فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال چهارم، شماره شانزدهم، زمستان ۱۳۸۹، صفحات ۶۱-۷۴

تأثیر تغییرات سطح اساس در ریخت‌شناسی بستر رودخانه‌های محدوده دلتای سفیدرود

مجتبی یمانی[۱و*] و حمید کامرانی دلیر[۲]

۱. دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. کارشناس ارشد رشته زمین‌ریخت‌شناسی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۱۲

چکیده

بستر رودها می‌توانند بازتاب کننده تأثیرات متقابل فرسایش، زمین‌ساخت، تغییرات اقلیمی باشند. در این میان، شاید عاملی که در این تغییرات نقش، دارد تأثیرات زمین‌ساختی و تغییر سطح تراز مصّب رود است. در این پژوهش، نقش تغییرات سطح اساس در شکل‌گیری بستر و الگوی کانال رودخانه‌های پلرود، شفارود و کرگانرود در محدوده دلتای سفیدرود مطالعه شده است. مسئله تحقیق آن است که بستر رودخانه‌های منتهی به خط ساحلی خزر در محل مصّب و نزدیکی آن عمیق شدگی قابل توجهی را نشان می‌دهند. هدف، بررسی نقش عوامل مؤثر در تغییرات سطح اساس و تغییرات زمین‌ریخت‌شناسی بستر این رودخانه‌ها بوده است. نقشه‌های رقومی توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی، ابزارهای فیزیکی این پژوهش را تشکیل می‌دهند. کارهای میدانی تفصیلی برای برداشت نیمرخ‌های طولی و عرضی از بستر رودها و ثبت موقعیت‌آنها با استفاده از GPS و دیگر ابزار انجام شده است. داده‌ها در محیط‌های نرم افزاری GIS و AutoCAD پردازش شده‌اند. همچنین، الگوی کانال رودخانه‌ها بر اساس یافته‌ها و مبانی نظری و رده‌بندی شده و در نهایت، تأثیر متقابل نوسانات تراز آب دریای خزر، تأثیرات زمین‌ساختی البرز با دیگر داده‌ها تلفیق و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد که تغییرات کوتاه مدت تراز آب دریای خزر در بازه‌های نزدیک به مصّب (حداکثر ۵ کیلومتر از ساحل) را تحت تأثیر خود قرار داده است. این اثرگذاری در خاور دلتای سفید رود، که خط تغییر شیب کوهستان به ساحل نزدیک‌تر و سطح جلگه پهن‌تر است، نسبت به باختر و شمال باختر، بیشتر است. از طرفی، فراخاست البرز در برابر فرونشست صفحه اقیانوسی خزر جنوبی در سرشاخه‌ها و تا مسافتی حدود ۱۰ کیلومتری بعد از خروج از کوهستان، تأثیرگذار بوده و موجب عمیق شدن آبراهه‌ها در این بخش شده است.

واژه‌های کلیدی: دریای خزر، سطح اساس، زمین ساخت، زمین ریخت‌شناسی، رودخانه.

مقدمه

پادگانه‌ها، توالی مخروط افکنه‌ها و جابه‌جایی خطوط ساحلی، شواهد اصلی تغییرات سطح اساس طی کواترنری هستند. دریای خزر حوضه بسته‌ای است و در کواترنری، همواره تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و تأثیرات زمین‌ساختی بوده و بنابراین خط ساحلی آن پایدار نبوده است. از نظر زمین‌ساختی، بستر دریای خزر بر اثر فرایند زیرراندگی، سالانه حدود ۸ میلی‌متر به زیر البرز فرومی‌رود (پالوسکا و دگنز، ۱۳۷۱). از سوی دیگر، سطح آب دریای خزر در نتیجه تغییرات اقلیمی، نوسان داشته است. این نوسان‌ها به طور مستقیم و غیرمستقیم در الگو و رفتار رودخانه‌های منتهی به آن تأثیرگذار بوده است.

ریخت‌شناسی بستر رودخانه با توجه به پارامترهای موثر بر آن مانند: آبدهی، هیدرودینامیک جریان، بار رسوبی، پوشش گیاهی محدوده بستر، سنگ‌شناختی و غیره از دیدگاه‌های مختلف مورد

* نویسنده مرتبط myamani@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

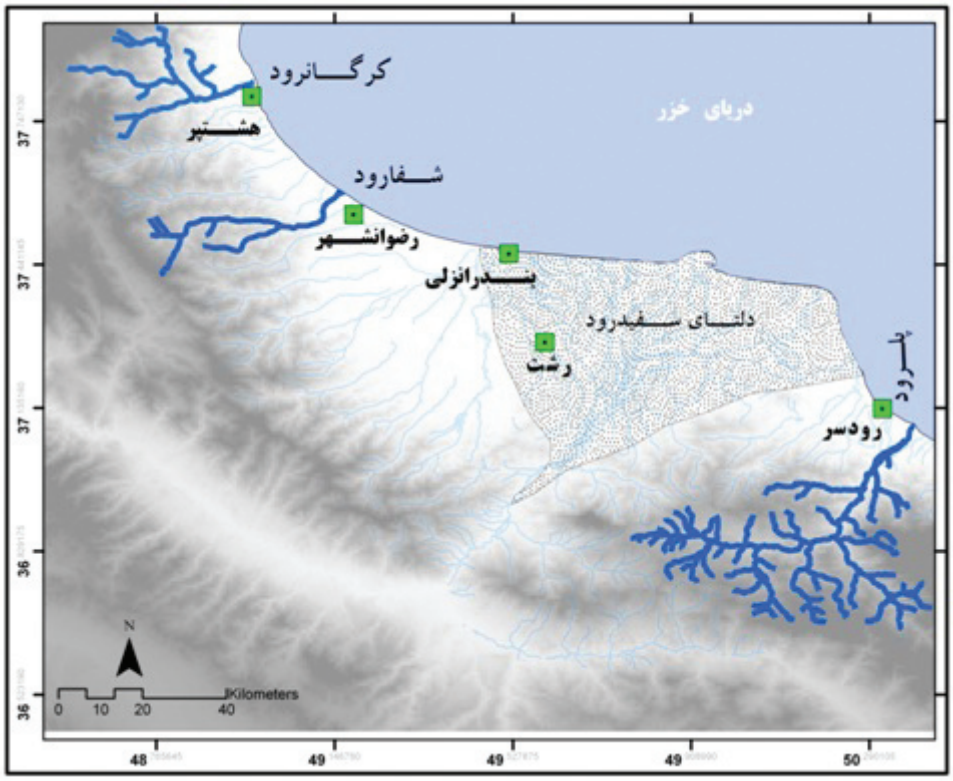
بحث قرار گرفته است. همچنین در مورد نقش تغییرات سطح اساس در روند فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه‌ها نیز مطالعات موردی در سطح جهان به‌خصوص مناطقی با حرکات نوزمین‌ساخت فعال، صورت گرفته است. از جمله آنها می‌توان به تحقیقات Schumm (1993) اشاره کرد که پاسخ رود را به تأثیرات سنگ شناختی و چینه‌شناختی و نیز ارتباط آنها را با تغییرات سطح اساس بررسی کرده است. Sloss (1991), Galloway (1989), Mial (1986)، در زمینه نقش تغییرات اقلیمی و زمین‌ساختی در برهم زدن توالی و نظم رسوب‌گذاری و دشوار نمودن مطالعه روند چینه شناسی، تحقیقاتی انجام داده‌اند. پژوهشگران بسیاری در ارتباط با الگوی آبراهه‌ها و جنبش‌های زمین‌ساختی پژوهش کرده‌اند که به عنوان مثال می‌توان Eilertsen and Hansen (2005) و Aleksey et al. (1995) را نام برد. پیامد بیشتر این بررسی‌ها تأیید کننده این حقیقت است که عواملی همچون زمین‌ساخت، آب و هوا و ویژگی‌های سنگ شناختی، بر الگوی آبراهه‌ها تأثیرگذارهستند. در زمینه نقش تغییرات سطح اساس در زمین‌ریخت‌شناسی بستر رودخانه‌های ایران، کار چندانی صورت نگرفته است و این امر شامل مناطق مورد مطالعه نیز می‌شود. تنها در مواردی به صورت جداگانه، به علل نوسانات سطح آب دریای خزر و وجود زمین‌ساخت فعال از یک دیدگاه عمومی پرداخته شده است. برای مثال می‌توان به: بررسی‌های زمین‌شناسی کواترنری در کرانه‌های دریای خزر با عنوان "گزارش زمین‌شناسی کواترنری کرانه دریای خزر" اشاره کرد که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور در سال ۱۳۷۳ (گزارش شصتم) انجام شده است و در تحقیقاتی دیگر نیز Berberian (1983), Berberian et al. (1992), Priestley et al. (1994) به بررسی گسل‌های جنوب حوضه خزر پرداخته و سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های این بخش و همچنین کوتاه‌شدگی پوسته رشته‌کوه البرز را بررسی کرده‌اند. همین‌طور تأثیر زمین‌ساخت بر حوضه‌های آبریز دریای خزر توسط نفریه (۱۳۸۴)، در قالب پایان‌نامه به بررسی نیمرخ‌های رسم شده از چهار بخش البرز بررسی شده که معلوم شد میزان حفرشدگی، گسترش رودخانه‌ها، طول رودخانه‌ها و شیب دامنه در دامنه‌های شمالی البرز بیشتر از دامنه‌های جنوبی آن است. از کارهای دیگر در این حوضه، می‌توان به تحقیقات قاسمی (۱۳۷۹) اشاره کرد که به تأثیر صفحه خزری بر زمین‌ساخت البرز پرداخته است. همینطور لاهیجانی (۱۳۸۲) به بررسی تأثیر نوسان تراز آب دریای خزر بر اکوسیستم‌های ساحلی پرداخته و تغییرات بلندمدت سطح خزر را بر اساس شواهد و مدارک موجود پیش بینی کرده است. یمانی و همکاران (۱۳۸۵) با مطالعه موردی بر روی رودخانه‌های تالار و بابل به تأثیر تغییرات اقلیمی، زمین‌ساختی و دینامیکی و نیز اثر انسان بر روی مشخصات هندسی رودخانه‌های جلگه ساحلی خزر پرداخته و نتیجه گرفته‌اند که فعالیت‌های انسانی بیشتر و سریع‌تر از دیگر عوامل تأثیرگذار است.

از جمله کارهایی که در سال‌های اخیر بر روی رژیم تغییرات سطح آب دریای خزر یا خطوط ساحلی آن انجام گرفته است می‌توان به تحقیق Leroy et al. (2007) اشاره کرد. ایشان با تهیه گمانه‌های[1] با عمق بیش از ۱۰ متر از بخش‌های جنوبی دریای خزر و مصب رودخانه‌ها درجه شوری دریای خزر طی ۵۵۰۰ را بررسی کرده‌اند. در این پژوهش، همچنین از طریق نمونه‌های برداشت شده به‌وسیله مقاطع گمانه‌ها و با روش‌های گرده‌شناسی[2] و نیز تعیین سن نمونه‌ها، شرایط اقلیمی حاکم بر دریای خزر در این دوره بررسی شده است. Kroonenberg et al. (1997) نیز به بررسی تغییرات سطح آب دریای خزر از طریق آثار و شواهد خطوط ساحلی گذشته و از روی سدهای ماسه‌ای و لاگون‌های تشکیل شده در پشت آنها پرداخته و از این راه، منحنی تغییرات جدید سطح آب دریای خزر را رسم کرده است. Allyev (2010) طی مقاله‌ای از طریق استفاده از تعدادی مقطع از خط ساحلی کشور آذربایجان و سپس اندازه‌گیری‌های GPS دو بسامدی، تغییرات خط ساحلی را از طریق آثار خطوط ساحلی گذشته در مکان‌های یادشده بررسی کرده و طی آن آخرین تغییرات و به‌ویژه تغییرات ناگهانی و سریع آن را برآورد کرده است. دینامیک دریای خزر در دوره هولوسن و نقش آن در تغییرات خط ساحلی محدوده ساحلی خاور دریای خزر را نیز عبدالهی (۱۳۸۵) با استفاده از نمونه‌برداری عمقی از پادگانه‌های ساحلی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای بررسی کرده است. وی پنج چرخه بلندمدت دریای خزر را شناسایی کرده و به این نتیجه می‌رسد که اولین افزایش تراز آب در ۸۸۰۰ سال پیش اتفاق افتاده و بین تغییرات تراز آب و گرم شدن جهانی کره زمین همبستگی وجود دارد.

در این پژوهش، رودخانه‌های مهم محدوده دلتای سفیدرود از جمله: پُلرود در خاور دلتا و رودخانه‌های شفارود و کرگانرود در باختر دلتای سفیدرود، به عنوان مطالعه موردی و با هدف بررسی اثر تغییرات سطح اساس بر روی بستر و مصب آنها مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱). بررسی‌های مقدماتی نشان می‌دهد که اختلافات موجود در ریخت‌سنجی بستر رودخانه‌های مورد بررسی، نتیجه عملکرد متفاوت زمین‌ساخت از خاور خط ساحلی به سوی باختر و نیز تغییرات سطح آب دریای خزر است و این موضوع، فرضیه تحقیق را تشکیل داده است. مقایسه مقدماتی الگوو نیمرخ‌طولی و عرضی کانال رودخانه‌های مورد مطالعه و بررسی عکس‌های هوایی دوره‌های مختلف نشان‌دهنده وجود تفاوت‌های زیادی در ریخت‌شناسی کانال‌ها و پارامترهای یادشده در خاور دلتای سفید رود نسبت به باختر آن است. همچنین به نظر می‌رسد که، عمق بستر آبراهه‌ها در سطح جلگه ساحلی از خاور به باختر افزایش می‌یابد، با توجه به این نکته که طول کانال آنها یکسان نیست. در این میان، مهم‌ترین پدیده، عمیق شدن بستر رودها در محل خط ساحلی است که به نظر می‌رسد نتیجه تغییرات کنونی سطح آب دریای خزر در کوتاه مدت باشد.

1. Corer
2. Palynology

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱- موقعیت رودهای مورد مطالعه در استان گیلان

داده‌ها و روش‌ها

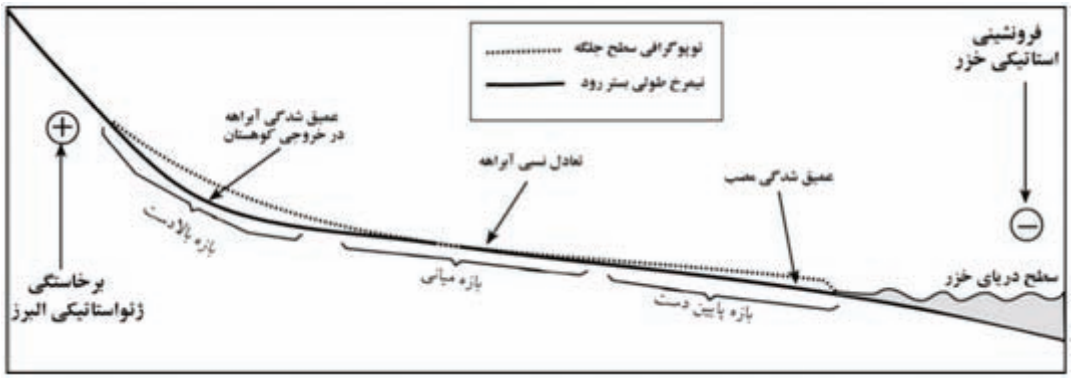
به طور کلی این پژوهش برپایه یک روش مقایسه‌ای و تحلیلی استوار است. ابزارهای فیزیکی این تحقیق را تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و نیز نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی تشکیل می‌دهند. برای بررسی ویژگی‌های ریخت‌سنجی و اندازه‌گیری بستر آبراهه‌ها از محل خط تغییر شیب پایکوهی تا خط ساحلی از داده‌های هندسی استفاده شده است. همچنین طی کارهای میدانی، علاوه بر مشاهده مستقیم شکل‌های سطح زمین و تطبیق یافته‌ها با داده‌های زمینی با استفاده از GPS محل برداشت نیمرخ‌های عرضی آبراهه‌ها با فاصله مکانی ثابت، تعیین و موقعیت آنها بر روی نقشه‌های رقومی‌شده رودخانه‌های مورد مطالعه انطباق داده شده است. سپس با مراجعه به محل نیمرخ‌های تعیین شده، داده‌های عرضی و ارتفاعی برداشت شده است. به طور میانگین، برای هر رودخانه به صورت مجزا، ۱۰ مقطع عرضی برداشت شده و در مرحله بعد داده‌های برداشت شده به محیط AutoCAD منتقل و براساس یک مقیاس واحد و به صورت متریک خطوط نیمرخ‌های عرضی رسم شده‌اند. برای رسم نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های مورد مطالعه در محیط نرم افزاری (ArcGIS9.3) از لایه DEM، ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی در قسمت 3D Analyst و از دستور Interpolate Line و Create profile Graph استفاده شده است. لایه‌های رقومی ارتفاعی ابتدا در یک پرونده مشترک ذخیره و سپس نیمرخ‌های حاصل در یک نمودار مشترک به صورت سوپرایمپوزه ترکیب شده‌اند (شکل ۱۴). در نهایت نیمرخ‌های مذکور با دیگر داده‌های محیطی و شواهد به دست آمده در بررسی‌های میدانی با بعد مکانی یکسان تطبیق داده شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در نهایت با تفکیک طول آبراهه به سه بازه مشخص، تفاوت‌های موجود در هر بازه با استناد به مبانی نظری تحلیل و نتیجه‌گیری شده است.

بحث و تحلیل

بالا آمدن سطح آب دریا، موجب پیشروی آن به سمت خشکی شده و مکان رسوب‌گذاری رودخانه‌ها را در محل مصب به بالادست منتقل می‌کند. از طرفی، پسروی خط ساحلی باعث فروسایی و رسوب‌برداری زیرلایه آبرفتی و حفر پسرونده آبراهه می‌شود (Winkley, 1977). فراخاست تدریجی سطح خشکی باعث می‌شود که سطح اساس رودخانه‌ها نسبت به حالت تعادلی اولیه خود پایین رفته و حفر بیشتری در حوضه‌ها صورت گیرد. شکل ۲، نیمرخ طولی سه بخش یک رودخانه الگو را به صورت نمایشی نشان می‌دهد.

افت سطح اساس حاصل از فعالیت یک گسل فعال، موجب افزایش شتاب فروسایی در بالادست و انباشتگی ضخیم رسوبات در پایین دست می‌شود (William and Bull, 2007). البرز در اواخر ترشیاری، فعالیت زیادی داشته و ارتفاع آن به‌تدریج افزایش یافته است. در همین حال، رودخانه‌ها متناسب با هر مرحله برخاستن البرز، بستر خود را بیشتر حفر کرده‌اند، اثر آن به صورت پادگانه در کنار رودخانه‌ها باقی مانده است. بررسی لایه‌های رسوبی پادگانه‌های رودهای پلرود، شفارود و کرگانرود و وجود تناوب لایه‌های رسوبی درشت دانه با منشأ رودخانه‌ای و

Archive of SID
www.SID.ir

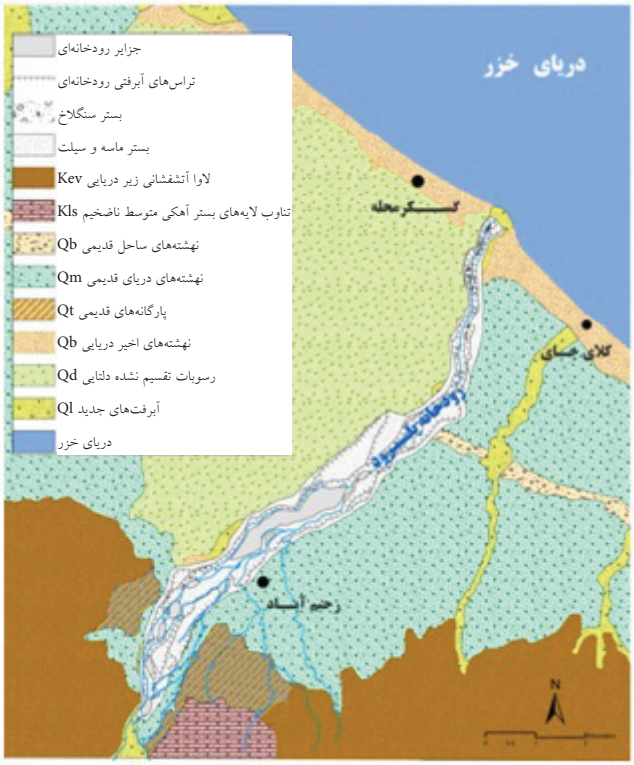


شکل ۲- نیمرخ طولی نمایشی و بدون مقیاس از سه بخش یک رودخانه الگو برای نشان دادن چگونگی تأثیرگذاری تغییرات سطح اساس و حفر آبراهه در دو بخش خروجی کوهستان و محدوده ساحلی.

بافت ریزدانه ماسه‌ای حاوی پوسته‌های صدف، نشانگر پیشروی و پسروی متناوب خط ساحلی است. با توجه به شواهد موجود در محدوده مورد مطالعه و با توجه به عملکرد همزمان پارامترهای مؤثر در تغییر سطح اساس، یعنی فراخاست زمین‌ساختی البرز و تغییرات اقلیمی، شرایط پیچیده‌ای را در سطح جلگه از لحاظ رسوب‌گذاری و تغییرات ریخت‌شناسی کانال رودها به‌وجود آورده است. شواهد زمین‌ریخت‌شناسی مانند پادگانه‌های قدیمی دریایی موجود در دامنه‌های البرز و در بخش‌های مسلط به جلگه ساحلی خزر نشان می‌دهند که در دوره‌های گذشته و بین یخبندان، سطح آب دریای خزر بسیار بالاتر از حد کنونی بوده است. بدیهی است همزمان با فراخاست البرز این پادگانه‌های دریایی نیز ارتفاع یافته‌اند. در اوایل کواترنری، بر اثر یخبندان، سطح دریاها پایین رفت و رودخانه‌ها قسمت پایین دست خود را بیشتر حفر کردند. در دوره‌های بین‌یخبندان، ذوب یخ‌ها سطح دریاها را بالا آورده و حفر رودخانه در قسمت پایین دست متوقف و عمل تخریب در قسمت بالادست تشدید شد (معتمد،۱۳۸۲). بنابراین، ارتفاع کنونی پادگانه‌های دریایی، مکان رسوب‌گذاری آنها نبوده و به مرور زمان بر اثر فراخاست البرز از دریا فاصله گرفته‌و به سطوح کنونی رسیده است. آثار نهشته‌های پادگانه‌های دریایی در بالادست جلگه ساحلی و محل خروجی دره‌های پلرود و کرگانرود به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۳).

تأثیر حرکات زمین‌ساختی و تغییرات اقلیمی

فراخاست البرز، باعث افزایش ارتفاع حوضه‌های آبریز، افزایش



شکل ۳- زمین‌شناسی منطقه پلرود که در آن پادگانه‌های قدیمی مشخص شده‌اند

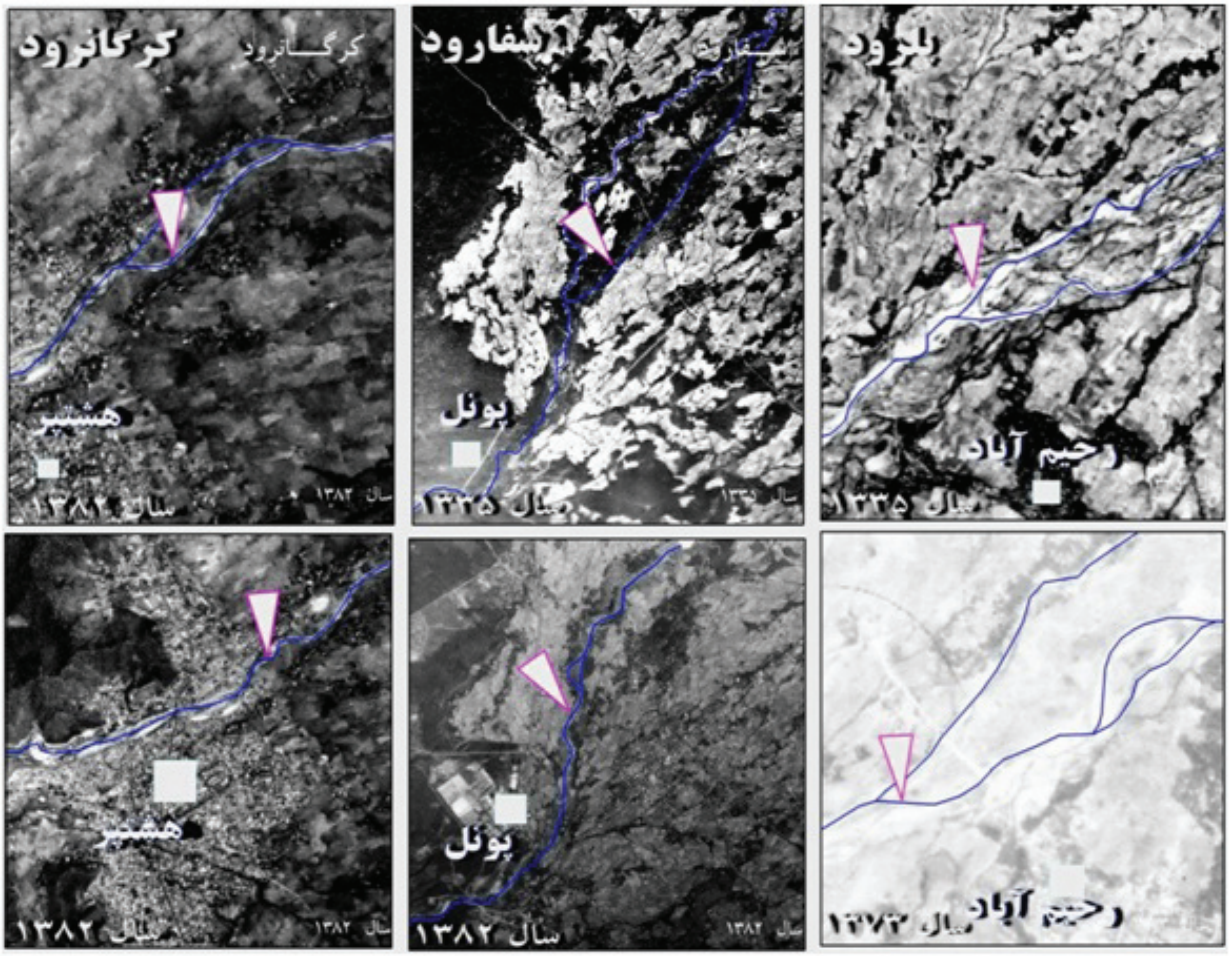
Archive of SID
www.SID.ir

شیب بستر و در پی آن، افزایش عمق کانال رودخانه‌ها می‌شود. به‌گونه‌ای که آن قسمت از بازه رودخانه که از اثرات مستقیم پیشروی و پسروی آب دریا به دور مانده‌اند، بستر خود را به طور مستمر (تا عمق ۵ تا ۸ متری) حفر کرده و به لایه‌های لُسی زیرین برسند. لایه‌های رسوبی لسی، لایه‌های زیرین سطح جلگه را قبل از تأثیرات دینامیکی رودخانه‌ها و نوسانات آب دریای خزر، تشکیل داده‌است. این رسوبات معمولا به رنگ زرد مایل به خاکستری بوده و ۷۰ تا ۹۰ درصد مواد تشکیل دهنده آن سیلت است؛ بر اساس نظریات موجود رسوبات لُس در دوره‌های بین‌یخچالی از نواحی شمالی دریای خزر به وسیله باد به این محل حمل و ته‌نشین شده و سپس در دوره بین‌یخبندان توسط رسوبات آبرفتی- دلتایی پوشیده شده‌اند (درویش زاده و همکاران، ۱۳۵۸). بررسی‌ها نشان می‌دهد که محل‌رخنمون رسوبات لُسی تا حدودی با مرز فعالیت‌های زمین‌ساختی و تغییرات تراز آب دریای خزر انطباق دارد. همچنین تطبیق عکس‌های هوایی قدیم و جدید مناطق مورد مطالعه (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۳۵و ۱۳۸۲) و همین‌طور بازدیدهای میدانی تا حد زیادی نشان می‌دهد که موقعیت رخنمون این نهشته‌ها نیز با محل‌انحراف مسیر کانال رودخانه‌ها انطباق دارد (شکل ۴).

الگوی کانال رودخانه‌ها

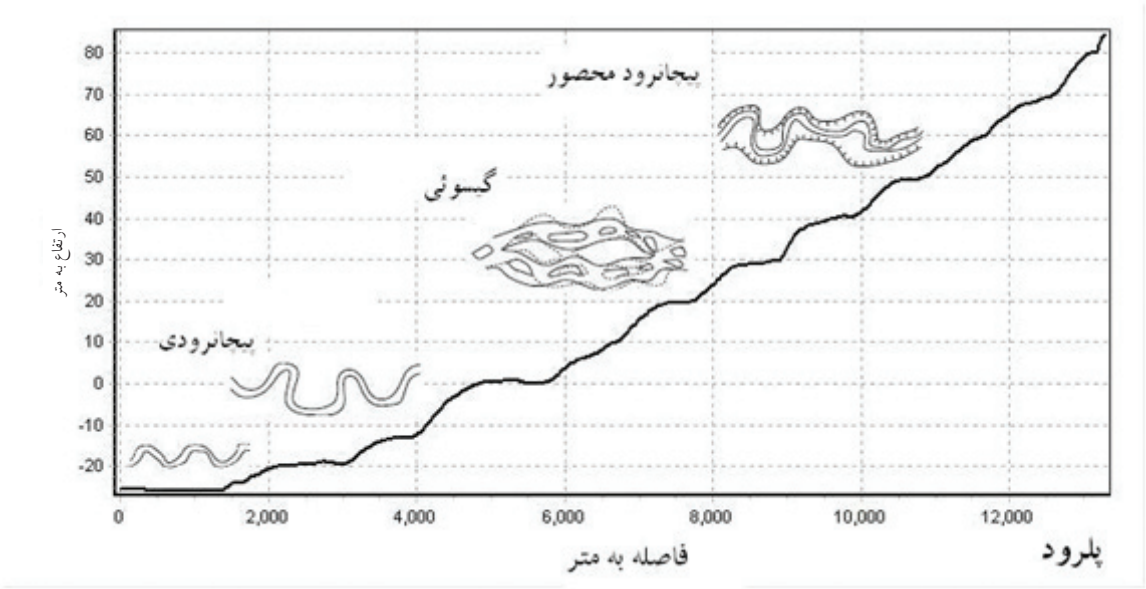
به طور کلی رودخانه‌هایی که از پهنه‌های در حال فراخاست زمین‌ساختی می‌گذرند، کانال‌های خود را به طور عمیق حفر می‌کنند و در پایین دست، الگویی گیسویی را شکل می‌دهند. افزایش شیب بستر رودخانه سبب افزایش پیچش می‌شود. به عبارت دیگر، زمانی که در پهنه‌ای فراخاست رخ می‌دهد، رودخانه در بالادست این پهنه فراخاسته، حالت گیسویی و در پایین دست، افزایش پیچش خواهد داشت. در چنین حالتی، برش طولی رودخانه، کوژ شدگی نشان می‌دهد (Ouchi, 1985). رودخانه پلرود نمونه‌ای از این حالت است (شکل ۵). رودهایی که در مصب فرونشینی شدید دارند، در بالادست حفرشدگی عمیق داشته و رسوب‌گذاری در آنها به بخش‌های پایین‌تر منتقل می‌شود. این رودها معمولا در نزدیکی مصب، الگوی‌های گیسویی و رودپیچی (مآندری) را تشکیل می‌دهند که از جمله آنها رودخانه‌های شفارود و کرگانرود را می‌توان نام برد (به ترتیب شکل‌های ۶ و ۷)که در بخش باختری گودال جنوبی دریای خزر واقع شده‌اند.

با استناد به مبانی نظری، تغییرات اقلیمی تأثیرات متفاوتی می‌تواند بر سامانه رودخانه‌ای داشته باشد. به طور مثال، تغییر اقلیم از مرطوب به نیمه خشک یا به شدت فصلی، بالاترین



شکل ۴- محل تقسیم آبراهه‌رودخانه‌های مورد مطالعه در بازه میانی

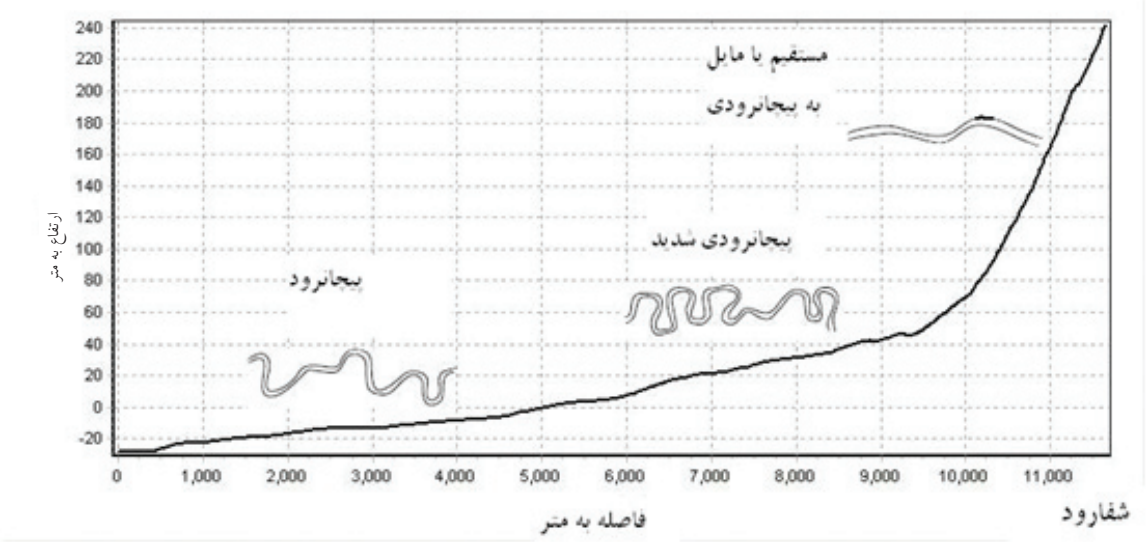
www.SID.ir



شکل ۵- ارتباط الگو و دینامیک رود با نیمرخ دره کانال با توجه به تغییرات شیب (نیمرخ طی کار میدانی با GPS رسم شده است).

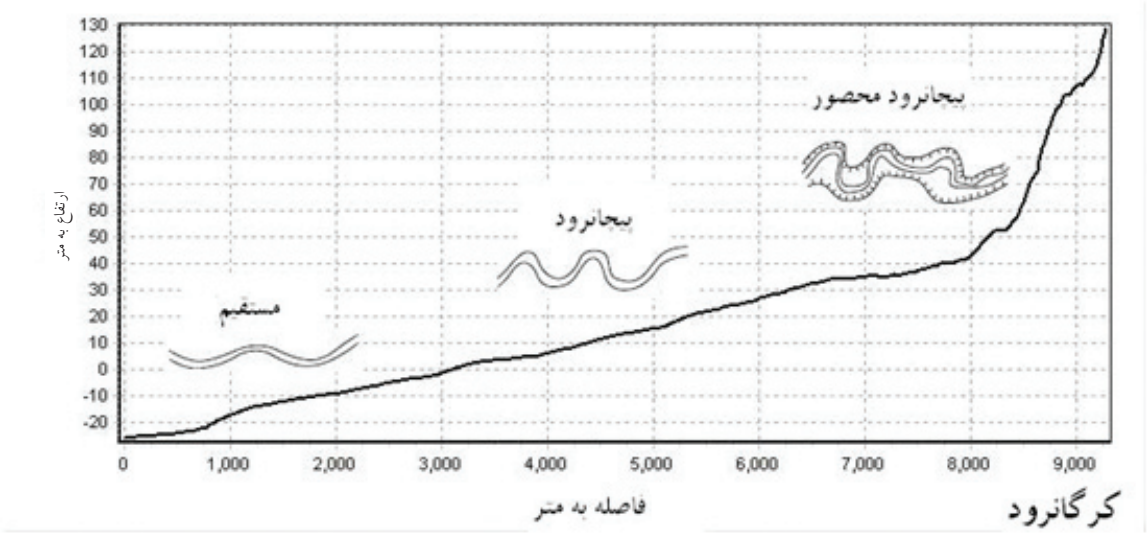
افزایش بار رسوبی را خواهد داشت. امّا تغییر اقلیم از مرطوب به نیمه‌مرطوب یا خیلی مرطوب، ممکن است اثر کمتری در تغییرات دبی رسوب داشته باشد. از سوی دیگر، تغییرات اقلیمی مرطوب به خشک، عمل رسوب‌دهی را به شدت کاهش می‌دهد. (Lang-bin and Schumm, 1958). آنچه مسلم است، تغییرات اقلیمی بسیار سریع‌تر از زمین‌ساخت و تغییر سطح اساس ناشی از آن روی می‌دهند. بنابراین، پاسخ رود نیز به همان نسبت سریع‌تر است (شکل ۸). تغییرات سطح اساس می‌تواند مسافت زیادی تا بالادست رودخانه را تحت تأثیر قرار دهد، در صورتی که تغییر اقلیم می‌تواند بر روی کل سامانه آبراهه اثر گذار باشد (Stanley and Schumm, 2005).

ناگفته نماند که عوامل مؤثر در تغییر سطح اساس و زمین ریخت‌شناسی بستر رودخانه‌ها، به طور مستقیم و غیرمستقیم بر یکدیگر نیز اثر می‌گذارند. این خود باعث پیچیده‌تر شدن تأثیرگذاری هر یک از آنها در سامانه رودخانه‌ای می‌شود. اما نکته قابل تأمل آن است که روند فراخاست البرز، همیشه یک سیر صعودی داشته ولی تراز آب دریا که سطح اساس رودهای منتهی به آن را تشکیل می‌دهد، همیشه در حال نوسان بوده است (شکل‌های ۹، ۱۰ و ۱۱). یعنی در دوره‌های مختلف زمانی، پیشروی‌ها و پسروی‌های متعددی را تجربه کرده است. بررسی تغییرات تراز آب در ۱۰۰۰۰ سال گذشته نشان می‌دهد که دامنه نوسانات حدود ۱۵ متر (یعنی از ۲۰- متر تا ۳۵- متر) بوده است. علت بالا آمدن تراز آب همانند پایین رفتن آن، همچنان نامعلوم باقی مانده است. عده‌ای حرکات زمین‌ساختی را موثر دانسته و عده‌ای نیز آن را نتیجه دخالت‌های انسانی و مدیریت رودخانه ولگا می‌دانند. گروه سوم بر این باورند که این پدیده نتیجه



شکل ۶- ارتباط الگو و دینامیک رود با نیمرخ دره کانال با توجه به تغییرات شیب (نیمرخ طی کار میدانی با GPS رسم شده است).

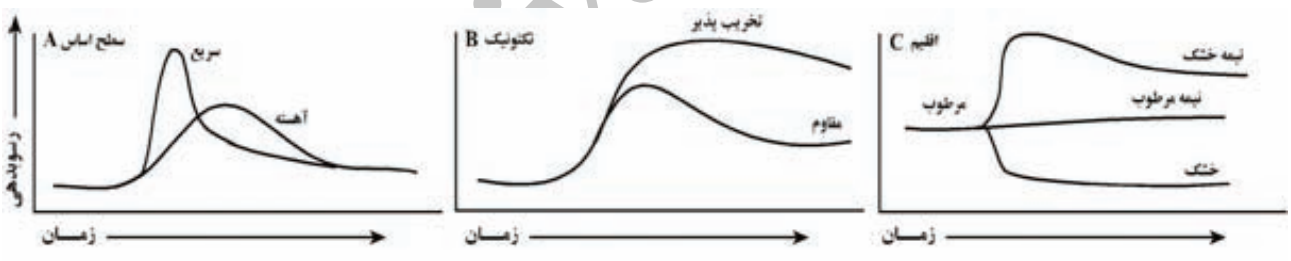
www.SID.ir



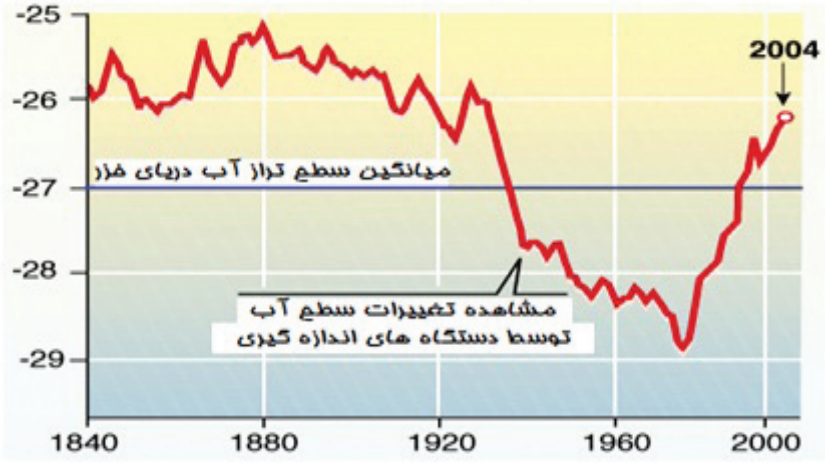
شکل ۷- ارتباط الگو و دینامیک رود با نیمرخ دره کانال با توجه به تغییرات شیب (نیمرخ طی کار میدانی با GPS رسم شده است).

تغییرات اقلیمی است (خوش‌رفتار، ۱۳۸۴).

صرف‌نظر از علل نوسان آب دریای خزر، خط ساحلی با هر بار پیشروی و پسروی، رفتار و الگوی کانال‌های رودخانه‌های منتهی به آن را دچار تغییر و تحول می‌سازد. میزان این تأثیرگذاری بسته به شرایط کانال متفاوت است و کانال‌ها می‌توانند با توجه به خصوصیات خود در برابر این تغییرات، واکنش‌های متفاوتی نشان دهند. برای مثال، رودخانه پلرود با بستری پهن و پادگانه‌های با بافت سُست، به شدت در برابر تغییرات تراز آب دریا ناپایدار است. به همین دلیل، اثرات تغییر سطح اساس در زمان‌های کوتاه به قسمت‌های بالادست حوضه منتقل نمی‌شود، بلکه صرف تعریض، حفر و رسوب‌گذاری در بستر و فرسایش دیواره‌ها در محدوده جلگه ساحلی و بخش‌های نزدیک کرانه می‌شود. رخنمون سازند لس در بستر و کناره رودخانه‌های مورد بررسی، نشان از تداوم حفر بستر در این بازه‌ها دارد. در صورتی که در بالادست جلگه ساحلی، رسوبات لس در زیر پوشش رسوبات آبرفتی دلتایی قرار گرفته است. به طور نمونه، در نزدیکی روستای رحیم آباد،

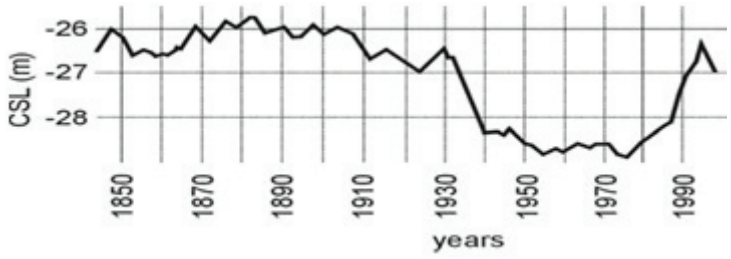


شکل ۸- تغییر مقدار حمل رسوب به ساحل در ارتباط با تغییرات اقلیمی، زمین‌ساخت و سطح اساس (Stanley and Schumm, 2005).



شکل ۹- تغییرات سطح آب خزر در ۴۰۰ هزار سال گذشته (لاهیجانی، ۱۳۸۲)

www.SID.ir



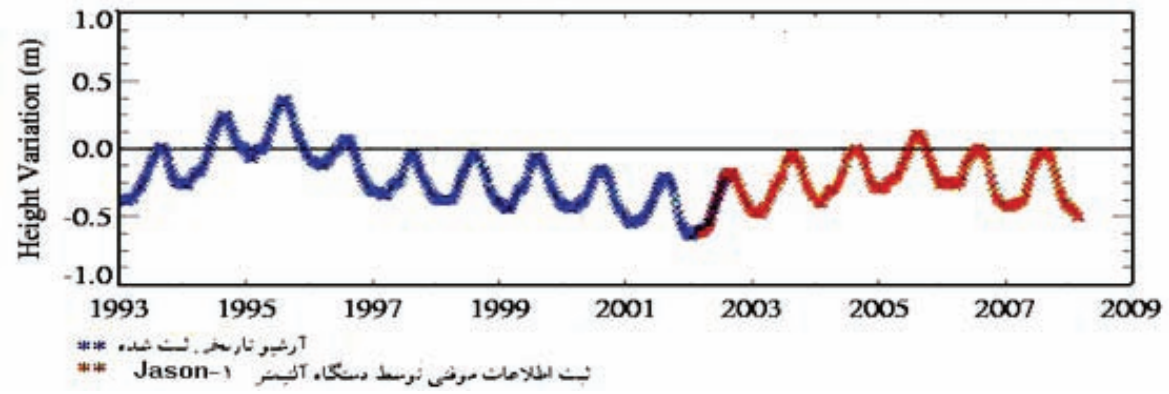
شکل ۱۰- منحنی تغییرات سطح آب دریای خزر در طی اندازه‌گیری‌های دستگاهی در دو سدهٔ اخیر (پالوسکا و دگنز، ۱۳۷۱)

رودخانه پلرود با ایجاد الگوی گیسویی به دو شاخه تقسیم شده است، اما پس از چهار کیلومتر، از الگوی گیسویی به رودپیچی تغییر می‌یابد. در نقطه تقسیم شبکه، لس در بستر رخنمون دارد و از حوالی روستای لیمنجوب سفلی، کانال رودخانه از راستای جنوب باختر به شمال خاور به راستای شمالی- جنوبی تغییر مسیر می‌دهد. به نظر می‌رسد این تغییر مسیر ناگهانی در بازه میانی، بیشتر ناشی ازکاهش شیب، پایداری نسبی بستر و تغییرات سطح تراز آب دریای خزر باشد (شکل ۱۲). چنانچه روند پیشروی و پسروی دریای خزر را دنبال کنیم (شکل‌های ۵، ۶ و۷) در می‌یابیم که از سال ۱۳۷۳، سطح دریا فرونشینی داشته و پسروی خط ساحلی موجب افزایش شیب کانال اصلی شده است. بدیهی است افزایش شیب نه تنها افزایش قدرت جریان و انتقال مواد رسوبی را تضمین می‌کند بلکه حفر کانال، افزایش ضریب خمیدگی رودپیچ‌ها و تغییر مسیرهای ناگهانی را نیز سرعت می‌دهد.

با توجه به عکس‌های هوایی در فواصل زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۲ و بازدیدهای صحرایی و نیزریخت‌سنجی کانال رودخانه‌های مورد مطالعه و همچنین با استناد به نقشه‌های رقومی ۲۵ ۰۰۰ :۱ توپوگرافی، نمودارهای پسروی و پیشروی آب دریای خزر در مجموع، از بین عوامل مؤثر بر ریخت‌شناسی بستر رودخانه‌ها، دو عامل اصلی یعنی زمین‌ساخت فعال (فراخاست البرز) و نیز تغییرات سطح آب دریای خزر، نقش تعیین‌کننده‌تری را در تغییرات زمین‌ریخت‌شناسی بستر رودخانه‌ها داشته‌اند، اما گسترهٔ عملکرد و تأثیرگذاری متفاوتی دارند. در این میان، فعالیت‌های انسانی در مدیریت بستر رودها و نیز برداشت شن و ماسه به‌ویژه در چند دهه اخیر به عنوان عامل سوم تأثیر فزاینده‌ای داشته است.

تلفیق داده‌های به دست آمده از نقشه‌های بزرگ مقیاس توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر رودهای مورد مطالعه و بررسی تغییرات دوره‌ای آنها، و سپس انطباق الگوی آنها با شاخص‌های کمی نشان می‌دهد که کانال رودهای مذکور الگوهای تقریباً مشابهی دارند، یعنی هر کدام از آنها به محض خروج از کوهستان و در بازه بالادست خود الگوی رودپیچی دارند و پس از طی مسافتی میانگین حدود ۵ کیلومتر، یعنی در بازه میانی، در نتیجه کاهش شیب، تغییر الگو می‌دهند (شکل‌های ۵، ۶ و۷). به همین دلیل است که در بازه میانی، به دو شاخه اصلی و فرعی تقسیم شده و پس از رسیدن به بازه پایین دست، مجددا به هم می‌پیوندند. از سوی دیگر با مقایسه زمانی مسیر آبراهه‌ها (۱۳۳۵-۱۳۸۳) و نیمرخ‌های عرضی برداشت شده، مشخص گردید که رودخانه شفارود بستر خود را عمیق‌تر حفر کرده است، زیرا در طول نیمرخ طولی رودخانه، آثار و شواهد لایه‌های لسی بیشتر به چشم می‌خورد، ولی در رودخانه‌های دیگر، این امر به صورت انقطاع و انحراف کانال و نیز تمرکز جریان دیده می‌شود. هر سه رودخانه پس از تقسیم شدن در فاصله حدود ۲/۵ کیلومتری خط ساحلی، یعنی انتهای بازه میانی بار دیگر به‌هم می‌پیوندند و پس از آن، طرح کانال دوباره به صورت رودپیچی درمی‌آید. البته این موضوع برای کانال رودخانه کرگانرود به صورت کامل وجود نداشته و الگوی آن تا خط ساحلی تقریبا مستقیم است.

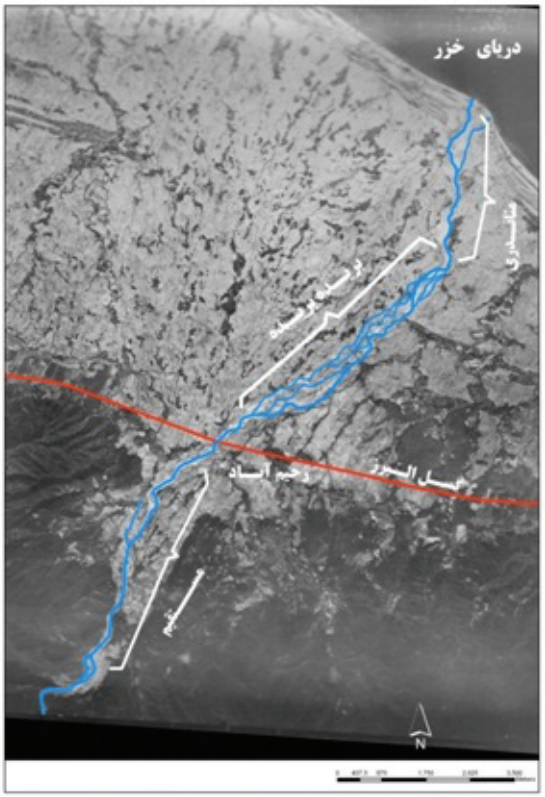
لازم به ذکر است که در هر سه رودخانه، حفر شدگی رخنمون لس در پایین دست آبراهه به طور کلی نشان از پسروی خط



شکل ۱۱- منحنی تغییرات سطح آب دریای خزر در دو دههٔ اخیر[1]

1. www.caspage.citg.tudelft.nl

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۲- سه نوع الگوی متفاوت در مسیر آبراهه پلرود در محدوده جلگه ساحلی (عکس هوایی سال ۱۳۳۵).

ساحلی طی کواترنری و نیز فراخاست زمین‌ساختی بالادست آبراهه است (شکل ۱۳). با توجه به این مسئله، در سال‌های اخیر افزایش برداشت شن و ماسه از پایین دست رودخانه‌ها، نه تنها در عمیق شدگی بازه میانی نقش داشته است، بلکه به نظر می‌رسد در تغییر الگوی آنها نیز تأثیرگذار بوده است. با این وجود، عمیق شدگی آبراهه در پایین دست بازه انتهایی رودخانه و محدوده خط ساحلی، عمدتاً نتیجه تغییر سطح اساس آنها است.

داده‌های ژئودینامیکی

بررسی ضریب خمیدگی کانال‌های مورد بررسی که از روش SL به‌دست آمده، نشان می‌دهد که این خمیدگی‌ها (پیچش‌ها) از سمت خاور دلتا به سمت باختر و شمال‌باختر کاهش می‌یابد (جدول ۱). از این‌رو با توجه به مسائل ذکر شده و شرایط مرفودینامیکی تقریبا یکسان در رودهای مورد مطالعه به نظر می‌رسد اختلاف تأثیرات زمین‌ساختی در تغییر الگوی رودهای مورد مطالعه تأثیرگذار باشد.

جدول۱- مقایسه ضرایب خمیدگی رودخانه‌های مورد مطالعه

رودخانه	پلرود	شفارود	کرگانرود
ضریب پیچش	۱/۰۹	۱/۱۵	۱/۱۳

شفارود در مصب خود عمیق‌شدگی قابل توجهی نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های ژئودینامیک، به احتمال زیاد این عمیق‌شدگی نتیجه فرونشینی زمین‌ساختی در محدوده بندرانزلی یعنی پایین دست است. یکی از دلایل این فرونشینی، حفر عمیق رسوبات زیرین لسی در این رودخانه است (شکل ۱۶). به باور محققان روسی (پالوسکا و دگنز، ۱۳۷۱) این فرونشینی زمین‌ساختی باعث به‌وجود آمدن مرداب انزلی نیز شده است و میزان آن نیز توسط داده‌های ایستگاه‌های ژئودینامیکی۱ ثبت شده است. شکل ۱۴ موقعیت حوضه‌های فرونشینی و بخش‌های بالا آمده را در طول ساحل خزر با استناد به داده های مذکور نشان می‌دهد. این موضوع تا حدود زیادی این نظریه را به‌ویژه در محدوده کرگانرود اثبات می‌کند (شکل ۱۵).

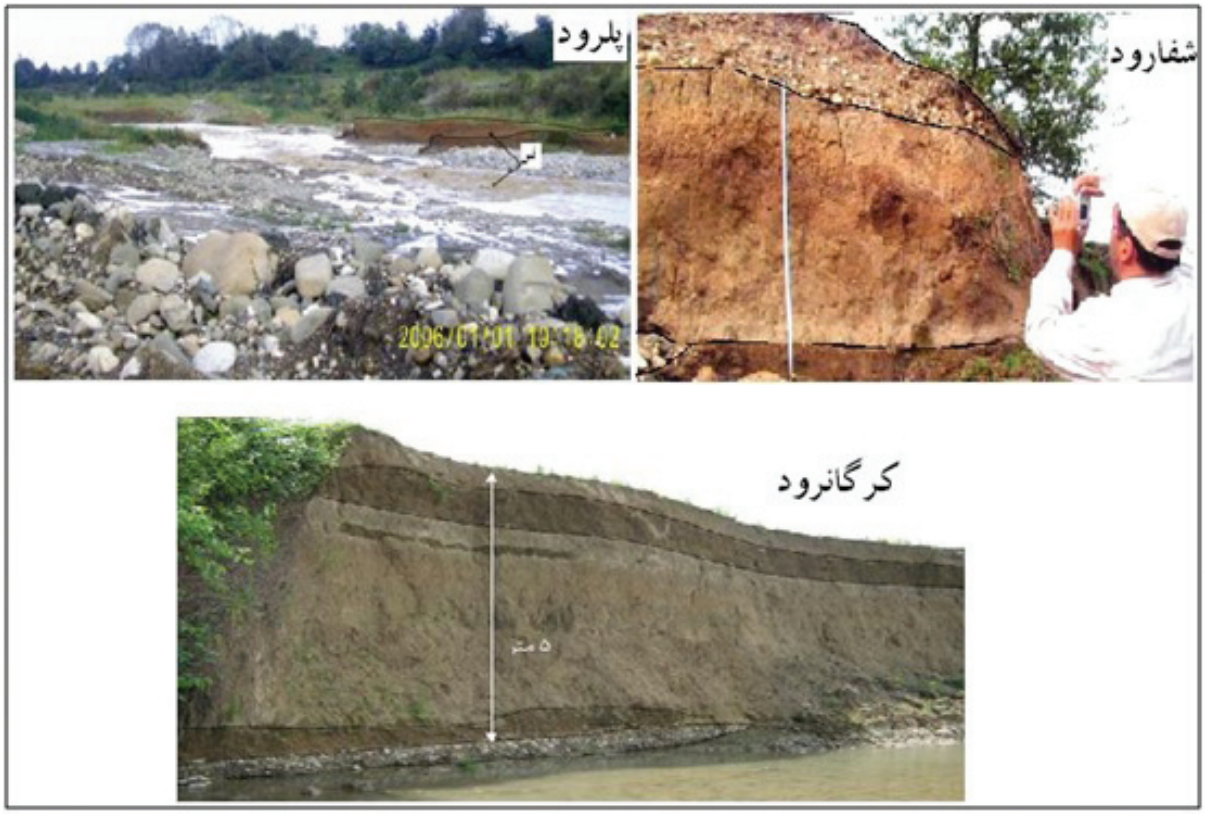
ارتباط تأثیر تغییرات سطح اساس و نیمرخ طولی رودها

بررسی داده‌های ژئودینامیک و تلفیق آن با داده‌های دینامیکی رودخانه‌ها و نیز بررسی سازوکار گسل تالش، حکایت از آن دارد که عمیق‌تر بودن بستر رودخانه‌های شفارود و کرگانرود، نتیجه افزایش شیب آبراهه بر اثر عوامل مورد اشاره است. فرونشینی سریع بستر همراه با ته‌نشست رسوبات از شواهد روشن این فرایند است (وزرات نیرو، ۱۳۷۶).

مقایسه نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های مورد مطالعه در فاصله یک کیلومتری خط ساحلی، عمیق‌شدگی مشخصی را در آنها

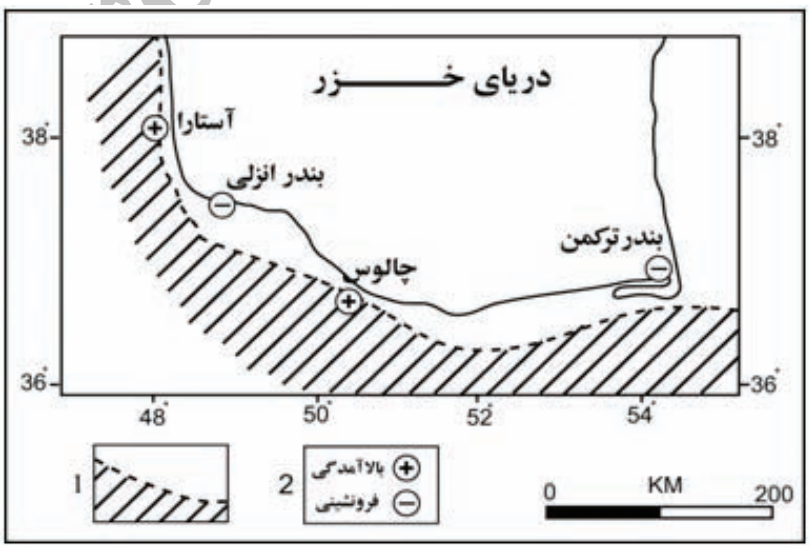
۱. تغییرات افقی و عمودی سطح زمین در مناطق مختلف کشور توسط دستگاه‌های دقیق GPS (دو بسامدی) توسط سازمان نقشه‌برداری کشور اندازه‌گیری می‌شود.

Archive of SID
www.SID.ir



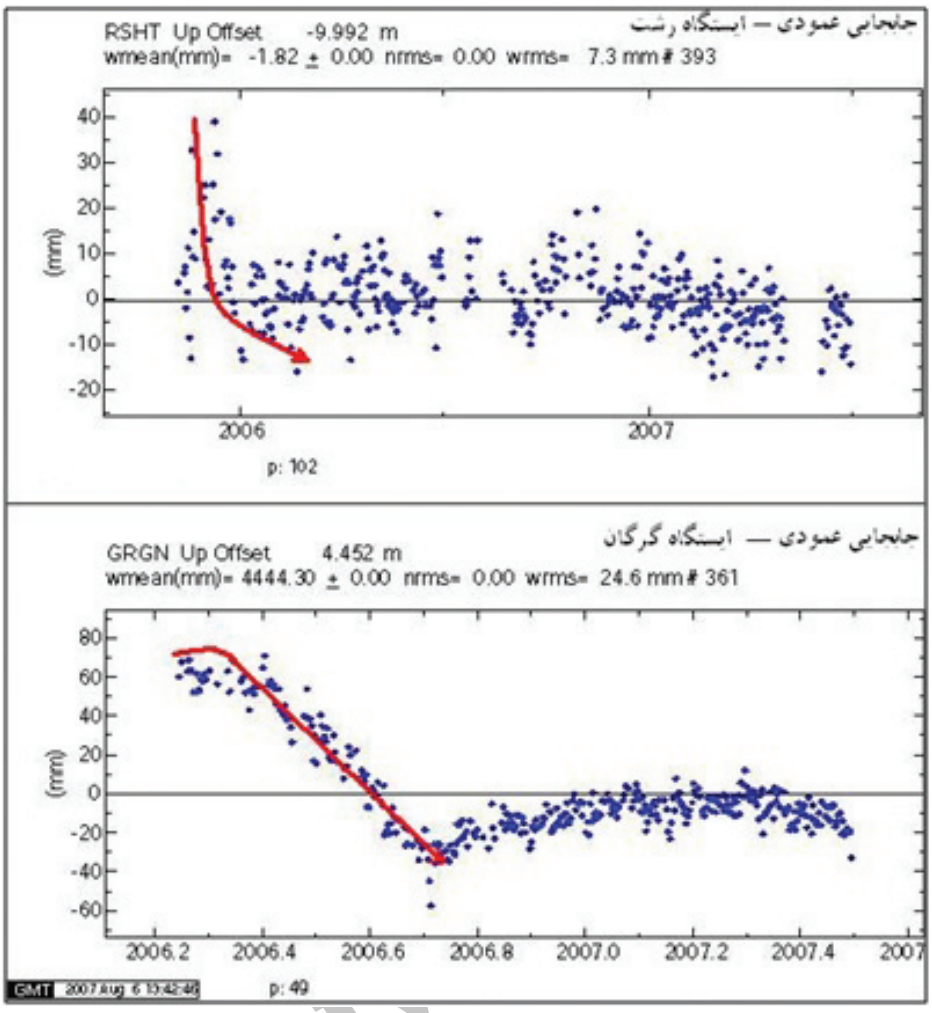
شکل ۱۳- بالا سمت راست، پادگانه لسی برش خورده توسط رودخانه شفارود و سمت چپ رخنمون رسوبات لس در کناره رودخانه پلرود و شکل پایین، بستر و پادگانه لسی در پایین دست کرگانرود

نشان می‌دهد (شکل ۱۶). اما مقدار آن در رودخانه شفارود که در نزدیکی محل فرونشستگی خزر قرار دارد، بیشتر است. نتایج حاصل از مطالعات میدانی و تطبیق آنها با داده‌های ژئودینامیکی، حاکی از آن است که رودخانه‌هایی که از کوهستان تا دریا بازه کوتاهی را پوشش می‌دهند، بیشتر تحت تأثیر تغییرات سطح آب دریای خزر هستند و کانال آنها در نزدیکی ساحل عمیق‌تر است. نمونه آن رودخانه کرگانرود است که دیواره‌های کرانه‌ای آن حدود ۵ متر عمیق‌شدگی دارد. اما، عمق کانال رودخانه‌های شفارود و پلرود، عموماً کمتر ۲ متر است و بافت رسوبات مصب این رودخانه‌ها نیز با یکدیگر تفاوت دارد. به گونه‌ای که مصب



شکل ۱۴- جنبش‌های کنونی پوسته زمین در ناحیه خزر (پالوسکا و دگنز، ۱۳۷۱). راهنمای ۱ مرز میان جلگه و پهنه فراخاسته البرز و ۲ نقاطی از کرانه‌های بخش ایرانی دریای خزرکه جنبش‌های پوسته زمین در آنها شدیدتر است را نشان می‌دهد.

www.SID.ir



شکل ۱۵- تغییرات زمانی داده‌های ایستگاه‌های ژئودینامیک گرگان و رشت از اوایل سال ۲۰۰۶ تا اواسط سال ۲۰۰۷ (سازمان نقشه‌برداری کشور).

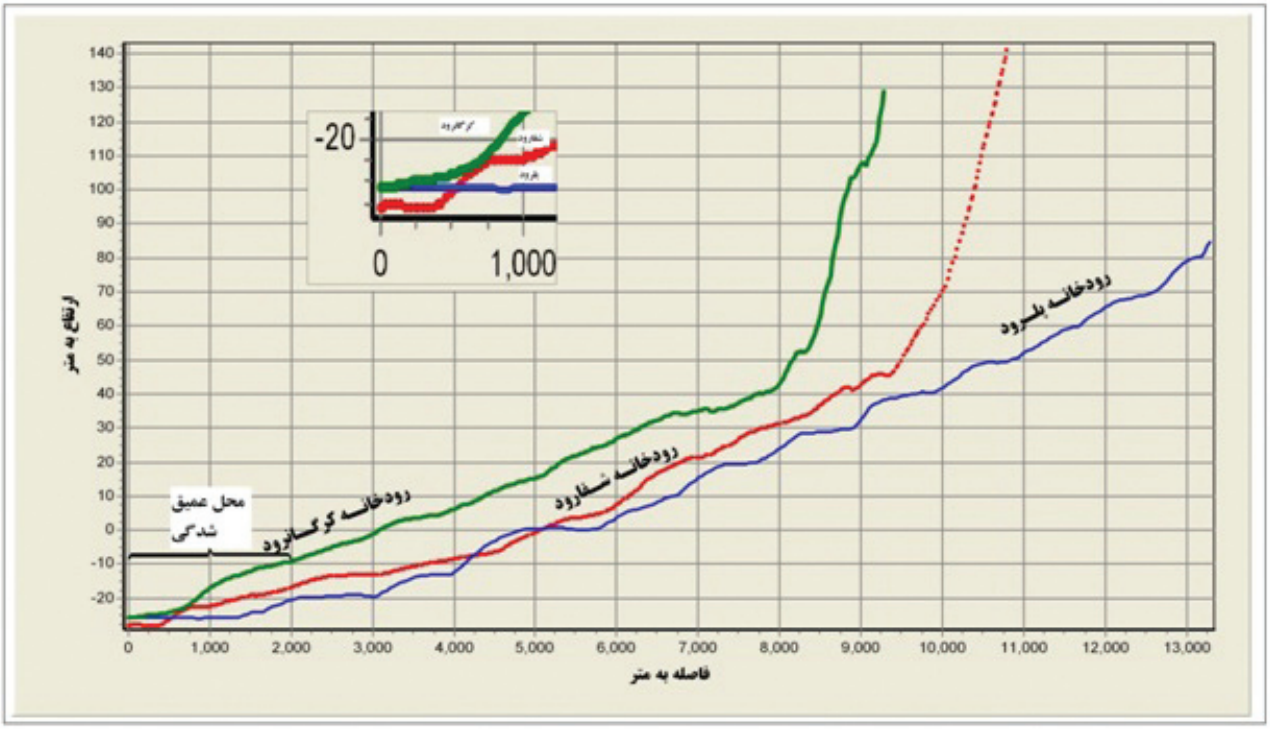
رودخانه شفارود ماسه‌ای و ریزدانه بوده ولی مصب رودخانه‌های پلرود و کرگانرود قلوه سنگی و درشت دانه است.

علاوه بر عمیق‌شدگی بستر رودها، پسروی اخیر ساحل خزر موجب شده است که در بخش ساحلی مجاور دهانه رودخانه‌های بخش باختری و شمال باختری دلتای سفید رود نیز یک پادگانه‌دریایی با ارتفاعی نزدیک به ۲ متر تشکیل شود. به دلیل کم‌عرض‌بودنِ جلگه ساحلی و نزدیکی جبهه کوهستان، فاصله پادگانه مذکور تا خط ساحلی در حدود ۱۰ متر است.

بر اساس تقسیم‌بندی انجام شده برای سیر تکاملی شکل‌گیری نیمرخ طولی رودخانه‌ها تحت تأثیر گسل‌ها و تغییر سطح اساس هر نیمرخ در مرحله تکاملی خود ابتدا، شکل برجسته و محدب داشته است و سپس بر اثر فرسایش و حفر بستر رفته رفته به شکل فرورفته و قاشقی شکل در آمده و در واقع به سطح اساس خود نزدیک می‌شود (Stanley and Schumm, 2005). در این تقسیم بندی، طبق شکل ۱۷ برای هر مرحله از نیمرخ طولی، نیمرخ عرضی متناظر آن نیز رسم شده است.

عوامل و پارامترهای مختلفی از جمله تأثیرات زمین‌ساختی و تغییرات سطح اساس، سیر تکاملی فوق را دچار وقفه کرده یا آن را تسریع می‌بخشد. به هر ترتیب با توجه به شکل ۱۷ و نیمرخ‌های ارائه شده از سوی (Stanley and Schumm, 2005) و نیمرخ‌های برداشت شده و تطبیق آنها با شاخص مذکور می‌توان نتیجه گرفت که شفارود در حالت ۷ و ۸ قرار گرفته و نزدیک‌ترین موقعیت را به سطح اساس دارد. کرگانرود نیز براساس این تقسیم‌بندی در موقعیت شماره ۶ قرار می‌گیرد و نشان‌دهنده آن است که این رودخانه در حال تشکیل پادگانه و حفر بستر اصلی خود است. رودخانه پلرود نیز بر پایه این تقسیم‌بندی در حالت شماره ۵ قرار می‌گیرد و نیمرخ عرضی آن عمدتاً نشان دهنده بستری پهن و گاه فاقد پادگانه است، اما در طول آبراهه پایین دست رود، آثار پادگانه وجود دارد که قطعاً نتیجه تأثیر زمین‌ساختی البرز است. در مجموع، تحلیل نیمرخ ها نشان می‌دهد که فعالیت زمین‌ساختی در محدوده شفارود بسیار کمتر از دیگر رودخانه‌های مورد مطالعه است و این را می‌توان شاهد دیگری بر فروافتادگی محلی در باختر بندر انزلی برشمرد. به طور کلی، نیمرخ عرضی رودخانه‌های باختری دلتای سفیدرود از نظر عرض و عمق کانال با رودخانه‌های خاوری این دلتا متفاوت است. شکل ۱۷ نشان‌گر آن است که مقاطع عرضی رودخانه‌های شفارود و کرگانرود از

www.SID.ir

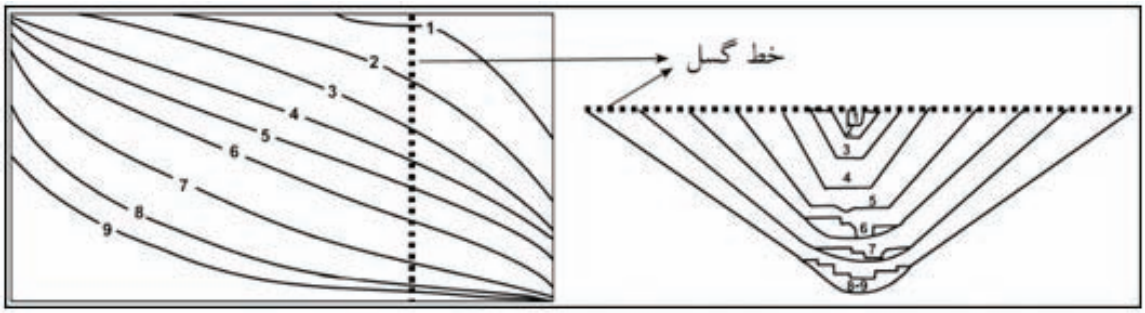


شکل ۱۶- مقایسه نیمرخ طولی رودخانه‌های مورد مطالعه با توجه به اُفت چشمگیر در محل مصب

نظر عمق و عرض کانال با یکدیگر شباهت‌های فراوانی دارند. ولی رودخانه پلرود عرض بستر وسیع‌تری نسبت به دو رودخانه باختری خود دارد. رسم نیمرخ‌های عرضی رودخانه‌های مورد بررسی (شکل ۱۸) نشان می‌دهد که رودخانه‌های بخش خاوری دلتای سفیدرود به احتمال زیاد به مقدار بیشتری از زمین‌ساخت البرز نسبت به تغییرات سطح اساس دریای خزر تأثیر پذیرفته‌اند. با این وجود توپوگرافی آبراهه‌ها نشانگر آن است که رودخانه‌های بخش باختری دلتای سفیدرود نیز از فراخاست البرز بی تأثیر نبوده‌اند.

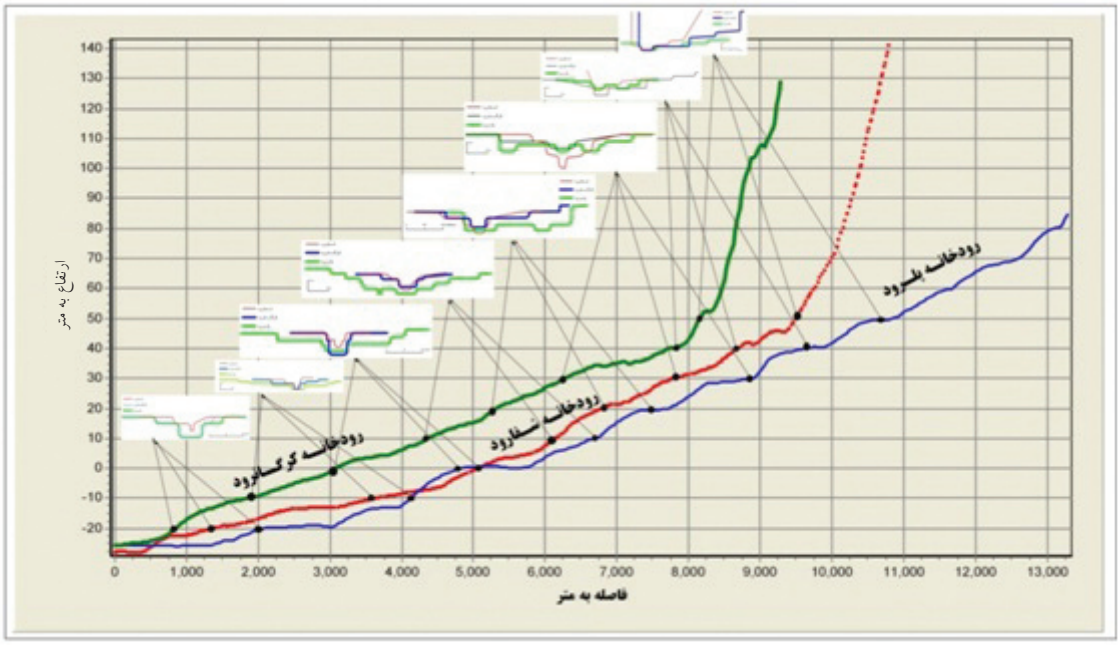
نتیجه‌گیری

از آنجا که عرض جلگه ساحلی از محل دلتای سفید رود به سمت باختر کاهش یافته و خط تغییر شیب پای دامنه به خط ساحلی نزدیک می‌شود، بنابر این طول آبراهه‌ها نیز از خاور به باختر دلتای سفیدرود کاسته شده و شیب آنها در همین راستا افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده از مقایسه تحلیلی و تحلیل نیمرخ‌های رودخانه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که نیمرخ طولی رودخانه‌های پلرود و کرگانرود شکل محدّب دارد و رودخانه شفارود دارای نیمرخی مقعّر است. نیمرخ‌های طولی محدّب، نشان از فراخاست و جوان شدگی بر اثر حرکات زمین‌ساخت فعال منطقه دارد ولی نیمرخ‌های کاو به نسبت کمتری تحت تأثیر نوزمین‌ساخت بوده‌اند و فرصت کاوش بستر و عمیق شدن را داشته و به سطح اساس خود نزدیک‌ترند. هر چند تمامی جلگه ساحلی خزر تحت تأثیر فراخاست زمین‌ساختی البرز است، اما با استناد به داده‌های ژئودینامیکی منطقه، عدم تقارن در فرونشینی بخش ساحلی و وجود حرکت منفی در بخش باختری دلتای سفید رود، موجب شده است که شفارود از این نظر با دیگر رودخانه‌های مورد مطالعه متفاوت باشد. همچنین عرض کانال رودخانه‌های مورد مطالعه در محل خروج از کوهستان با یکدیگر تفاوت دارند به گونه‌ای که دهانه دره خروجی رودخانه پلرود



شکل ۱۷- نیمرخ‌های طولی در مناطقی با فراخاست زمین‌ساختی به همراه مقاطع عرض متناظر آنها (Stanley and Schumm, 2005)

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۱۸- نیمرخ‌های طولی رودخانه‌های مورد مطالعه و موقعیت نیمرخ‌های عرضی تطبیق یافته

بسیار وسیع‌تر از رودخانه‌های باختری است. دهانه باریک و عمیق رودخانه‌های باختری دلتای سفیدرود یکی از شواهد دیگر فعالیت شدیدتر زمین‌ساختی در این بخش است. عمیق‌شدگی بستر رودها با طول رودخانه‌های مورد مطالعه رابطه مستقیم دارد. طول رودخانه‌های پلرود، شفارود و کرگانرود از خروجی کوهستان تا خط ساحلی به ترتیب ۱۴/۵، ۱۰/۷ و ۹/۲ کیلومتر است. از این رو در رودخانه پلرود که طول آبراهه بزرگ‌تر و شیب کمتر است، تأثیر تغییرات سطح اساس و پیشروی و پسروی آب دریا در مسیر بازه پایین دست رودخانه بیشتر بوده و مسیر طولانی‌تری از آبراهه را تحت تأثیر قرار داده است. بنابر این آثار حفر بیشتر آبراهه تا ابتدای بازه میانی در این رودخانه به‌خوبی دیده می‌شود. اما در رودخانه کرگانرود، خط تغییر شیب پای کوهستان، به خط ساحلی نزدیک‌تر و شیب آبراهه نیز بیشتر است بنابراین، تأثیرات تغییر سطح اساس کوتاه مدت بر روی بستر کمتر بوده و پیشروی و پسروی خط ساحلی که در فواصل کوتاهی روی داده، تنها توانسته است مسیر کوتاهی از پایین دست آبراهه را حفر نماید.

در مجموع و از یک نگاه کلی، چنانچه طول آبراهه رودخانه‌های موجود در سطح دلتاهای جلگه ساحلی خزر را به سه بازه مشخص تقسیم کنیم، بازه بالادست که در محل خط تغییر شیب پای کوهستان قرار دارد و نیز بازه‌های پایین‌دست که بخش ساحلی را تشکیل داده و در عرصه پیشروی و پسروی خط ساحلی قرار دارند، دچار عمیق‌شدگی ناشی از تغییر سطح اساس هستند. رخنمون رسوبات لسی قدیمی در بستر و پادگانه‌های رودخانه‌ها در این بخش، شاخص‌ترین شواهد تغییر سطح اساس هستند (شکل ۱۳). بنابراین، حفر بازه بالادست غالباً نتیجه زمین‌ساخت فراخاستی البرز بوده و حفرشدگی بازه پایین دست نیز نتیجه افت سطح آب دریای خزر در زمان کنونی است. پایدارترین بخش مسیر آبراهه‌ها مربوط به بازه میانی است که به حالت تعادل نزدیک‌تر است. دو شاخه شدن آبراهه، توسعه الگوهای رودپیچی و کم عمق بودن آبراهه در این بازه نسبت به بازه‌های بالادست و پایین دست رودخانه‌ها، نتیجه همین فرایند است.

منابع

- پالوسکا، آ. و دگنز، ایی. ت. ترجمه شهرابی، م. ۱۳۷۱. زمین‌شناسی کواترنر کرانه‌های دریای خزر، گزارش شماره ۶۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- درویش‌زاده، ع. پورمعتمد، ف. و معتمد، ا. ۱۳۵۸. مبانی زمین‌شناسی، چاپ سوم، دانشگاه تهران.
- خوش‌رفتار، ر. ۱۳۸۴. تکامل ژئومورفولوژیکی دلتای سپیدرود، رساله دکتری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
- سازمان جغرافیایی ارتش، عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۵. مقیاس ۱:۵۵۰۰۰، مناطق کرگانرود، شفارود و پلرود.
- عبدالهی، ع. ۱۳۸۵. دینامیک دریای خزر طی دوره هولوسن و نقش آن در تغییرات خط ساحلی محدوده ساحلی خاور دریای خزر، سازمان بنادر و کشتیرانی، معاونت فنی و مهندسی اداره کل مهندسی سواحل و بنادر.
- قاسمی، م.ر. ۱۳۷۹. تأثیر صفحه خزری بر زمین‌ساخت البرز، نوزدهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- لاهیجانی، ح. ۱۳۸۲. تأثیر نوسان تراز آب دریای خزر بر اکوسیستم‌های ساحلی، گزارش میزگرد تخصصی، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس (مازندران - نور).
- معتمد، ا. ۱۳۸۲. زمین‌شناسی عمومی، انتشارات دانشگاه تهران.
- نفریه، م. ۱۳۸۴. تأثیر زمین‌ساخت بر حوضه‌های آبریز

Archive of SID
www.SID.ir

البرز، پایان نامه کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.
– وزارت نیرو، مرکز تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو، ۱۳۷۶. طرح جامع مطالعات منابع آب دریای خزر، مطالعات زمین‌شناسی سواحل دریای خزر.
– یمانی، م. حسین‌زاده، م.م. و نوحه‌گر، ا. ۱۳۸۵. هیدرو دینامیک رودخانه‌های تالار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییر مشخصات هندسی آنها، پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۵، ۳۸.

- Aleksey, Yu., Sidorchuk, A.V., Panin, O.K. and Borisova, K., 1995. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga River basin (East European Plain) during the Late Glacial period, GEOMOR-02922; 21.

- Aliyev, A.S., 2010. The Last sharp rise of the level of the Caspian Sea and its consequence in the coastal zone of Azerbaijan,The Caspian Region: Environmental, Consequences of the climate change, proceedings of the International Conference, University of Moscow, 146-148.

- Berberian, M., Qorashi, M., Jackson, J.A., Priestley K. and Wallace T. 1992. The Rudbar-Tarom earthquake of 20 June 1990 in NW Persia: Preliminary field and seismological observations, and its tectonic significance Bulletin of the Seismological Society of America; August 1992; 82, 4, 1726-1755.

- Berberian, M. 1983. The southern Caspian: A compressional depression floored by trapped, modified oceanic crust, Canadian Journal of Earth Sciences, 20, 163-183.

- Eilertsen, R. and Hansen, L. 2008. Morphology of river bed scours on a delta plain revealed by interferometric sonar, Geomorphology 94 , 58–68

- Galloway, W.E, 1989. Genetic stratigraphic sequences in basin analysis: architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. American Association Petroleum Geological Bulletin, 73, 125-142.

- Kroonenberg, S.B., Rusakov, G.V. and Svitoch, A. A., 1997. The wandering of the Volga delta: a response to rapid Caspian sea-level change, Sedimentary Geology, 107, 3-4, 189-209.

- Langbin, W.B., and Schumm, S.A., 1958. Yield of sediment in relation to mean annual precipitation, Am. Geophys. Union Trans., 39, 1076-1084.

- Leroy, S.A.G., Marret, F., Gibert E., Chalié F., Reyssand J.L. and Arpe, K., 2007., River inflow and salinity changes in the Caspian Sea: during the last 5500 years, Quaternary Science Reviews, 26, 3359-3383.

- Mial, A.D., 1986. Eustatic sea level changes interpreted from seismic stratigraphy: a critique of the methodology with particular reference to the North Sea Jurassic record" American Association Petrology Geological Bulletin, 70, 131-137.

- Ouchi, S. 1985. Response of alluvial rivers to slow active tectonic movement. Geological Society of American Bulletin, 96: 504-515.

- Priestley, K., Baker, C. and Jackson J. 1994, Implications of earthquake focal mechanism data for the active tectonics of the south Caspian Basin and surrounding regions, Geophysical International Journal, 118, 111-141.

- Schumm, S.A., 1992. River Response to Base level Change: Implication for Sequence Stratigraphy, The Journal of Geology, 1993, 101, 279-294.

- Schumm, S.A. 1993. Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems, The National Science Foundation, Army Research Office and the Colorado Agricultural Experiment Station.

- Sloss, L.L., 1991. The tectonic factor in sea level change: a countervailing view, Journal of Geophysics, 96, 6609-6617.

- Stanley, A. and Schumm, S.A., 2005. River Variability and Complexity, Cambridge University Press.

- William, B and Bull, 2007, Tectonic Geomorphology of Mountains: A New Approach to Paleoseismology by Blackwell Publishing Ltd.

- Winkley, B. R. 1977. Man-made Cutoffs on the Lower Mississippi River: Conception,Construction, and River Response. U.S. Army Engineer District, Vicksburg,Corps of Engineers, Potamology Investigations, Report No. 300-2.

- www.caspage.citg.tudelft.nl

Archive of SID

www.SID.ir