به کارگیری داده‌های سنجش از دور در آشکارسازی تغییرات پیچان‌رودی دلتای مند – بوشهر

سیاوش شایان[1] غلامرضا زارع[2]
مجتبی یمانی[3] محمد شریفی کیا[4]
محسن سلطان پور[5]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۹/۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۱۲/۱۵

****

چکیده

پیچان‌رودها یکی از اشکال تیپیک ژئومورفولوژیک بوده که به دلیل مهیا بودن شرایط محیطی در سواحل جنوبی کشور ایران به‌طور 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 رودِ مُند طیّ یک دوره ۵۷ ساله در پنج بازه زمانی (۱۳۳٤– ۱۳٦٤– ۱۳۷۳– ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱) استخراج و تحلیل شود. نتایج تحقیق نشان داد که در طی سال‌های ۱۳۳٤ تا ۱۳۹۱ تغییرات مورفولوژی بستر رود مند بسیار زیاد بوده، به‌طوری که در مصب رودخانه نزدیک به ۳/۵ کیلومتر جا به جایی بستر مشاهده گردید. مقایسه فضایی بستر رود در سال ۱۳۳٤ نسبت به سال ۱۳۹۱، بیانگر این مطلب بوده که ٤۲/۵۲ 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، پیچان‌رود، 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
٤- دانشیار گروه سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس
۵- دانشیار گروه عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

مقدمه

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[1]، ۱۹۵۷، ۲)*. در میان پدیده‌های سطح زمین، رودهای مئاندری دارای بیشترین میزان فعالیت هستند *(گونرالپ و روآدس[2]، ۲۰۱۰، ۹۲)*. یک رود مئاندری تغییرات مشخصی در موقعیت، هم چون جا به جایی در میان دشت سیلابی دارد *(هیکن[3]، ۱۹۷٤، ٤١٤)*. 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[4]، ۲۰۰۹، ۵۷٦)*. 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[5]، ۱۹۷٤، 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[6]، ۱۹٦۳، ۱۰۹۰)*. کاهش تدریجی شیب در سطح دشت ها، غالباً منجر به توسعه پیچان‌رودها و به جا گذاری رسوب در بستر رودها می‌شود *(لافتهوس و روبرت[7]، ۲۰۰۸، ۲۱٤)*. سرعت جابه‌جایی آبراهه به مقاومت فرسایشی کناره‌های مقعر *(نانسون[8] و هیکن، ۱۹۸٦، ٤۹۸)*، مدت زمان و بزرگی جریان *(اودگارد[9]، ۱۹۸۷، ۱۲۲٦)*، شعاع انحنای آبراهه *(نانسون و هیکن، ۱۹۸۳، ٤۹۸)*، مقدار حجم رسوب جریان *(پوهانگ[10] و همکاران، ۲۰۰۹، ٦۳۰)*، بستگی دارد. جابه‌جایی آبراهه یک فرایند غیردائمی بوده که در نتیجه حوادث هیدرولوژیکی رخ می‌دهند *(برایس[11]، ۱۹۷۷، ۵۸۲)*. واکنش آبراهه‌های رود با توجه به فراوانی و بزرگای متفاوت رخدادهای هیدرولوژیک، موضوعی بنیادین در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای می‌باشد *(روآدس و میلر[12]، ۱۹۹۱، ۳۵۸)*. در مراحل اولیه، تقاطع جابه‌جایی خمیدگی آبراهه به محور اصلی دره بوده اما در مراحل بعدی خمیدگی‌ها در جهت دره توسعه می‌یابند *(کنایتون[13]، ۱۹۸٤، 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[14] و همکاران، ۱۹۹۹، ۱٤۷)*. 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، ۱٤٦)* 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 ۱۹۷٦ تا ۱۹۸۷ میزان جابه‌جایی رود کاهش یافته اما بعد از سال ۱۹۸۷ روند تغییرات افزایش یافته است. داس[15] 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 بالاآمدگی بخش جنوبی دره رود باراک است. پن[16] *(۲۰۱۳، ۱٤۹)* در تحقیقی به بررسی تغییرات رود بانکرا در غرب بنگال با استفاده تصاویر

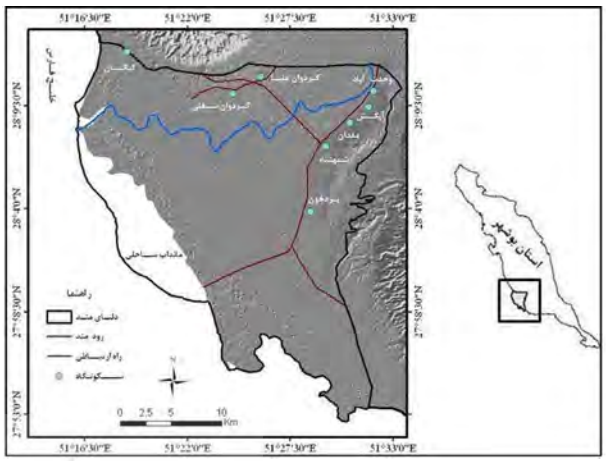
1- Leopold and Wolman
2- Güneralp and Rhoads.
3 - Hickin
4 - Termini
5 - Brice
6 - Schumm
7 - Lofthouse and Rober
8 - Nanson
9 - Odgaard
10 - Po- Hung
11 - Brice
12 - Miller
13 - Knighton
14 - Yang
15 - Das
16 - Pan

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[1] و همکاران *(۲۰۱٤، ۲۸)* با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تغییرات مسیر رود آمازون علیا را طی سال‌های ۱۹۸٦ تا ۲۰۰٦ میلادی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سیستم این رود یک روند نهشته‌ای بین سال‌های ۱۹۸٦ تا ۲۰۰٦ دارد که فرسایش آن شدیدتر از رسوب‌گذاری بین سال‌های ۱۹۹٤ تا ۲۰۰۱ می‌باشد. از دیگر تحقیقات خارجی در زمینه به‌کارگیری سنجش از دور در مطالعات پیچان‌رودها می‌توان به رنگزن[2] و همکاران *(۲۰۰۲، ۱٦۹)*، اورفو و استکوس[3] *(۲۰۰۲، ۳۰۹)*، قنواتی[4] و همکاران *(۲۰۰۷، ۹٤٥)*، اشاره کرد. در ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته که از جمله آنها موارد زیر می‌باشد: ارشد و همکاران *(۱۳۸٦، ۱۸۰)* در پژوهشی روند تغییرات مورفولوژیکی 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 انحنای 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 به‌طوری که تشکیل مئاندرهای جدید و متروک شدن بخش‌هایی از مسیر کانال نتیجه همین جابه‌جایی می‌باشد. شریفی‌کیا و همکاران *(۱۳۹۲، ۱٤۹)* در پژوهشی اقدام به آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رود هیرمند کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر در الگوی فضایی رود به دنبال تغییر در الگوی هندسی آن شکل گرفته، به‌طوری که سطح اشغال آن ۳۱/۵ درصد افزایش یافته و از رقم ۱/۹ میلیون مترمربع در سال ۱۳۳٤ به بیش از ۲/۵ میلیون مترمربع در سال ۱۳۹۰ رسیده است. رضایی‌مقدم و همکاران *(۱۳۹۳، ۱۰۹)* 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، به‌طوری که بعضی از قسمت‌های رود بیش از ٤۰۰ متر جابه‌جایی داشته است. از دیگر تحقیقات نیز می‌توان به خلاصه یمانی و همکار *(۱۳۸۱، ۱۰۹)*، جعفر بیگلو و همکاران *(۱۳۹۱، ۸۲)*، معصومی و همکاران *(۱۳۹۰، ۱۰۲)*، یمانی و همکاران *(۱۳۸۹، ۱)*، یمانی و همکار *(۱۳۹۱، ۱٤۱)* 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 به‌طور 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 می دهد. 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

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

زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در زون چین‌خورده زاگرس واقع شده است. این زون زمین‌شناسی که کوه‌های زاگرس را در بر دارد در جنوب‌غربی 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 شمال‌غربی به جنوب‌شرقی است. رسوبات چین‌خورده این منطقه متناوباً از آهک یا دولومیت همراه با مارن و مارن‌های آهکی و گچ بوده که با چینه‌بندی 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 به‌صورت کنونی درآورده است. ارتفاعات شرق و جنوب‌شرق 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 آبراهه‌های محدوده تابعی از شیب و توپوگرافی و جنس لایه‌ها است که عمدتاً به‌صورت درختی می‌باشد. کیفیت آب‌های جاری تابعی از ترکیب شیمیایی مسیر آب بود، به‌طوری 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 پایین‌دست 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 به‌طوری 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 ۱:۵۰۰۰۰ مند برگرفته از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

ب) داده‌های سنجش از دوری شامل: تصویر ماهواره‌ای استرویی 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.

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 (۱۳۳٤، ۱۳٦٤، ۱۳۷۳، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۱) صورت گرفت و عکس‌های هوایی سال ۱۳۳٤ شمسی به‌عنوان تصویر پایه و تصاویر ماهواره‌ای IRS (۱۳۹۱ شمسی) هند به‌عنوان داده انتهایی انتخاب گردیدند. در مرحله بعد تصویر ماهواره‌ای IRS، عکس‌های هوایی ۱۳۳٤ 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 (۰/۰۰۲٤) 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 ۱٤ 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:

رابطه ۱: $S= T/ L$

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 توجه به آستانه‌های زیر اثبات کرد:

جدول ۱: مورفولوژی رود بر اساس شاخص سینوزیته

(لئوپولد و ولمن، ۱۹۵۷)

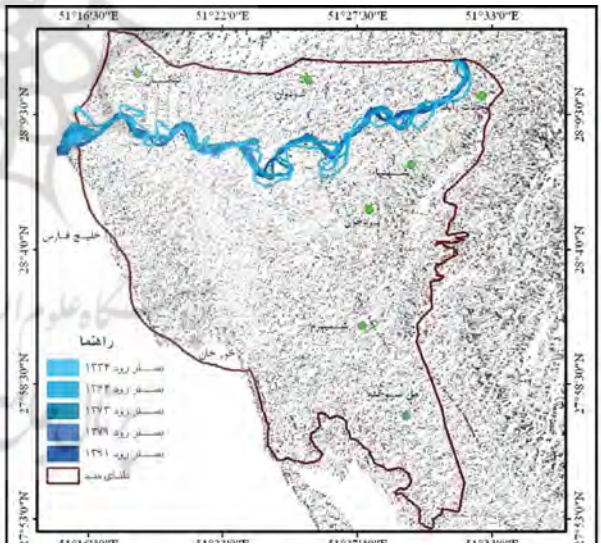
عدد محاسبه شده سینوزیته	شرایط رود
S= ۱/۰۵	مستقیم
S=۱/۰۵-۱/۵	سینوسی
S= > ۱/۵	پیچان‌رودی

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). به‌طوری 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 ۱۳۳٤ 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 (۱۳۳٤) برای سال‌های ۱۳٦٤، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۹ به ترتیب ۲/٤۳، 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

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 ۱۳۳٤، برای سال‌های ۱۳٦٤، ۱۳۷۳ و ۱۳۷۹ در رأس دلتا به ترتیب ۱٦۲، ۲۳۵ و ۲۵۸ متر محاسبه گردید. اما در دیگر قسمت‌های رود در مقطع طولی نظم خاصی دیده نمی‌شود، به عبارت دیگر رود مند به‌طور نامنظم تغییر مسیر داده است. به‌عنوان مثال در قسمت‌های میانی رود مند در سطح دلتا تغییر مسیر سال ۱۳۷۳ نسبت به سال ۱۳۳٤، ٦٤۲ متر بوده در حالی که این اختلاف مسیر در سال ۱۳۹۱ به ٤۲۰ 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 بازهای زمانی مورد مطالعه *(نویسندگان، ۱۳۹٤)*

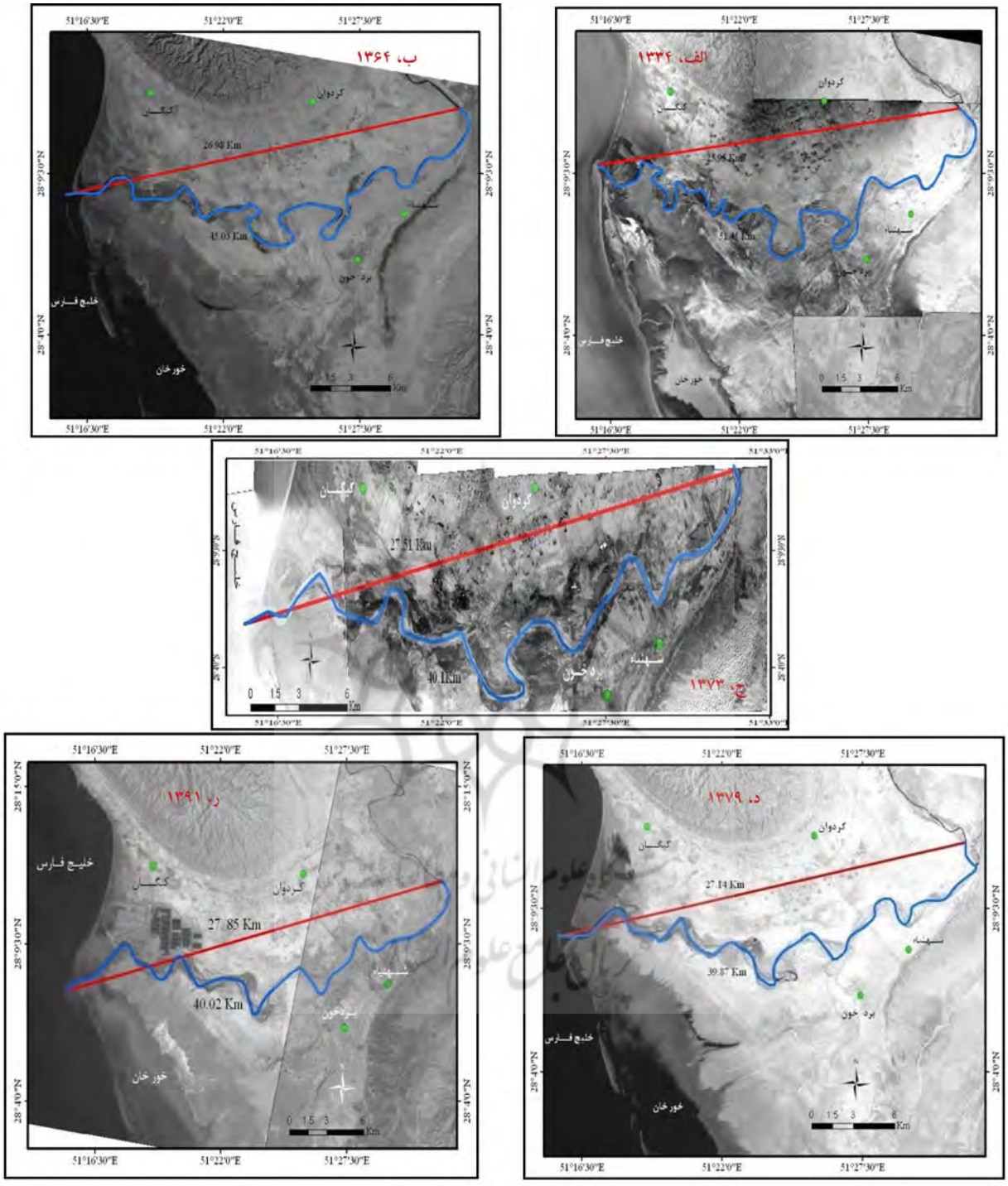
میزان سینوزیته رودخانه مند بحث مهمی می‌باشد که برای ۵ بازه زمانی محاسبه گردید (نگاره ۳، جدول ۲). بر این اساس میزان سینوزیته رود در سال ۱۳۳٤، ۱/۹۸ به دست آمد که بر طبق مدل بیانگر حالت پیچان‌رودی، رود مند می‌باشد، اما در بازه‌های بعدی از این میزان کاسته شده به‌طوری که در سال ۱۳۹۱ این میزان به ۱/٤٤ رسیده است. به بیان دیگر رود مند از حالت پیچان‌رودی به حالت موجی (سینوسی) تغییر شکل داده است. مطلب دیگر راجع به طول مسیر رود مند است که در سال ۱۳۳٤ طول مسیر رود از رأس دلتا تا مصب ۵۱/٤۵ 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 ۱۳۳٤ 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 کاکی 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 (m) λ	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 ٤). بزرگای زمین‌لرزه‌ها بر حسب ریشتر می‌باشد.

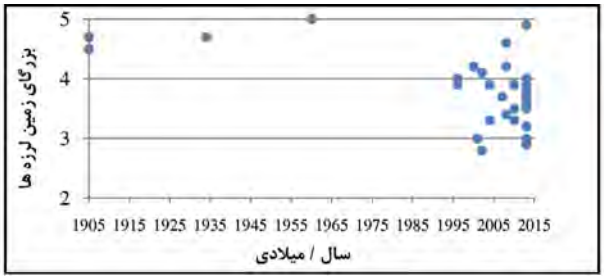
در ادامه جهت مشخص کردن روند تغییرات بستر، محاسبه بهتر تغییر الگوی هندسی و تحلیل فضایی کامل‌تر



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

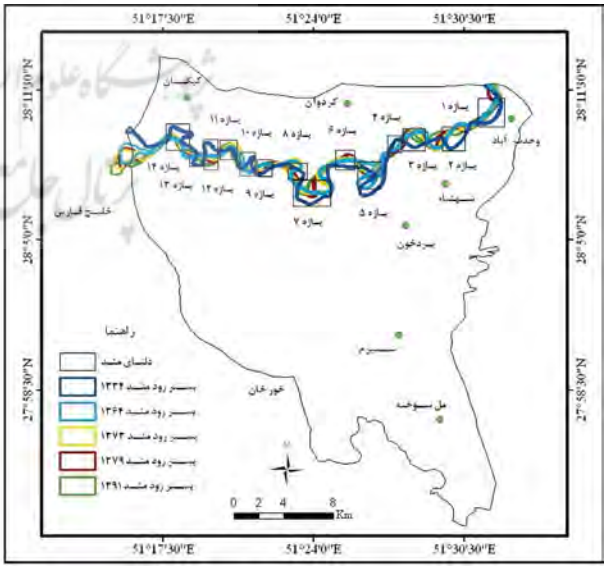
بستر، مقاطع طولی رود مند به ١٤ بازه تقسیم گردید (نگاره‌های ۵ و ٦). بیشترین تغییر مسیر رود مند نسبت به سال مبدأ در کناره چپ رود مند با ٤٢/٥٢ کیلومترمربع رخ داده در حالی که در کناره راست رود افزایش بستر ۳۳/۸ کیلومترمربع محاسبه گردید. مقایسه بازه‌های زمانی نشان می‌دهد که کمترین مقدار کاهش مربوط به بازه‌های زمانی (١٣٣٤– ١٣٧٩) با ۰/۱ کیلومترمربع در کناره چپ و راست رخ داده است (جدول ۳). بیشترین پهنه رود مند در

بازه‌های مورد مطالعه مربوط به سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۷۳ به ترتیب با ۵/۷۲ و ۵/۰۲ کیلومترمربع بوده و کمترین آنها نیز مربوط به سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۳٤ به ترتیب با ۳/۷۷ و ۳/۸٤ کیلومترمربع محاسبه گردید.



نگاره ٤: 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 ۰/٤٤ و ۰/۳۸ کیلومترمربع توسعه پیدا کرده است. به‌طور کلی میانگین پهنه بستر رود مند در بازه‌های ١٤ گانه از سال ۱۳۳٤ تا سال ۱۳۹۱، ٤/۵۵ کیلومترمربع می‌باشد (جدول ٤).



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

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

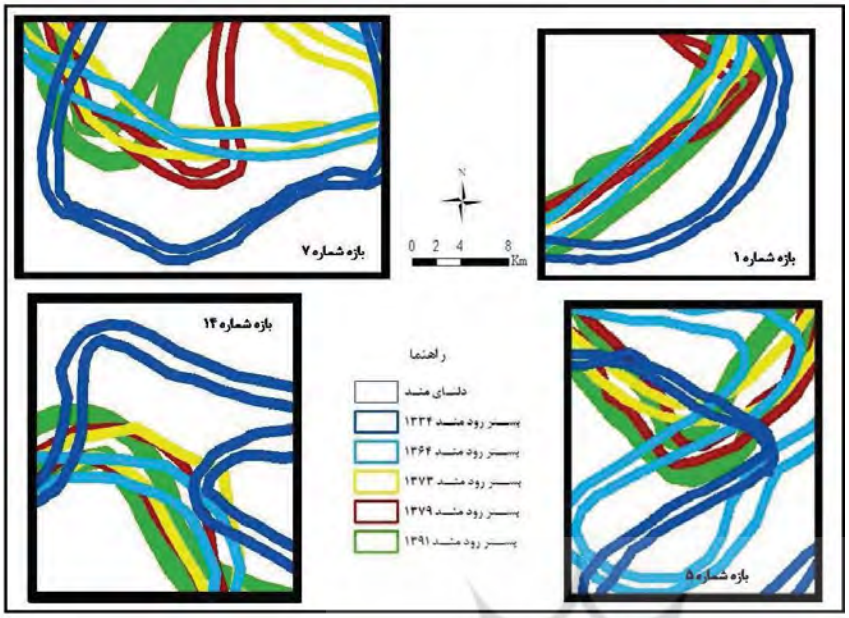
سال	تغییر در کناره چپ		تغییر در کناره راست	
	کاهش	افزایش	کاهش	افزایش
۱۳۹۱ -۱۳۳۴	۷/۶۶	۴۲/۵۲	۴/۴۲	۳۳/۸
۱۳۷۹ -۱۳۳۴	/۱	۹/۹۶	/۱	۵/۴۲
۱۳۷۳ -۱۳۳۴	/۱۲۶	۸/۴	/۱۳۵	۵/۵۷
۱۳۶۴ -۱۳۳۴	/۱۳۷	۹/۰۴	/۱۱۲	۳/۹۶

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 به‌طوری 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 این‌که 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 به‌جا 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

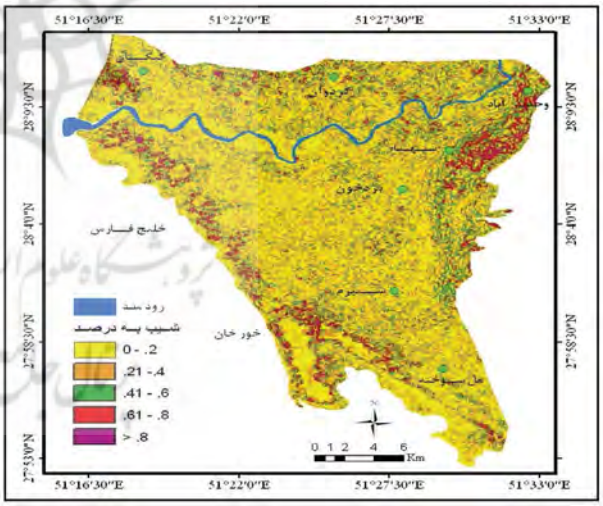


نگاره ٦: نمایش برخی از بازهای مطالعه شده

جدول ٤: تغییرات پهنه‌ی فضایی رود مند در دوره‌های زمانی مورد مطالعه

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

در مسیرهای قبلی رود نیز این نوع پوشش گیاهی به‌طور انبوه مشاهده می‌شوند. تراکم گیاهان مانع بسیار خوبی برای به 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 بر ثانیه بوده، حداکثر و حداقل دبی ثبت شده ۱۷۰/۹٤ و ٤/۱٦ مترمکعب بر ثانیه به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۸٦ می‌باشد. همچنین حداکثر و حداقل دبی ماهیانه نیز به ترتیب مربوط به ماه‌های دی و شهریور با ۱۰۹/۵۸و 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 ۱۳٤۸– 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 ۱۱٦/۲۷ و

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.

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 پرآبی، 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 پیچان‌رود جدیدی شکل بگیرد. دیگر اقدام انسانی مربوط به ایجاد سایت پرورش میگو (۱۳۷٤، سال احداث) در قسمت‌های انتهایی دلتا می‌باشد که برای تأمین آب حوضچه‌های آن از رود مند استفاده می‌کنند

جدول ۵: نتایج دانه‌بندی نمونه‌های رسوبی از رودخانه

اندازه دانه (میکرون) / شماره نمونه	موقعیت نسبی	2000 <	1000 – 2000	500 – 1000	250 – 500	125 – 250	63 – 125	63>
1	رأس دلتا	0	0.25	0.9	4.29	7.28	44.21	42.87
2	قسمت میانی	0	0	0	9.29	12.79	57.9	19.83
3	قسمت میانی	0	0	0	0.53	5.59	48.66	44.96
4	قاعده دلتا	0	0	0	0	36.67	51.11	12.17

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.

نتیجه‌گیری

نتایج استخراج بستر رود مند با استفاده از داده‌های سنجش از دور، نشان داد که تغییرات مورفولوژی بستر رود مند در طی سال‌های ۱۳۳٤ تا ۱۳۹۱ بسیار زیاد بوده، به‌طوری 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 ۵۱/٤۵ در سال ۱۳۳٤ 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 ۱۳۳٤ به‌عنوان سال پایه می‌باشد. در مقایسه با سال ۱۳۳٤، در سال ۱۳۹۱، ٤۲/۵۲ کیلومترمربع به کناره چپ اضافه شده در حالی که در کناره راست این مقدار ۳۳/۸ کیلومترمربع محاسبه گردید. علاوه بر این ۷/٦٦ کیلومترمربع از کناره چپ و ٤/٤۲ کیلومتر از کناره راست رود مند کاسته شده است. شیب آرام سطح دلتا، به‌طوری که در قسمت اعظم دلتا شیب کمتر از ۰/٦ 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.

منابع و مآخذ

۱- ارشد، مرید و ابوالقاسمی؛ صالح، سعید، هادی؛ ۱۳۸٦، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: رودخانه کارون از گتوند تا فارسیات (۸۲- ۱۳٦۹))، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد چهاردهم، شماره ششم، صص ۱۹٤- ۱۸۰.

۲- جعفربیگلو، باقری سید شکری، نگهبان، صفرراد؛ منصور، سجاد، سعید، طاهر؛ ۱۳۹۱، بررسی تغییرات بستر و ویژگی‌های رودخانه‌ی گیلانغرب در سال‌های ۱۳٤٤ 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.

٤- حسین‌زاده، نوحه‌گر، صدوق، غلامی؛ محمدمهدی، احمد، سیدحسن، عنایت؛۱۳۹۱، بررسی تغییرات ژئومورفولوژیک رودخانه مهران بر روی دلتای میناب با استفاده از سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (استان هرمزگان، بندر لنگه)، مجله پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲، صص ۵۳- ٦۸.

۵- رضایی‌مقدم، پیروزی نژاد؛ محمدحسین، نوشین؛ ۱۳۹۳، بررسی تغییرات مجرا و فرسایش کناره‌ای در رودخانه گاماسیاب از سال ۱۳۳٤ تا ۱۳۸۹، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ٤۷، صص ۱۰۹- ۱۳۲.

٦- 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- ۲۲٦.

۷- شریفی‌کیا، مال امیری؛ محمد، نعمت؛ ۱۳۹۲، آشکارسازی تغییرات مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن، مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ٤، صص ۱٤۹- ۱٦۰.

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 آبریز مند.

۱۰- یمانی، فخری؛ مجتبی، سیروس؛ ۱۳۹۱، بررسی عوامل مؤثر در تغییرات الگوی رودخانه جگین در جلگه ساحلی مکران، مجله جغرافیا، شماره ۳٤، صص ۱٤۱- ۱۵۸.

۱۱- یمانی، حسین‌زاده؛ مجتبی، محمدمهدی؛ ۱۳۸۱، بررسی تغییرات الگوی رودخانه تالار در جلگه ساحلی دریای مازندران، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ٤۳، 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- ۲٤.

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- GhanavatiI, E. P. Z. Firouzabadi, A. A. Jangi and S. KhosraviI 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.

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., Toolaee 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- Rozo. 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 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.