. Stream profile analysis is a more stable parameter in the tectonic studies than the river terraces. By using digital elevation models (DEMs), such analyses would become easier, faster, and more precise. The study area is located in the southwestern Zagros Simply-Folded Belt (ZSFB) in southwestern Iran.

#### 2- THEORETICAL FRAMEWORK

Geomorphometric analyses were done by using Digital Elevation Model in this study and some parameters such as concavity and drainage steepness were calculated. The Tectonic Uplift rate of the main stream of the catchment was calculated based on the geomorphometric analysis. The hypsometry curve showed that this catchment is an old one, so erosion is more progressive than the tectonic activity. The uplift rate in the middle of the catchment is higher. Also, the isobase maps were analyzed to yield more accurate understanding about the erosional condition of the catchment in its history. The spatial distribution of the stream height (isobase map) is a useful proxy for investigating the geologic or tectonic processes. Drainage networks are commonly organized according to the Strahler stream order. Streams of similar orders are of similar geological age, and are related to similar geological events. Hence, the interpolation of the isobase lines, connecting streams with a similar order, produces a surface resulting from the same erosional events.

#### 3- METHODOLOGY

The hypsometric curves have been used to infer the developmental stage of the drainage network and also it is a powerful tool to differentiate between the tectonically active and inactive areas. The curve is created by plotting the proportion of total basin height against the proportion of total basin area. Convex hypsometric curves characterize the young slightly eroded regions; The S shaped curves characterize the moderately eroded regions; concave curves point to the old, highly eroded regions. Streams of similar orders are of similar geological age and are related to similar geological events. Hence, the interpolation of isobase lines, which connects streams with a similar order, produces a surface resulting from the same erosional events. Isobase lines represent the erosional surfaces formed due to the recent tectonic and erosional events. Studies suggest that the isobase maps are prepared by interpolating the elevation at the location of the

---

\* Corresponding Author: [mumipur@kmsu.ac.ir](mailto:mumipur@kmsu.ac.ir)

\* Corresponding Author: [mumipur@kmsu.ac.ir](mailto:mumipur@kmsu.ac.ir)

2nd and the 3rd order streams. Sharp changes in the isobase map indicate the possible location of the faults and/or lithological contrasts.

#### 4- RESULTS

Results show that the Khayzi anticline is a flat part in the isobase map, meaning that this anticline is younger than the other parts of the study area. The quantitative SL indices linked to the relative rock resistance described above with field observations suggest that, along the southern part of the Maroon River, the values of the SL index show a variable distribution. The highest and perhaps the most anomalous values of the index are along the Maroon River on its pass from Khayzi anticline. Hypsometry analysis is based on investigating the shape of the basin hypsometric curves which is convex. The hypsometric integral of the Maroon river basin is about 0.22, which means that this basin is an old one. The analyses suggest that as the basin is in the old stage, so the erosion processes are more influential than the tectonic ones. The incision map or the local relief is used to identify the regions of high gradients. The Maroon River is studied using the stream power law. This is a three-segment stream. The two knickpoints show the tectonic activity.

#### 5- CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

As the stream goes down, the sharp change in the geomorphic indices shows gradual changes in the lithology and tectonic activity. The northern part of the region has low steepness values and because the steepness is directly related to the uplift rate, it means that the region has undergone less deformation processes on the northern section, compared to the other parts.

**Key Words:** Geomorphometry, Digital Elevation Model (DEM), Maroon River, Isobase map, Hypsometry.