

به کارگیری داده‌های سنجش از دور در آشکار سازی تغییرات پیچان رودی دلتای مند – بوشهر

سیاوش شایان^۱

غلامرضا زارع^۲

مجتبی یمانی^۳

محمد شریفی کیا^۴

محسن سلطان پور^۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۹/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۱۵

چکیده

پیچان رودها یکی از اشکال تپیک ژئومورفولوژیک بوده که به دلیل مهیا بودن شرایط محیطی در سواحل جنوبی کشور ایران به طور متعدد مشاهده می‌گردند. این لندفرم‌های پویا و فعال تحت تأثیر دینامیک رودها و شیب آرام دلتاها در فاصله زمانی اندک، تغییرات فضایی شدیدی پیدا می‌کنند. در این مقاله سعی بر این است تا با استفاده از داده‌های سنجش از دور و پیمایش میدانی، تغییرات مورفولوژیک بستر رود مند طی یک دوره ۵۷ ساله در پنج بازه زمانی (۱۳۳۴-۱۳۶۴-۱۳۷۳-۱۳۷۹ و ۱۳۹۱) استخراج و تحلیل شود. نتایج تحقیق نشان داد که در طی سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۱ تغییرات مورفولوژی بستر رود مند بسیار زیاد بوده، به طوری که در مصب رودخانه نزدیک به ۳/۵ کیلومتر جا به جایی بستر مشاهده گردید. مقایسه فضایی بستر رود در سال ۱۳۳۴ نسبت به سال ۱۳۹۱، بیانگر این مطلب بوده که ۴۲/۵۲ کیلومترمربع به کناره چپ اضافه شده در حالی که در کناره راست این مقدار ۳۳/۸ کیلومترمربع محاسبه گردید. شیب آرام دلتا (کاهش سرعت آب و به جاگذاری مواد رسوبی رود در بستر)، پوشش گیاهی کناره و بستر رود (به دام انداختن رسوبات در بستر رود) و انسان (ایجاد سد در سطح حوضه آبریز مند، ساخت پل و سکوهای حفاظتی در کف بستر و انتقال آب رود به سایت پرورش میگو) از جمله عوامل مهم در تغییر بستر رود مند هستند.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی جریانی، پیچان رود، رود و دلتای مند، سنجش از دور

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول) Shayan@Modares.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تربیت مدرس zaretmu@gmail.com

۳- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تهران myamani@ut.ac.ir

۴- دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس

۵- دانشیار گروه عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

مقدمه

دارد. جابه‌جایی آبراهه یک فرایند غیردائمی بوده که در نتیجه حوادث هیدرولوژیکی رخ می‌دهند (برایس^{۱۱}، ۱۹۷۷، ۵۱۲). واکنش آبراهه‌های رود با توجه به فراوانی و بزرگای متفاوت رخدادهای هیدرولوژیک، موضوعی بنیادین در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای می‌باشد (روآدس و میلر^{۱۲}، ۱۹۹۱، ۳۵۸). در مراحل اولیه، تقاطع جابه‌جایی خمیدگی آبراهه به محور اصلی دره بوده اما در مراحل بعدی خمیدگی‌ها در جهت دره توسعه می‌یابند (کناپتون^{۱۳}، ۱۹۸۴، ۳۲۸). در سال‌های اخیر سنجش از دور امکان مشاهده مستقیم رودها در نواحی وسیع با مقیاس‌های مختلف می‌دهد، این امکان به معنی پایش تغییرات مسیر رود به‌وسیله داده‌های مختلف سنجش از دوری در بازه‌های زمانی متفاوت است (یانگ^{۱۴} و همکاران، ۱۹۹۹، ۱۴۷). به عبارت دیگر توسعه و گسترش داده‌های سنجش از دور ابزاری ارزشمند برای شناخت و مستندسازی تغییرات کوتاه‌مدت رخ داده در مورفولوژی رودخانه‌ای می‌باشند. پیرامون این موضوع در سطح دنیا تحقیقاتی صورت گرفته که از جمله آنها موارد زیر است. یانگ و همکاران (۱۹۹۹، ۱۴۶) در پژوهشی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تغییرات مسیر رودها بر روی دلتای رود زرد در چین در طی ۱۹ سال پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بین سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۷ میزان جابه‌جایی رود کاهش یافته اما بعد از سال ۱۹۸۷ روند تغییرات افزایش یافته است. داس^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۷، ۳۰۱) در تحقیقی با استفاده از سنجش از دور به مطالعه تغییرات رودخانه باراک در شمال شرق هند پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که به‌طور کلی تغییر به سمت شمال در این رود رخ داده که احتمالاً به دلیل بالآمدگی بخش جنوبی دره رود باراک است. پن^{۱۶} (۲۰۱۳، ۱۴۹) در تحقیقی به بررسی تغییرات رود بانکرا در غرب بنگال با استفاده تصاویر

در ادبیات ژئومورفولوژی، اصطلاح پیچان‌رود نخستین بار توسط لئوپولد و ولمن (۱۹۵۷) با الگو گرفتن از نام یک رود پر و پیچ خم در کشور ترکیه که به نام مئاندر بوده، به کار برده شد (لئوپولد و ولمن، ۱۹۵۷، ۲). در میان پدیده‌های سطح زمین، رودهای مئاندری دارای بیشترین میزان فعالیت هستند (گونرلپ و روآدس^{۱۷}، ۲۰۱۰، ۹۲). یک رود مئاندری تغییرات مشخصی در موقعیت، هم چون جا به جایی در میان دشت سیلابی دارد (میکن^{۱۸}، ۱۹۷۴، ۴۱۴). دینامیک پلنفرمی رودهای مئاندری در اثر تعامل جریان دبی، انتقال رسوب و مورفولوژی آبراهه‌ای در حال تحول به وجود می‌آید که مقیاس تجمیعی با انحنای پلنفرمی می‌باشد (ترمینی^{۱۹}، ۲۰۰۹، ۵۷۶). تحول پیچان‌رودها بازخوردی بین انحنای پلنفرمی و فرایندهای فرسایشی و رسوبی بین آبراهه‌ای بوده که می‌توان گفت محصول الگوی بسیار پیچیده جابه‌جایی مئاندری است (برایس^{۲۰}، ۱۹۷۴، ۵۸۱). ارتباط بین ویژگی‌های پیچان‌رودی (مثل حرکات موجی آبراهه و طول موج پیچان‌رود) و دبی و رسوب به‌خوبی شناخته شده‌اند و مطالعات نظری و آزمایشگاهی اولیه این موضوع را نشان داده‌اند (لئوپولد و ولمن، ۱۹۵۷، ۳؛ شوم^{۲۱}، ۱۹۶۳، ۱۰۹۰). کاهش تدریجی شیب در سطح دشت‌ها، غالباً منجر به توسعه پیچان‌رودها و به جا گذاری رسوب در بستر رودها می‌شود (لافتهوس و روبرت^{۲۲}، ۲۰۰۸، ۲۱۴). سرعت جابه‌جایی آبراهه به مقاومت فرسایشی کناره‌های مقعر (نانون^{۲۳} و میکن، ۱۹۸۶، ۴۹۸)، مدت زمان و بزرگی جریان (اودگار^{۲۴}، ۱۹۸۷، ۱۲۲۶)، شعاع انحنای آبراهه (نانون و میکن، ۱۹۸۳، ۴۹۸)، مقدار حجم رسوب جریان (پوهانگ^{۲۵} و همکاران، ۲۰۰۹، ۶۳۰)، بستگی

11 - Brice
12 - Miller
13 - Knighton
14 - Yang
15 - Das
16 - Pan

1 - Leopold and Wolman
2 - Güneralp and Rhoads.
3 - Hickin
4 - Termini
5 - Brice
6 - Schumm
7 - Lofthouse and Rober
8 - Nanson
9 - Odgaard
10 - Po- Hung

تغییر در الگوی هندسی آن شکل گرفته، به طوری که سطح اشغال آن ۳۱/۵ درصد افزایش یافته و از رقم ۱/۹ میلیون مترمربع در سال ۱۳۳۴ به بیش از ۲/۵ میلیون مترمربع در سال ۱۳۹۰ رسیده است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۳)، در تحقیقی جابه‌جایی مئاندر و تغییرات الگوی رود را با استفاده از داده‌های سنجش از دور انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که سطوح فرسایش یافته در رود گاماسیاب بیشتر از سطح رسوب‌گذاری شده، می‌باشد و این به دلیل جابه‌جایی و تغییر مسیر رود بوده، به طوری که بعضی از قسمت‌های رود بیش از ۴۰۰ متر جابه‌جایی داشته است. از دیگر تحقیقات نیز می‌توان به خلاصه یمانی و همکار (۱۳۱۱، ۱۰۹)، جعفر بیگلو و همکاران (۱۳۹۱، ۱۲)، معصومی و همکاران (۱۳۹۰، ۱۰۲)، یمانی و همکاران (۱۳۹۱، ۱)، یمانی و همکار (۱۳۹۱، ۱۴۱) و سیف و همکار (۱۳۹۲، ۲۱۱) اشاره کرد. موضوع بررسی و آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیک رودها در بازه‌های زمانی متعدد کمتر مورد مطالعه قرار گرفته و می‌توان گفت در تحقیقات مشابه در دو بازه زمانی به طور معمول مطالعاتی انجام شده است. با توجه به این مطالب، هدف از انجام این پژوهش استخراج تغییرات بستر رود مند مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری و تحلیل فضایی آن در بازه‌های زمانی مختلف در یک دوره زمانی (۵۷ ساله، با توجه به داده‌های در دسترس) می‌باشد و شناسایی روند مکانی تغییرات اهمیت زیادی در اقدامات مدیریتی و برنامه‌ریزی‌های محیطی دارد. بازه رود مورد مطالعه از رأس دلتای مند (روستای وحدت آباد) تا مصب آن در خلیج فارس است. مشاهدات میدانی تغییرات و جا به جایی شدید بستر رود مند را در طی زمان‌های گذشته نشان می‌دهد. مشخص کردن روند تغییرات و میزان جا به جایی رود مند با توجه به دائمی بودن آن، اهمیت ویژه‌ای در تحول و شکل‌گیری دلتا داشته، لذا با توجه به داده‌های در دسترس سعی شده تا این روند مشخص، تبیین و تحلیل شود.

دلتای رود مند در استان بوشهر، شهرستان دیر و در بین ۵۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی و

ماهواره‌ای لندست پرداخت. نتایج حاصل از تحقیق بیانگر تغییر در پارامترهای مختلف مورفولوژیک آبراهه‌ای مانند شاخص حرکت موجی، عدم تقارن متقابل دره، نسبت پر پیچ و خم دارد. روزو^۱ و همکاران (۲۰۱۴، ۲۸) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تغییرات مسیر رود آمازون علیا را طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۶ میلادی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سیستم این رود یک روند نهشته‌ای بین سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۶ دارد که فرسایش آن شدیدتر از رسوب‌گذاری بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ می‌باشد. از دیگر تحقیقات خارجی در زمینه به‌کارگیری سنجش از دور در مطالعات پیچان‌رودها می‌توان به رنگرن^۲ و همکاران (۲۰۰۲، ۱۶۹)، اورفو و استکوس^۳ (۲۰۰۲، ۳۰۹)، قنواتی^۴ و همکاران (۲۰۰۷، ۹۴۵)، اشاره کرد. در ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته که از جمله آنها موارد زیر می‌باشد: ارشد و همکاران (۱۳۱۶، ۱۸۰) در پژوهشی روند تغییرات مورفولوژیک رود کارون (از گتوند تا فارسیات) را با استفاده از سنجش از دور مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در طول رود در حال تغییر است و مقدار جابه‌جایی عرض قوس‌ها در مناطقی به ۱۹۵۰ متر در طول ۱۳ سال می‌رسد. همچنین تراکم و اندازه انحنا قوس‌ها به سمت پایین‌دست جا به جا شده‌اند. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۰، ۵۳) در تحقیقی تغییرات ژئومورفولوژیک رود مهران را با استفاده از سنجش از دور مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که آبراهه رود مهران در بازه زمانی ۲۱ ساله دارای جابه‌جایی زیادی بوده به طوری که تشکیل مئاندرهای جدید و متروک شدن بخش‌هایی از مسیر کانال نتیجه همین جابه‌جایی می‌باشد. شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۲، ۱۴۹) در پژوهشی اقدام به آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رود هیرمند کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر در الگوی فضایی رود به دنبال

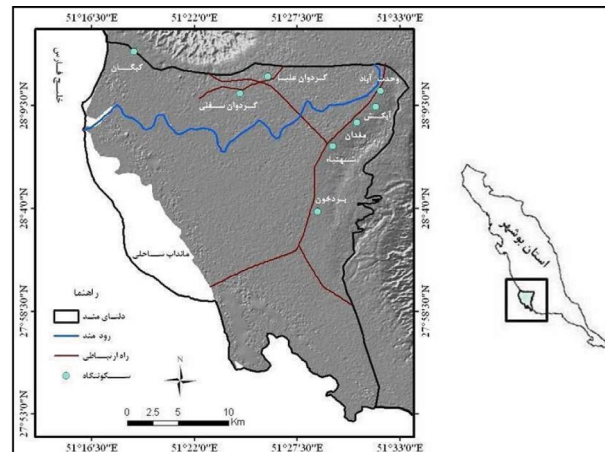
1 - Rozo

2 - Rangzan

3 - Orfeo and Stevaux

4 - Ghanavati

۲۷ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (نگاره ۱).



نگاره ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

آبراهه‌های محدوده تابعی از شیب و توپوگرافی و جنس لایه‌ها است که عمدتاً به صورت درختی می‌باشد. کیفیت آب‌های جاری تابعی از ترکیب شیمیایی مسیر آب بود، به طوری که کیفیت آب‌ها در قسمت بالای حوضه آبریز خوب بوده و در انتهای حوضه و ابتدای دلتا در اثر عبور از سازندهای گچی و نمکی باعث شوری آب‌های زیرزمینی و اراضی پایین دست می‌گردد. متوسط بارندگی در ایستگاه کاکی ۲۰۴/۱۲ میلی‌متر بوده و بیشترین بارندگی مربوط به ماه‌های آذر و دی به ترتیب با میزان بارندگی ۶۲/۹ و ۴۱/۹ میلی‌متر و کمترین مقدار نیز مربوط به خرداد و تیرماه است که بدون بارندگی می‌باشد. در فصلی که نیاز آبی گیاه بالا بوده و از اردیبهشت‌ماه لغایت پایان مهرماه است، جمع بارندگی متوسط ماهانه ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد. مسئله مهم و قابل تأمل پراکنش نامطلوب بارندگی است به طوری که از کل بارندگی سال حدود ۷۴ درصد آن در ماه‌های آذر و دی بارش باران وجود داشته و از فرودین تا مهرماه فقط ۷ درصد بارش مشاهده می‌شود (جهان‌دیده، ۱۳۷۸).

داده‌ها و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از داده‌های زیر استفاده شده است:

الف) داده‌های اسنادی مشتمل بر منابع کتابخانه‌ای و مطالب منتشر شده مرتبط با ادبیات تحقیق، نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ مند برگرفته از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ب) داده‌های سنجش از دوری شامل: تصویر ماهواره‌ای استرویبی IRS-p5 کشور هند و سنجنده کارتوست با دقت ۲/۵ متر (سال ۱۳۹۱) برگرفته از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۱۳۶۴ سنجنده TM و سال ۱۳۷۹ سنجنده ETM+ برگرفته از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (Earth Explorer)، عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ تهیه شده از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و عکس‌های هوایی سال ۱۳۷۳ تهیه شده از سازمان نقشه‌برداری کشور.

زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در زون چین‌خورده زاگرس واقع شده است. این زون زمین‌شناسی که کوه‌های زاگرس را در بر دارد در جنوب غربی ایران قرار داشته و ساخت زمین‌شناسی آن ساده ملایم و شامل مجموعه‌ای از طاق‌دیس‌های نزدیک به هم و فشرده با سطح محوری معمولاً قائم و جهت شمال غربی به جنوب شرقی است. رسوبات چین‌خورده این منطقه متناوباً از آهک یا دولومیت همراه با مارن و مارن‌های آهکی و گچ بوده که با چین‌بندی کم و بیش ظریف مشخص هستند. مورفولوژی منطقه تابعی از شرایط تکتونیکی حاکم می‌باشد که پس از رسوب‌گذاری ژئوسینکلینال زاگرس چین‌خورده مراحل فرسایش بعدی آن را به صورت کنونی درآورده است. ارتفاعات شرق و جنوب شرق مشرف به محدوده مورد مطالعه در مرکز خود به دلیل رخنمون سازندهای آسماری جهرم با آهک‌های گروه بنگستان و گروه خامی شکل گرده ماهی را پیدا کرده و دارای دره‌های ناودیسی شکل می‌باشد. گنبد نمکی جاشک در شمال دلتا واحد ژئومورفولوژیکی مهمی محسوب شده که در مورفولوژی منطقه نقش عمده‌ای داشته و موجب شوری آب و خاک منطقه می‌شود. سیستم

توجه به آستانه‌های زیر اثبات کرد:

جدول ۱: مورفولوژی رود بر اساس شاخص سینوزیته

(لئوپولد و ولمن، ۱۹۵۷)

شرایط رود	عدد محاسبه شده سینوزیته
مستقیم	$S = 1/0.5$
سینوسی	$S = 1/0.5 - 1/5$
پیچان‌رودی	$S = > 1/5$

همچنین با توجه به مقادیر محاسبه شده این شاخص می‌توان گفت که منطقه از نظر فعالیت‌های نوزمین ساختی در چه وضعیتی قرار دارد. هر اندازه مقادیر عددی به دست آمده بیشتر باشد، بیانگر نزدیک شدن رود به حالت تعادل، کمی یا توقف فعالیت‌های نوزمین ساختی بوده و هر چه میزان آن کمتر باشد، نشان‌دهنده‌ی فعال بودن زمین‌ساخت منطقه است (لئوپولد و ولمن، ۱۹۵۷). در مرحله بعد به کمک داده‌های حاصل از بازدید و پیمایش میدانی محدوده مورد مطالعه (دو مرحله بازدید؛ جهت گردآوری و مشاهدات میدانی و اعتبار سنجی) یافته‌های تحقیق کنترل شده و اعتبار سنجی گردیدند.

یافته‌های تحقیق

لایه‌های استخراج شده رود مند در بازه‌های زمانی مورد مطالعه نشان می‌دهد که بستر رود دارای تغییر مسیر بسیار شدیدی است (نگاره ۲). به طوری که در مصب، رودخانه به کناره راست تمایل شدیدی پیدا کرده است و در دیگر مسیر رود از رأس دلتا به سمت قاعده مرتب در حال جابه‌جایی و تغییر مسیر شدیدی می‌باشد. مصب رود مند در سال ۱۳۹۱ در مقایسه با سال ۱۳۳۴ فاصله‌ای در حدود ۳/۵ کیلومتر تفاوت را نشان می‌دهد، به عبارت دیگر جابه‌جایی مصب ۳۵۰۰ متر محاسبه شد. این تغییر مسیر در مصب در مقایسه با سال پایه (۱۳۳۴) برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۹ به ترتیب ۲/۴۳، ۲/۹۳ و ۲/۷۲ کیلومتر می‌باشد که در سال ۱۳۷۹ مصب رود نسبت به سال ۱۳۷۳ فاصله کمتری دارد. دلیل آن کاهش میزان بارش‌ها در بین سال‌های

(ج) داده‌های گردآوری شده از بازدید و پیمایش میدانی در دو مرحله.

روش انجام این پژوهش، مبتنی بر روش پیمایشی، آزمایشگاهی و تحلیلی می‌باشد. در این راستا، نخست ادبیات مرتبط با موضوع تحقیق گردآوری و دسته‌بندی گردید. در گام بعد با توجه به هدف تحقیق و بر اساس داده‌های قابل دسترس آشکارسازی تغییرات رود مند در پنج بازه زمانی (۱۳۳۴، ۱۳۶۴، ۱۳۷۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱) صورت گرفت و عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ شمسی به‌عنوان تصویر پایه و تصاویر ماهواره‌ای IRS (۱۳۹۱ شمسی) هند به‌عنوان داده انتهایی انتخاب گردیدند. در مرحله بعد تصویر ماهواره‌ای IRS، عکس‌های هوایی ۱۳۳۴ و ۱۳۷۳، پس از انجام تصحیحات رادیومتریک برای کاهش نویز و افزایش دامنه ارقام مورد پردازش قرار گرفته، اعمال تصحیحات هندسی بر روی این داده با استفاده از نقاط ثبت شده حاصل از بازدید میدانی (GPS) و نقاط استخراج شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ با خطای جذر میانگین مربع‌ها (۰/۰۰۲۴) صورت گرفت. در مرحله بعد هر یک از این داده‌ها در نرم‌افزار ErDas زمین‌مرجع سازی گردیدند. جهت زمین‌مرجع کردن عکس‌های هوایی از پدیده‌هایی که ثابت بودند (مثل خانه‌های مسکونی یا درختان) که در تصاویر فعلی (دارای مختصات) نیز موجود هستند، استفاده شد. در گام بعد در محیط نرم‌افزاری Arc GIS پهنه رود مند در دوره‌های زمانی مورد مطالعه ترسیم شد. با توجه به مورفولوژی بستر رود، جهت مقایسه مقاطع ترسیم شده، رود مند به ۱۴ بازه تقسیم گردید. سپس پهنه‌های هر بازه با یکدیگر مقایسه شده و راستای حرکت رود مند مشخص شد. در مرحله بعد میزان سینوزیته رود مند در بازه‌های زمانی مورد مطالعه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$S = T/L$$

رابطه ۱:

که در این رابطه S = میزان سینوزیته، T = طول رودخانه و L = مسافت طولی خط مستقیم به کیلومتر می‌باشد. با محاسبه این شاخص می‌توان پیچان دار بودن رودخانه را با

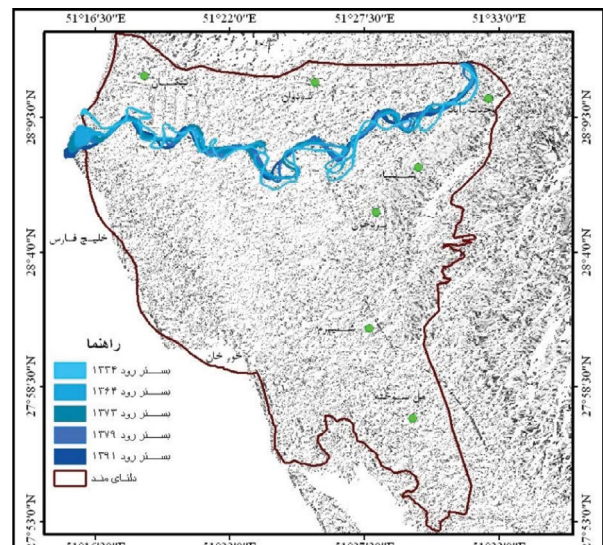
به طوری که در سال ۱۳۹۱ این میزان به ۱/۴۴ رسیده است. به بیان دیگر رود مند از حالت پیچان رودی به حالت موجی (سینوسی) تغییر شکل داده است. مطلب دیگر راجع به طول مسیر رود مند است که در سال ۱۳۳۴ طول مسیر رود از رأس دلتا تا مصب ۵۱/۴۵ کیلومتر بوده اما در سال ۱۳۷۹ طول مسیر ۱۱/۷۳ کیلومتر کاهش مسیر را نشان می‌دهد و طول رود به ۳۹/۸۷ کیلومتر رسیده است. در بازه زمانی ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۱ طول مسیر رود افزایشی در حدود ۱۵۰ متر را نشان می‌دهد اما این افزایش تأثیری در بالا بردن میزان سینوزیته رودخانه نداشته است. همچنین میزان سینوزیته محاسبه بیانگر این است که در سال ۱۳۳۴ منطقه از نظر نوزمین‌ساختی وضعیتی آرام داشته، به بیانی دیگر رود تعادل نسبی داشته اما در سال‌های اخیر منطقه مجدداً از نظر نوزمین‌ساختی فعال‌تر از قبل شده است. وقوع چندین زمین‌لرزه شدید در پنج سال اخیر در شهر کاکلی واقع (۱۷ کیلومتری شمال‌شرقی) از رأس دلتا نیز مؤید این مطلب می‌باشد.

جدول ۲: شاخص سینوزیته رود مند در پنج بازه زمانی مختلف

سال	منبع داده‌ای	طول موج λ (m)	طول قوس L (m)	سینوزیته رودخانه اصلی S
۱۳۳۴	عکس هوایی	۵۱/۴۴۹۲	۲۵/۹۵۷۳	۱/۹۸
۱۳۶۴	تصویر ماهواره‌ای لندست	۴۵/۰۲۹۸	۲۶/۹۸۰۳	۱/۶۷
۱۳۷۳	عکس هوایی	۴۰/۰۹۰	۲۷/۵۰۶۳	۱/۴۶
۱۳۷۹	تصویر ماهواره‌ای لندست	۳۹/۸۷۲۸	۲۷/۱۴۳۷	۱/۴۷
۱۳۹۱	تصویر ماهواره‌ای IRS	۴۰/۰۲۲۶	۲۷/۸۴۹۹	۱/۴۴

بررسی آماری زمین‌لرزه‌های رخ داده نیز نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۸ به بعد تعداد زمین‌لرزه‌ها در دلتای مند و رأس آن افزایش یافته است (نگاره ۴). بزرگای زمین‌لرزه‌ها بر حسب ریشتر می‌باشد. در ادامه جهت مشخص کردن روند تغییرات بستر، محاسبه بهتر تغییر الگوی هندسی و تحلیل فضایی کامل‌تر

۱۳۷۸ تا ۱۳۸۰ در سطح حوضه آبریز مند دارد که تأثیر بسیار زیادی در میزان دبی رود مند می‌گذارد. این تغییر مسیر رود در رأس دلتا به ۵۰۰ متر می‌رسد و در آنجا نیز رود مند به کناره راست تمایل پیدا کرده است. البته اختلاف جابه‌جایی مسیر در مقایسه با سال ۱۳۳۴، برای سال‌های ۱۳۶۴، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۹ در رأس دلتا به ترتیب ۱۶۲، ۲۳۵ و ۲۵۸ متر محاسبه گردید. اما در دیگر قسمت‌های رود در مقطع طولی نظم خاصی دیده نمی‌شود، به عبارت دیگر رود مند به طور نامنظم تغییر مسیر داده است. به عنوان مثال در قسمت‌های میانی رود مند در سطح دلتا تغییر مسیر سال ۱۳۷۳ نسبت به سال ۱۳۳۴، ۶۴۲ متر بوده در حالی که این اختلاف مسیر در سال ۱۳۹۱ به ۴۲۰ متر رسیده است. این موضوع نشان دهنده این است که رود در این قسمت در یک مسیر مشخص مرتب در حال جابه‌جایی است.

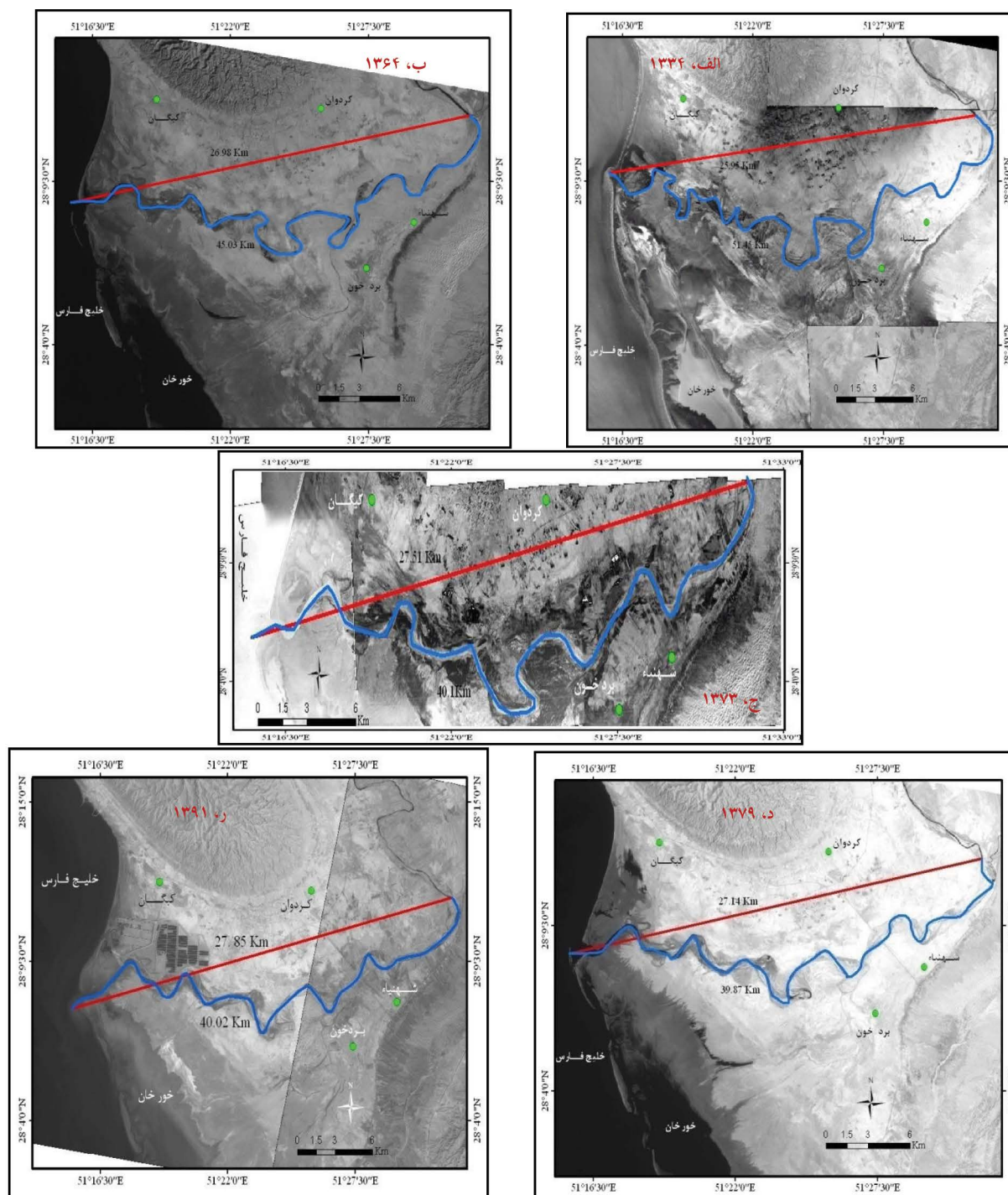


نگاره ۲: تغییرات بستر رود مند در بازه‌های زمانی مورد

مطالعه (نویسندگان، ۱۳۹۴)

میزان سینوزیته رودخانه مند بحث مهمی می‌باشد که برای ۵ بازه زمانی محاسبه گردید (نگاره ۳، جدول ۲). بر این اساس میزان سینوزیته رود در سال ۱۳۳۴، ۱/۹۸ به دست آمد که بر طبق مدل بیانگر حالت پیچان‌رودی، رود مند می‌باشد، اما در بازه‌های بعدی از این میزان کاسته شده

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)
 به کارگیری داده‌های سنجنش از دور در آشکارسازی ... / ۳۳



نگاره ۳. نمایش نوسانات بستر رود مند در بازه‌های زمانی مورد مطالعه

بستر، مقاطع طولی رود مند به ۱۴ بازه تقسیم گردید (نگاره‌های ۵ و ۶). بیشترین تغییر مسیر رود مند نسبت به سال مبدأ در کناره چپ رود مند با ۴۲/۵۲ کیلومترمربع رخ داده در حالی که در کناره راست رود افزایش بستر ۳۳/۸ کیلومترمربع محاسبه گردید. مقایسه بازه‌های زمانی نشان می‌دهد که کمترین مقدار کاهش مربوط به بازه‌های زمانی (۱۳۳۴-۱۳۷۹) با ۰/۱ کیلومترمربع در کناره چپ و راست رخ داده است (جدول ۳). بیشترین پهنا رود مند در

جدول ۳: میزان تغییرات کناره‌های رود مند در بازه‌های زمانی مختلف به کیلومتر مربع

سال	تغییر در کناره چپ		تغییر در کناره راست	
	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش
۱۳۹۱-۱۳۳۴	۷/۶۶	۴۲/۵۲	۴/۴۲	۳۳/۸
۱۳۷۹-۱۳۳۴	۱/۱	۹/۹۶	۱/۱	۵/۴۲
۱۳۷۳-۱۳۳۴	۱/۱۲۶	۸/۴	۱/۱۳۵	۵/۵۷
۱۳۶۴-۱۳۳۴	۱/۱۳۷	۹/۰۴	۱/۱۱۲	۳/۹۶

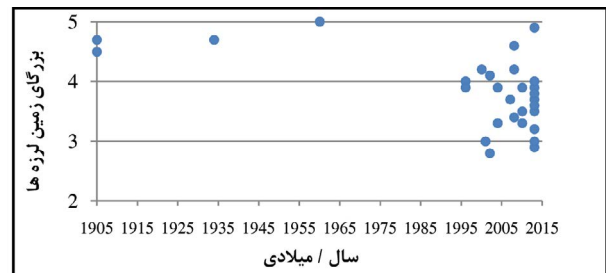
عوامل تغییر مورفولوژیکی بستر رود مند

شیب: شیب در رأس دلتای مند آرام بوده و به حدود ۰/۸ درصد می‌رسد و این مقدار در مسیر رود مند تا قاعده بسیار کم شده به طوری که در مصب به صفر می‌رسد. به عبارت دقیق‌تر در فاصله یک کیلومتر تا مصب شیب به صفر رسیده و به جاگذاری مواد رسوبی شدید مواد قبل از ورود رود مند به خلیج فارس رخ می‌دهد. به همین دلیل بیشترین تغییر مسیر رود طی دوره ۵۷ ساله در این قسمت به وقوع پیوسته است. در مجموع نزدیک به پنجاه درصد مساحت سطحی دلتای مند شیبی کمتر از ۰/۲ درصد داشته، هر چند در مواردی هم شیب بالای ۰/۸ درصد دیده می‌شود که مربوط به شیب دامنه تپه‌های ماسه‌ای و تپه‌های اطراف می‌باشد (نگاره ۷).

به‌طور کلی می‌توان گفت که تأثیر اصلی شیب کم دلتا، به جاگذاری مواد رسوبی در بستر رود مند است، به عبارت دیگر به جاگذاری مواد رسوبی از رأس دلتا آغاز شده و با عبور رود مند از رأس به قاعده این به جاگذاری شدت بیشتری می‌یابد و همان‌طور که در بالا نیز ذکر شده، به دلیل این که شیب رود در فاصله یک کیلومتری قبل از مصب به صفر می‌رسد یا بسیار ناچیز است، بخش اعظم مواد رسوبی همراه رود قبل از ورود به دریا به جا گذاشته می‌شوند و بستر رود در قسمت مصب جابه‌جایی بسیار زیادی را نشان می‌دهد.

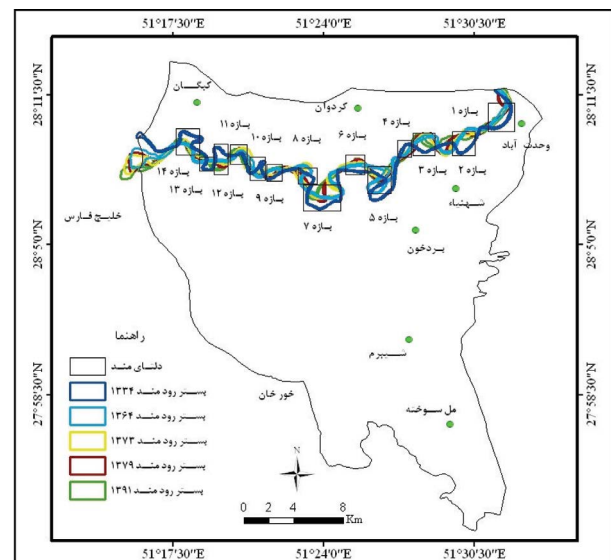
پوشش گیاهی: در طول بستر رود مند، گیاهان شور پسند زیادی (عمدتاً از نوع گز) رشد و نمو پیدا کرده‌اند (نگاره ۸). حتی

بازه‌های مورد مطالعه مربوط به سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۷۳ به ترتیب با ۵/۷۲ و ۵/۰۲ کیلومتر مربع بوده و کمترین آنها نیز مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳۴ به ترتیب با ۳/۷۷ و ۳/۸۴ کیلومتر مربع محاسبه گردید.



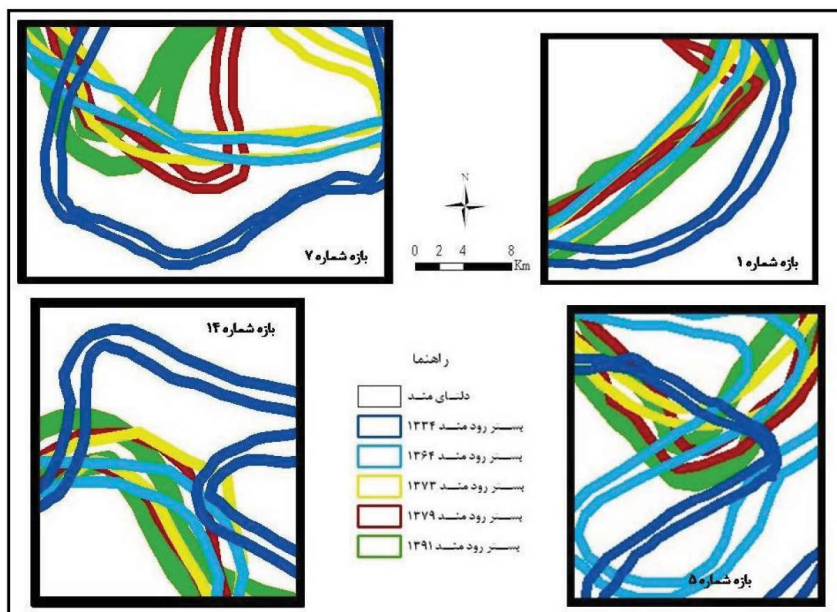
نگاره ۴: فراوانی زمین‌لرزه‌های رخ داده در دلتا و رأس آن (منبع: www.iiees.ac.ir)

بیشترین تغییرات مربوط به بازه‌های شماره ۱۰ و ۱۳ بوده که در بستر رود مند در این بازه‌ها به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۳۸ کیلومتر مربع توسعه پیدا کرده است. به‌طور کلی میانگین پهنه بستر رود مند در بازه‌های ۱۴ گانه از سال ۱۳۳۴ تا سال ۱۳۹۱، ۴/۵۵ کیلومتر مربع می‌باشد (جدول ۴).



نگاره ۵: بازه‌های طولی جهت محاسبه تغییرات مورفولوژی رود در دوره‌های مختلف

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور در آشکارسازی ... / ۳۵



نگاره ۶: نمایش برخی از بازه‌های مطالعه شده

جدول ۴: تغییرات پهنی فضایی رود مند در دوره‌های زمانی مورد مطالعه

تغییرات جابه‌جایی بستر رود مند در مقاطع طولی (کیلومتر مربع)									بازه
تفاضل -۱۳۳۴ ۱۳۹۱	تفاضل -۱۳۳۴ ۱۳۷۹	تفاضل -۱۳۳۴ ۱۳۷۳	تفاضل -۱۳۳۴ ۱۳۶۴	عرصه در سال ۱۳۹۱	عرصه در سال ۱۳۷۹	عرصه در سال ۱۳۷۳	عرصه در سال ۱۳۶۴	عرصه در سال ۱۳۳۴	
۰/۰۲	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۴۱	۰/۲۷	۰/۴	۰/۴۲	۰/۳۹	۱
۰/۰۱	-۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۰۲	۲۷۰	۰/۱۷	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۶	۲
۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۳	۰/۱۶	۰/۳۲	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۱۹	۳
۰/۲۵	-۰/۰۷	۰/۰۲	۰	۰/۴۳	۰/۱۱	۰/۲	۰/۱۸	۰/۱۸	۴
-۰/۰۳	۰/۰۷	-۰/۰۳	۰/۵۲	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۸۷	۰/۳۵	۵
۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۱۵	۶
-۰/۲۱	-۰/۱۱	۰/۲۶	-۰/۰۳	۰/۲۹	۰/۳۹	۰/۷۶	۰/۴۷	۰/۵	۷
۰/۲۸	۰	۰/۱	۰/۰۳	۰/۴۴	۰/۱۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۱۶	۸
۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۰۳	۰/۳۱	۰/۱۹	۰/۳۹	۰/۱۶	۰/۱۳	۹
۰/۴۴	-۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۷۲	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۲۸	۱۰
-۰/۰۱	۰/۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۲۶	۰/۱۹	۱۱
۰/۲۴	-۰/۰۳	-۰/۱۲	-۰/۱۴	۰/۵۳	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۹	۱۲
۰/۳۸	-۰/۰۴	۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۶۰	۰/۱۸	۰/۲۶	۰/۱۶	۰/۲۲	۱۳
۰/۱۸	-۰/۱۳	۰/۰۱	-۰/۲۵	۰/۷۱	۰/۴	۰/۵۴	۰/۲۸	۰/۵۳	۱۴
۱/۹۲	-۰/۰۵	۱/۱۸	۰/۵۵	۵/۷۳	۳/۷۷	۵/۰۲	۴/۳۹	۳/۸۴	مجموع

بر ثانیه بوده، حداکثر و حداقل دبی ثبت شده ۱۷۰/۹۴ و ۴/۱۶ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۸۶ می‌باشد. همچنین حداکثر و حداقل دبی ماهیانه نیز به ترتیب مربوط به ماه‌های دی و شهریور با ۱۰۹/۵۸ و ۵/۲۹ مترمکعب بر ثانیه است.

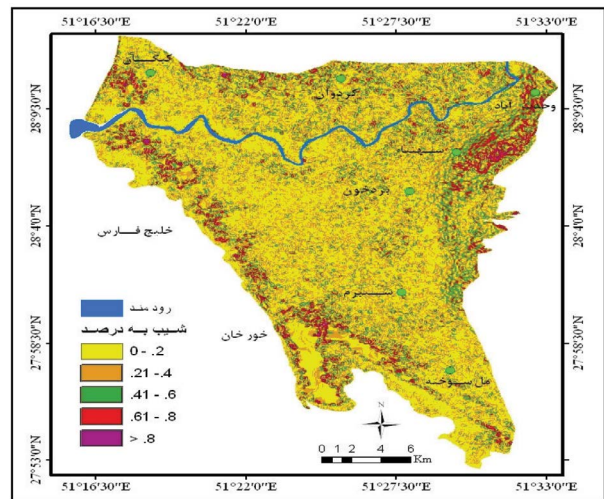


نگاره ۸: پوشش گیاهی شور پسند در بستر رود مند (نگاه از شرق)

آمار فوق نشان می‌دهد که مقدار ورودی آب به بستر رود مند قابل توجه بوده که نقش زیادی در جابه‌جایی و انتقال رسوب از سطح حوضه آبریز مند به سطح دلتا ایفا می‌کند. همچنین بایستی گفت که در ماه‌های آذر و دی رود مند حالت سیلابی داشته و منشأ برخی از پیچان‌رودها همین سیلاب‌ها می‌باشند (نگاره ۹). سیلاب‌ها کند و کاو اولیه را انجام داده و در بقیه روزهای سال حفر همان قسمت توسط رود مند صورت گرفته و در سیلاب‌های بعدی، پیچان‌رود تازه شکل گرفته، توسعه بیشتری می‌یابد.

میانگین رسوب سالیانه در طی دوره آماری ۱۳۴۸-۱۳۸۹ در این ایستگاه ۱۷۰۳/۹۰۹ تن می‌باشد. علاوه بر این، حداکثر و حداقل رسوب ثبت شده به ترتیب ۵۲۵۲/۸۷ و ۱۳۰/۸۱ تن مربوط به سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۷۷ است. بر اساس آمار موجود حداقل و حداکثر رسوب ثبت شده به ترتیب مربوط به ماه‌های تیر و دی با مقادیر ۱۱۶/۲۷ و

در مسیرهای قبلی رود نیز این نوع پوشش گیاهی به‌طور انبوه مشاهده می‌شوند. تراکم گیاهان مانع بسیار خوبی برای دام انداختن رسوبات همراه رود در بستر رود است و به‌مرور زمان یک سد رسوبی در پشت خود به وجود می‌آورند و به دلیل شیب کم بستر، رودخانه توان فرسایش و حمل بالایی نداشته و به همین دلیل رود برای رسیدن به دریا (سطح اساس) بایستی مسیر خود را تغییر دهد. علاوه بر این به دلیل مهیا بودن شرایط زیستی، خود پوشش گیاهی نیز توسعه و گسترش قابل توجهی دارد. از رأس دلتا به سمت قاعده میزان پوشش گیاهی افزایش می‌یابد و حتی در قسمت قاعده رود این پوشش گیاهی باعث به وجود آمدن یک اکوسیستم طبیعی جالب شده است که گونه‌های مختلف جانوری را در خود جای داده، به‌طوری که این قسمت از طرف سازمان‌های مربوط به محیط‌زیست، منطقه حفاظت شده و ممنوعه اعلام گردیده است.



نگاره ۷: تقسیم‌بندی شیب در سطح دلتا (به درصد)

دبی و رسوب حوضه آبریز مند: نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری به رأس دلتا، ایستگاه قنطره بوده که در خروجی حوضه آبریز مند واقع شده است. بر اساس آمارهای ثبت شده این ایستگاه طی سال‌های ۱۳۴۸-۱۳۸۹، بر اساس میانگین این ایستگاه متوسط دبی سالیانه ۳۹/۵ مترمکعب

اقدامات انسانی: اقدامات انسانی در بحث تغییر مورفولوژی بستر مند محدود به دو بخش مربوط به اقدامات در سطح حوضه آبریز مند و سطح دلتا می‌شود. در سطح حوضه عمده‌ترین فعالیت انسان ایجاد سدهای بزرگ و مخزنی و سدهای تنظیمی می‌باشد که سالیانه حدود ۱۷۳۶/۰۲ میلیون مترمکعب آب را در خود نگه می‌دارند (وزارت نیرو، ۱۳۹۱). به عبارت دیگر حجم مخزنی این سدها از خروج این مقدار آب جلوگیری می‌کنند. در این میان سه سد سلمان فارسی، دهرود و میرازی شیرازی به ترتیب بیشترین نقش را در عدم خروج آب از حوضه آبریز مند ایفا می‌کنند. در مجموع می‌توان گفت که سدها در حوضه آبریز مند به عنوان تله‌های رسوبی و آبی، هر سال به‌طور قابل توجهی باعث کاهش شار رسوبی پایاب حوضه آبریز مند و تغییر در رژیم جریان رود مند شده است. در سطح دلتا نیز انسان با ایجاد یک پل در قسمت‌های میانی تغییراتی را در مورفولوژی بستر به وجود آورده است. برای تکمیل پل اقدام به ایجاد یک سکویی به طول ۳۰ متر در بستر رود مند کرده، که نظم طبیعی رود مند را به هم زده است (نگاره ۱۰). فقط در مواقع سیلابی و پراچی، رود مند از روی این مانع انسان‌ساخت عبور می‌کند و در بقیه ایام سال رود برای عبور به سمت چپ انحراف پیدا می‌کند. همین موضوع باعث شده است که در کناره چپ رود پیچان رود جدیدی شکل بگیرد. دیگر اقدام انسانی مربوط به ایجاد سایت پرورش میگو (۱۳۷۴)، سال احداث) در قسمت‌های انتهایی دلتا می‌باشد که برای تأمین آب حوضچه‌های آن از رود مند استفاده می‌کنند

۵۲۶۸/۲۰ تن می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که رسوب زیاد حوضه آبریز مند همراه با دبی فراوان رود مند در یک شیب آرام وارد دلتای مند شده و با توجه به این شیب آرام، از سرعت آب کاسته شده و فرایند به جاگذاری رسوب از رأس دلتا آغاز شده و همچنین با عنایت به حجم زیاد رسوب و به جاگذاری آن در بستر، دبی و رسوب یکی از عوامل مهم تغییر بستر رود مند می‌باشند.



نگاره ۹: پیچان‌رود ایجاد شده ناشی از سیلاب آذرماه ۱۳۹۲ (نگاه از شرق)

جنس مواد: مشاهده میدانی و برداشت نمونه‌های رسوبی از مناطق مختلف دلتا و نتایج حاصل از دانه‌بندی نمونه‌ها (جدول ۵) نشان داد که رسوبات منطقه ریزدانه بوده (ماسه ریز، مارن و رس) و منشأ یابی آنها نیز بیانگر این است که رسوبات منشأ رودخانه‌ای دارند. ریز بودن جنس مواد دلتا، امکان جابه‌جایی سریع بستر رود مند را مهیا کرده و بنابراین می‌توان گفت که ریز بودن جنس رسوبات یکی دیگر از دلایل جابه‌جایی بستر رود مند در بازه‌های زمانی و مکانی مورد مطالعه است.

جدول ۵: نتایج دانه‌بندی نمونه‌های رسوبی از رودخانه

شماره نمونه	اندازه دانه (میکرون)						
	63 >	63 - 125	125 - 250	250 - 500	500 - 1000	1000 - 2000	2000 <
1	42.87	44.21	7.28	4.29	0.9	0.25	0
2	19.83	57.9	12.79	9.29	0	0	0
3	44.96	48.66	5.59	0.53	0	0	0
4	12.17	51.11	36.67	0	0	0	0

نتیجه گیری

نتایج استخراج بستر رود مند با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نشان داد که تغییرات مورفولوژی بستر رود مند در طی سال‌های ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۱ بسیار زیاد بوده، به طوری که در مصب رود نزدیک به ۳/۵ کیلومتر جابه‌جایی بستر رخ داده است. کمترین میزان تغییرات بستر رود مند در مصب مربوط به سال ۱۳۷۹ بوده که با کاهش باران طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۷۹ رابطه‌ی مستقیمی دارد. طول بستر رود از ۵۱/۴۵ در سال ۱۳۳۴ به ۳۹/۸۷ کیلومتر رسیده که باعث کاهش سینوزیته رود شده و رود مند از حالت پیچان‌رودی به حالت موجی تغییر شکل داده است. همچنین این کاهش نیز بیانگر فعال شدن نوزمین ساخت در سال‌های اخیر نسبت به سال ۱۳۳۴ به‌عنوان سال پایه می‌باشد. در مقایسه با سال ۱۳۳۴، در سال ۱۳۹۱، ۴۲/۵۲ کیلومترمربع به کناره چپ اضافه شده در حالی که در کناره راست این مقدار ۳۳/۸ کیلومترمربع محاسبه گردید. علاوه بر این ۷/۶۶ کیلومترمربع از کناره چپ و ۴/۴۲ کیلومتر از کناره راست رود مند کاسته شده است. شیب آرام سطح دلتا، به طوری که در قسمت اعظم دلتا شیب کمتر از ۰/۶ درصد بوده و نقش زیادی در کاهش سرعت آب و به جاگذاری مواد رسوبی رود در بستر خود شده، عامل قابل توجهی در جابه‌جایی مسیر رود مند محسوب می‌شود. همچنین پوشش گیاهی کناره بستر و رود با به دام انداختن رسوبات و ایجاد سد در بستر رود، یکی دیگر از عوامل تغییر بستر رود مند است. انسان نیز با اقداماتی همچون ایجاد سد در سطح حوضه آبریز مند، ساخت پل سکوها‌ی حفاظتی در کف بستر و انتقال آب رود به سایت پرورش میگو باعث بر هم خوردن نظم طبیعی تغییر مسیر رود شده است. ریز بودن جنس رسوبات دلتا نیز از دیگر عواملی است که باعث شده رودخانه در طی زمان کوتاهی، تغییر مسیر شدیدی داشته باشد. به نظر می‌رسد که نتایج این تحقیق از دیدگاه ژئومورفولوژی کاربردی می‌تواند نقش مهمی را در مدیریت محیطی ایفا نماید.



نگاره ۱۰: ساخت سکویی در بستر رود مند ۱۳۹۳
(نگاه از شمال)



نگاره ۱۱: پمپاژ آب رود مند به حوضچه‌ها
(نگاه از شمال)

در اواخر بهار تا اواخر تابستان که دبی رود مند کاهش می‌یابد، به علت گرما و تبخیر زیاد، آب بیشتری از رود به سمت حوضچه‌های پمپاژ شده و باعث می‌شود که مقدار دبی ورودی رود مند به خلیج فارس کاهش چشمگیری پیدا کند و بالطبع مقدار رسوب کمتری به بخش مصب رود می‌رسد. همچنین انسان با توجه به نیاز خود جهت تأمین آب مورد نیاز حوضچه‌ها و همچنین اقدام به تثبیت مسیر رود مند در حاشیه حوضچه‌ها کرده که با این اقدام خود نظم طبیعی جابه‌جایی مورفولوژی مسیر رود را به هم زده است.

منابع و مأخذ

- ۱- ارشد، مرید و ابوالقاسمی؛ صالح، سعید، هادی؛ ۱۳۸۶، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجنش از دور (مطالعه موردی: رودخانه کارون از گتوند تا فارسیات (۸۲-۱۳۶۹))، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره ششم، صص ۱۹۴-۱۸۰.
- ۲- جعفری‌بیگللو، باقری سید شکری، نگهبان، صفرآباد؛ منصور، سجاد، سعید، طاهر؛ ۱۳۹۱، بررسی تغییرات بستر و ویژگی‌های رودخانه‌ی گیلانغرب در سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۸۱، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۲، صص ۸۲-۱۰۲.
- ۳- جهان‌دیده، احمدعلی؛ ۱۳۷۸، عوامل مؤثر بر فرسایش بادی در منطقه دشتی استان بوشهر، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، به راهنمایی حسن احمدی، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- حسین‌زاده، نوحه‌گر، صدوق، غلامی؛ محمدمهدی، احمد، سیدحسن، عنایت؛ ۱۳۹۱، بررسی تغییرات ژئومورفولوژیک رودخانه مهران بر روی دلتای میناب با استفاده از سنجنش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (استان هرمزگان، بندر لنگه)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲، صص ۵۳-۶۸.
- ۵- رضایی‌مقدم، پیروزی نژاد؛ محمدحسین، نوشین؛ ۱۳۹۳، بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۸۹، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۴۷، صص ۱۰۹-۱۳۲.
- ۶- سیف، نجمی؛ عبدا...، نجمه؛ ۱۳۹۲، بارزسازی تغییرات پیچان‌رودی کارون با استفاده از تصاویر چند زمانه IRS و Landsat، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۸، شماره ۳، صص ۲۱۱-۲۲۶.
- ۷- شریفی‌کیا، مال امیری؛ محمد، نعمت؛ ۱۳۹۲، آشکارسازی تغییرات مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۴۹-۱۶۰.
- ۸- معصومی، غریب رضا و معتمد؛ حمیدرضا، محمدرضا، احمد؛ ۱۳۹۰، بررسی مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه زهره در جلگه ساحلی هندیجان، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۳، شماره ۲، صص ۱۰۲-۱۱۲.
- ۹- وزارت نیرو، ۱۳۹۱، آمار مربوط به سدهای حوضه آبریزمند.
- ۱۰- یمانی، فخری؛ مجتبی، سیروس؛ ۱۳۹۱، بررسی عوامل مؤثر در تغییرات الگوی رودخانه جگین در جلگه ساحلی مکران، مجله جغرافیا، شماره ۳۴، صص ۱۴۱-۱۵۸.
- ۱۱- یمانی، حسین‌زاده؛ مجتبی، محمدمهدی؛ ۱۳۸۱، بررسی تغییرات الگوی رودخانه تالار در جلگه ساحلی دریای مازندران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۳، صص ۱۰۹-۱۲۲.
- ۱۲- یمانی، دولتی و زارعی؛ مجتبی، جواد، علی‌رضا؛ ۱۳۸۹، تأثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۹، صص ۱-۲۴.
- 13- Brice, J.C., 1974, Evolution of meander loops. Geological Society of America Bulletin 85, 581- 586.
- 14- Brice, J.C., 1977. Air Photo Interpretation of the Form and Behavior of Alluvial Rivers. Final Report to the U.S. Army Research Office—Durham. Washington University, St. Louis, MO. 10 pp.
- 15- Das. J., T. Dutta, A. Saraf. Remote Sensing and GIS Application In Change detection of the Barak River Channe, N. E. India, Journal of the Indian Society of Remote Sensing, Vol. 35, No. 4, pp 301- 3012.
- 16- Ghanavati, E. P. Z. Firouzabadi, A. A. Jangi and S. Khosravi 2007. Monitoring geomorphologic changes using Landsat TM and ETM data in the Hendijan River delta, southwest Iran, International Journal of Remote Sensing Vol. 29, No. 4, 20 February 2008, pp. 945-959.
- 17- Güneralp, I, B. L. Rhoads, 2010, Spatial autoregressive structure of meander evolution revisited, Geomorphology 120, 91-106.
- 18- Hickin, E.J., 1974, The development of meanders in natural river channels, American Journal of Science 274, 414-442.
- 19- Knighton, D., 1984. Fluvial Forms and Processes.

- of South American Earth Sciences 51, 28-44.
- 31- Schumm, S.A., 1963. Sinuosity of alluvial rivers on the Great Plains. Geol. Soc. Amer. Bull. 74, 1089-1100.
- 32- Termini, D., 2009. Experimental observations of flow and bed processes in large-amplitude meandering flume. Journal of Hydraulic Engineering 135, 575-587.
- 33- Yang, X, C. J. Damen, A. Van Zuidam, 1999, Satellite remote sensing and GIS for the analysis of channel migration changes in the active Yellow River Delta, China, Journal Of JAG, Vol 1, pp 146- 157.
- 34- www.iiees.ac.ir.
- Edward Arnold, Baltimore, Maryland. 218 pp.
- 20- Leopold, L.B., Wolman, M.G., 1957. River Channel Patterns — Braided, Meandering and Straight. Prof. Paper 282B. U.S. Geological Survey, Washington.
- 21- Lofthouse, C, A. Robert, 2008, Riffle-pool sequences and meander morphology, Geomorphology 99, pp 214-223,
- 22- Nanson, G.C., Hickin, E.J., 1983. Channel migration and incision on the Beatton River. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 109 (3), 327-337.
- 23- Nanson, G.C., Hickin, E.J., 1986. A statistical analysis of bank erosion and channel migration in Western Canada. Geological Society of America Bulletin 97 (8), 497-504.
- 24- Odgaard, A.J., 1987, Streambank erosion along two rivers in Iowa. Water Resources Research 23 (7), 1225-1236.
- 25- Orfeo, O. and Stevaux, J. 2002. Hydraulic and morphological characteristics of middle and upper reaches of the Parana´ River (Argentina and Brazil). J. Geomorphology, Vol. 44, No. 5, 309-322.
- 26- Pan. S., 2013, Application of Remote Sensing and GIS in studying changing river course in Bankura District, West Bengal, International Journal of Geomatics and Geosciences, Volume 4 Issue 1, pp 149- 163.
- 27- Po-Hung, Y., Namgyu, P., Kuang-An, Ch., HAMn-Ching, Ch., Briaud, J.L., 2009. Maximum migration distance of meander channel in sand using hyperbolic function approach. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 135 (8), 629-639.
- 28- Rangzan, K.M., Toolae Nezhad, M. and Piraste, S. 2002. Study the effects of rivers migration on civil structure in Khuzestan Plain using satellite data. Proc. of 6th International Conference of River Engineering in Ahvaz. 169-181.
- 29- Rhoads, B, M. Miller, 1991, Impact of Flow Variability on the Morphology of A Low- Energy Meandering River, Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 16, 357-367.
- 30- Roza, G., A. Nogueira, C. Soto Castro, 2014, Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over the period 1986- 2006, Journal