

## آلومتری پارامترهای هندسی رودخانه دالکی و نقش آن در توسعه، تحول و تکامل ماندهای دشت ارژن

مصطفی خبازی\* - استادیار ژئومورفولوژی، بخش جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان  
علی علیایی - کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و GIS دانشگاه آزاد، واحد یزد  
علی المدرسی - دانشیار گروه سنجش‌از دور و GIS، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۱۲/۰۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۸/۲۸

### چکیده

رودخانه‌های طبیعی تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف، پیوسته از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در حال تغییرند. رودخانه از نظر ژئومورفیک بی‌تردید پدیده‌ای پویاست و شواهد مورفولوژیک زمین‌شناسی حاکی از آن است که بیشتر رودخانه‌ها در معرض تغییرات مستمر قرار دارند. در این پژوهش مورفولوژی رودخانه دالکی در استان‌های فارس و بوشهر با مقایسه زمانی - مکانی مورد بررسی قرار گرفته است، لذا با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد این رودخانه و فراوانی ماندهای تشکیل شده در طول مسیر رودخانه دالکی تصمیم گرفته شد با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌از دور و GIS در یک بازه زمانی ۳۸ ساله و داده‌هایی شامل نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، ۱/۲۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده‌های MSS و OLI تغییرات رودخانه مورد بررسی قرار گیرد. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید و مسیر رودخانه به ۴ بخش تقسیم شد و به وسیله برازش دایره‌های مماس بر قوس پارامترهای هندسی رودخانه مانند ضریب خمیدگی، شعاع نسبی، طول موج، زاویه مرکزی، طول خط مرکزی و میانگین شعاع دایره محاسبه و تغییرات به وجود آمده در ۴ بخش در طول مسیر رودخانه با توجه به شکل و الگوی رودخانه مورد مقایسه قرار گرفته است. با مقایسه پارامترهای هندسی به دست آمده در بخش‌های مورد مطالعه نتیجه این شد که ضریب پیچشی در تمام بخش‌ها افزایش داشته به گونه‌ای که در بخش ۴، رودخانه در حال گذر از حالت پیچان رودی به سمت حالت پیچان رودی شدید و متوسط ضریب پیچشی از ۱/۸۴ به ۱/۹۶ افزایش پیدا کرده است. بخش‌های ۱، ۲ و ۳ این رودخانه از نظر توسعه پیچان رودی در رده پیچان رودی زیاد توسعه یافته قرار دارد و بخش ۴ در رده رودخانه شاخ گاو قرار دارد.

واژگان کلیدی: آلومتری، رودخانه، دالکی، پارامترهای هندسی، تغییرات رودخانه

## مقدمه

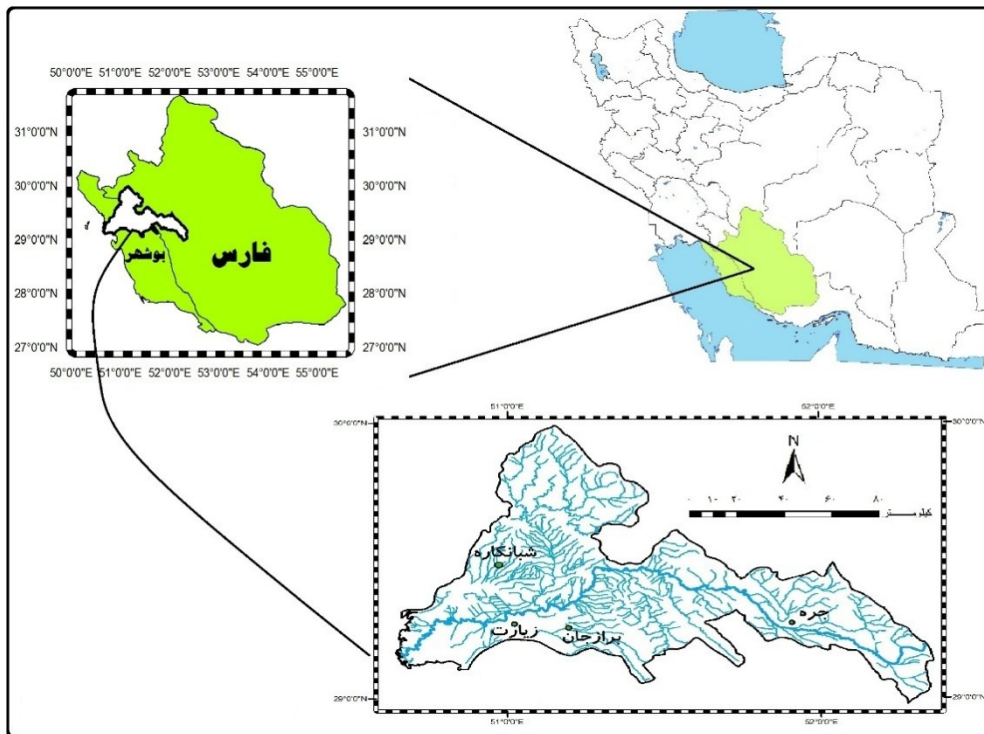
پیدایش و شکل‌گیری رودخانه‌ها متأثر از عوامل مختلفی چون شرایط آب و هوایی، زمین‌شناسی و جغرافیای منطقه است. یک رودخانه ممکن است از نظر فرسایش در سازندی مقاوم تشکیل شود در این صورت موقعیت و ابعاد آن ثابت می‌ماند. از جانب دیگر رودخانه می‌تواند در مصالح آبرفتی فرسایشی نمایان شود. در چنین حالتی یک تمایل همیشگی برای تغییر پیوسته موقعیت رودخانه از طریق فرسایش و تشکیل مجدد دیواره‌های ساحلی یا کناره‌ها به‌وضوح قابل مشاهده است. بنابراین، شناسایی پدیده‌های ژئومورفیک و زمین‌شناختی که باعث تغییر الگوی هندسی رودخانه و ناپایداری بستر می‌شود امری ضروری است. مورفولوژی رودخانه به فاکتورهای متعددی چون تغییرات جریان آب، شیب بستر، سطح مقطع رودخانه، زمین‌شناسی منطقه و نیز زمان لازم برای شکل‌گیری و تغییر شکل رودخانه بستگی دارد. با بررسی و شناخت دقیق این عوامل می‌توان الگوی رفتاری صحیح رودخانه را به دست آورد و به واکنش طبیعی و تغییرات احتمالی رودخانه پی برد (احمدی، ۱۳۶۷:۲۲۱). شرایط زمین‌شناسی و لیتولوژی هر منطقه‌ای از عوامل اصلی کنترل‌کننده رفتار رودخانه‌ها می‌باشد. جنس سنگ‌ها، نحوه قرارگیری لایه‌ها، میزان بالآمدگی ساختارهای زمین‌شناسی یا پایین‌افتادگی آن‌ها می‌تواند اثرات قابل ملاحظه‌ای روی مورفولوژی رودخانه‌ها و تغییرات مجرای آن‌ها داشته باشند. هر منطقه‌ای با توجه به شرایط خاص خود از سازندهای متنوع زمین‌شناسی تشکیل شده است که بر میزان نفوذپذیری آب، فرسایش، رسوب، الگوی هندسی رودخانه‌ها و ژئومورفولوژی حوضه‌های آبریز اثر می‌گذارد (فاطمی عقدا و همکاران ۱۳۸۰:۱۷۷). شن<sup>۱</sup> (۱۳۲، ۱۹۸۴) رودخانه‌ها را بر اساس معیار شعاع نسبی و کورنیش<sup>۲</sup> (۲۲۱، ۱۹۸۰) بر اساس معیار زاویه مرکز پیچان رود تقسیم‌بندی نموده‌اند. سیمون<sup>۳</sup> (۱۱۲، ۱۹۷۱) و شوم<sup>۴</sup> (۱۶۴، ۱۹۸۴) اثر جنس و فرسایش‌پذیری مواد دیواره‌ها را در تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها بررسی نموده و نتیجه گرفتند که در رودخانه‌های با مواد بستر درشت‌دانه، نسبت عرض به عمق رودخانه افزایش می‌یابد. در ایران نیز تلوری (۱۳۶۸) و آل یاسین (۱۳۷۹) در رودخانه کارون، غریب زاده و معصومی (۱۳۸۶) در رودخانه زهره، یمانی و حسین زاده (۱۳۸۰) در رودخانه‌های تالار و بابل، خصوصیات مورفومتری، فرسایش کناری و تغییرات زمانی و مکانی پیچان‌رودهای این رودخانه‌ها را بررسی نمودند. احمدیان یزدی (۲۰۰۱) تأثیرات پوشش گیاهی بر روی تغییرات ریخت‌شناسی رودخانه هریرود در منطقه سرخس را بررسی نمود. رودخانه دالکی در تکامل طبیعی خود دستخوش تغییر و تحولات مستمر گردیده است و مهم‌ترین علت این تغییرات جنس رسوبات و کاهش شیب منطقه است. مسئله اصلی تحقیق بررسی جابجایی مسیر رودخانه دالکی با مقایسه تغییرات زمانی - مکانی است. بنابراین با توجه به وجود فرسایش کناری و تغییرات مورفولوژی رودخانه، تغییرات رودخانه در یک دوره زمانی ۳۸ ساله مورد بررسی قرار گرفت. با این هدف، شناسایی متغیرهای مؤثر در ناپایداری‌های بستر برای شناخت الگوی رودخانه، روند تغییرات و جابجایی مسیر رودخانه در یک دوره زمانی طولانی‌مدت و بررسی عوامل و مکانیزم تغییرات بستر ضروری است. این کار با به‌کارگیری و استفاده از مطالعات قبلی و محاسبه پارامترهای هندسی رودخانه پایه‌ریزی شده است.

## محدوده مورد مطالعه

حوضه رودخانه دالکی در جنوب غربی ایران واقع شده است. این حوضه از نظر محدوده سیاسی در داخل دو استان فارس و بوشهر قرار گرفته است. از نظر اقلیمی حوضه مورد مطالعه دارای اقلیمی از نوع مدیترانه‌ای است و میزان متوسط بارندگی سالانه و دمای میانگین سالانه این حوضه به ترتیب ۳۲۵ میلی‌متر و ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از غرب به شرق و

<sup>۱</sup>Shen, H.W.1971<sup>۲</sup>Kornish,MRS.1980<sup>۳</sup>Simons.D.B.1971<sup>۴</sup>Schumm,S.A.1984

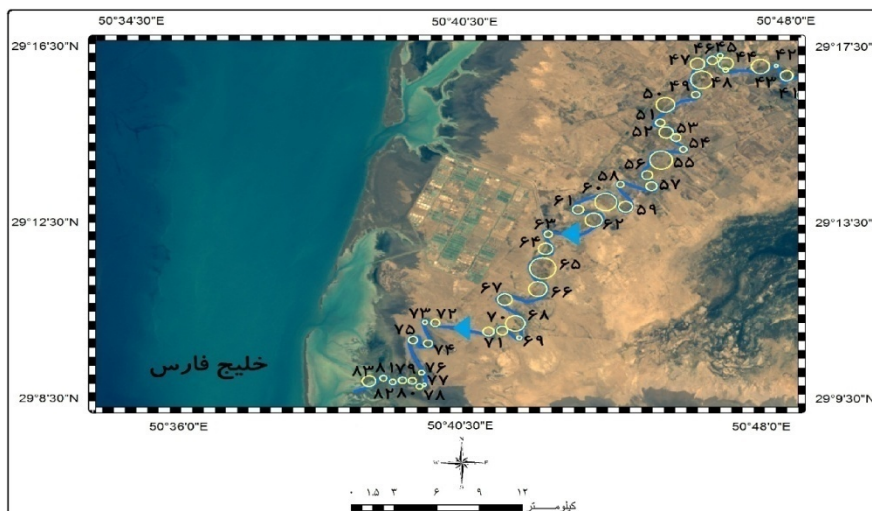
از جنوب به شمال میزان بارندگی حوضه افزایش می‌یابد. در ایستگاه هیرومتری سرقنات دبی متوسط رودخانه دالکی معادل ۱۳/۷۰ مترمکعب در ثانیه برآورد گردیده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز دالکی

### مواد و روش‌ها

برای بررسی تغییرات مکانی و زمانی مسیر رودخانه دالکی داده‌های اصلی پژوهش را تصاویر ماهواره لندست سال ۲۰۱۳ میلادی و لندست سال ۱۹۷۵ میلادی به ترتیب سنجنده های OLI و MSS، نقشه‌های رقومی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی و نقشه شیب منطقه تشکیل داده‌اند. به‌منظور بررسی بهتر وضعیت مورفولوژی و مقایسه مشخصات هندسی اندازه‌گیری شده، رودخانه به بخش‌های کهمره سرخی - جره، جره - دالکی، دالکی - درودگاه، درودگاه - خلیج فارس تقسیم شد و در نرم‌افزار ArcGIS پلان مسیر رودخانه در سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی به‌صورت رقومی استخراج شد. پارامترهای هندسی رودخانه نظیر زاویه مرکزی، شعاع دایره، طول دره، طول موج، ضریب پیچشی، شعاع نسبی، طول خط مرکزی و تعداد پیچان‌رود در دو دوره ذکر شده با ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان‌رودهای رودخانه در نرم‌افزار اتوکد (Auto CAD) اندازه‌گیری شد. ابتدا مسیر رودخانه در دو دوره زمانی ذکر شده که در نرم‌افزار ArcGIS رقومی شده با فرمت اتوکد خروجی گرفته شد و سپس در نرم‌افزار اتوکد پس از ترسیم دایره‌های مماس بر پیچان‌رودها، پارامترهای هندسی مطابق جدول ۳ استخراج گردید. با استفاده از مسیرهای ترسیم‌شده تغییرات رودخانه در گذشته و حال نسبت به هم مقایسه شده‌اند. شکل ۲ دوایر بازش داده‌شده بر مسیر رودخانه در سال ۲۰۱۳ که در نرم‌افزار ArcGIS رقومی شده و بر تصویر ماهواره‌ای همان سال منطبق شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲: قسمتی از بخش مورد مطالعه در تصویر لندست سال ۲۰۱۳ میلادی و دوائر برازش داده شده با پیکان رودها کورنیش (۱۹۸۰:۲۵۵) برای بیان کیفی توسعه و پیشرفت پیکان رودی شدن رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آن‌ها از یکدیگر از معیار زاویه مرکزی استفاده کرد و جدول زیر را برای تقسیم‌بندی توسعه پیکان رودی رودخانه‌ها پیشنهاد نمود.

جدول ۱: کاربرد زاویه مرکزی در تقسیم‌بندی توسعه پیکان رودی

زاویه مرکزی (درجه)	شکل رودخانه
۰	مستقیم
۱ - ۴۱	شبه پیکان رودی
۴۱ - ۸۵	پیکان رودی توسعه نیافته
۸۵ - ۱۸۵	پیکان رودی توسعه یافته
۱۸۵ - ۲۹۶	پیکان رودی زیاد توسعه یافته
> ۲۹۶	شاخ گوی

و همچنین شعاع نسبی، شاخصی برای شناسایی میزان پایداری و تحت فشار بودن قوس‌های رودخانه است. شعاع نسبی نسبت شعاع دایره محاط بر قوس و خم رودخانه به عرض رودخانه است. اهمیت شعاع نسبی قوس در این است که بین این پارامتر مانند پارامترهای طول موج و عرض رودخانه رابطه مشخصی با سایر متغیرهای رودخانه وجود دارد (آل یاسین، ۱۳۷۹:۲۲۱). بر اساس تقسیم‌بندی ارائه شده توسط شن (۱۳۵، ۱۹۷۱) برای دامنه شعاع نسبی در جدول ۲ هر چه شعاع نسبی بزرگ‌تر باشد، نشانه ملایم بودن آن و هر قدر شعاع نسبی کم باشد، نشان دهنده تحت فشار و ناپایدار بودن آن قوس است.

جدول ۲: دامنه شعاع نسبی

زاویه مرکزی (درجه)	نوع چم
۴/۵ - ۵	آزاد
۷ - ۸	محدود شده
۲/۵ - ۳	تحت فشار

توجه به شکل الگوی رودخانه در بسیاری از مسائل طراحی و مهندسی رودخانه، از جمله تعیین محل پل‌ها، محل انجام عملیات به سازی مسیر، ایجاد تأسیسات نظیر ایستگاه پمپاژ و ... مهم بوده، برای درک بهتر مسائل هیدرولیکی

رودخانه‌های آبرفتی داشتن دانش کافی در مورد الگوی رودخانه ضروری است. ضریب پیچشی (ضریب سینوسی) نسبت طول دره به طول موج هر پیچان رود بوده، یکی از معیارهای کمی است که در تقسیم‌بندی شکل رودخانه استفاده می‌شود و نشان دهنده نسبت طول خط محور رودخانه به طول دره یا طول خم رودخانه است و میزان تکامل پیچ‌ها را نشان می‌دهد. پیتز (۱۹۸۶:۹۸) نیز بر حسب میزان ضریب پیچشی چهار نوع رودخانه را به شرح جدول ۳ تقسیم‌بندی نموده است.

جدول ۳: تقسیم بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب پیچشی (پیتز، ۱۹۸۶:۹۸)

بیشتر از ۲	۱/۲۵ - ۲	۱/۰۶ - ۱/۲۵	۱ - ۱/۰۵	ضریب پیچشی
پیچان رودی شدید	پیچان رودی	سینوسی	مستقیم	نوع رودخانه

اگر ضریب بزرگ‌تر از ۱/۴ تا ۱/۵ باشد، بیانگر پیچشی بودن رودخانه و کمتر از آن نشان دهنده مستقیم بودن رودخانه است (آل یاسین، ۱۳۷۹:۱۳۱). لئوپولد و ولمن (۱۹۶۵:۲۵۵) در تحلیل تعدادی از رودخانه‌های آمریکا بیان داشتند که مقدار ضریب پیچشی می‌تواند از ۱ تا ۲/۸ تغییر کند (وزارت نیرو، ۱۳۸۶: ۸۸).

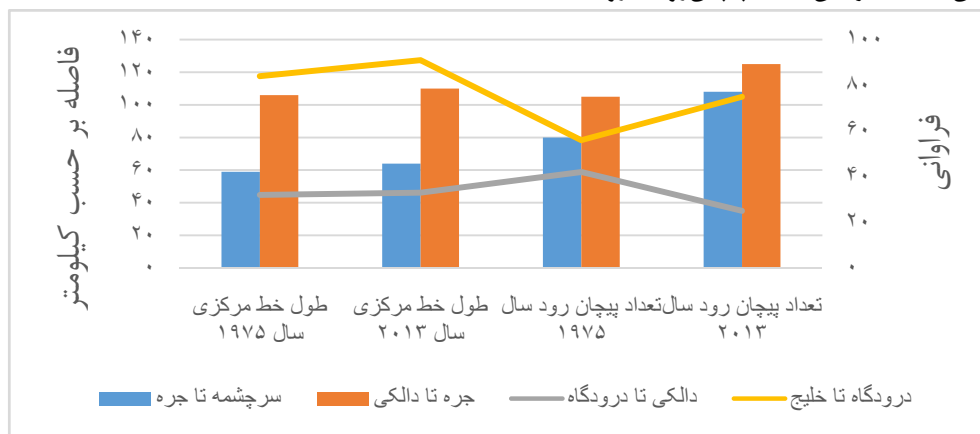
#### یافته‌ها

به‌منظور شناسایی خصوصیات هیدرولیکی و مورفولوژیک رودخانه‌ها پارامترهای هندسی کمی رودخانه که از مهمترین آن‌ها می‌توان به پارامترهای شعاع نسبی، شعاع پیچان رودها، زاویه مرکزی پیچان رود، طول موج و ضریب خمیدگی اشاره کرد که اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود. با توجه به بررسی پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از روش برازش دوایر مماس بر پیچان رودهای رودخانه سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی، تغییرات پارامترهای هندسی باعث بروز رفتارهای جدید هیدرولیکی در رودخانه دالکی شده است. جدول ۴ میانگین پارامترهای هندسی محاسبه شده طی دو دوره زمانی سال ۱۹۷۵ میلادی و سال ۲۰۱۳ میلادی برای ۴ بخش ذکر شده ارائه شده است.

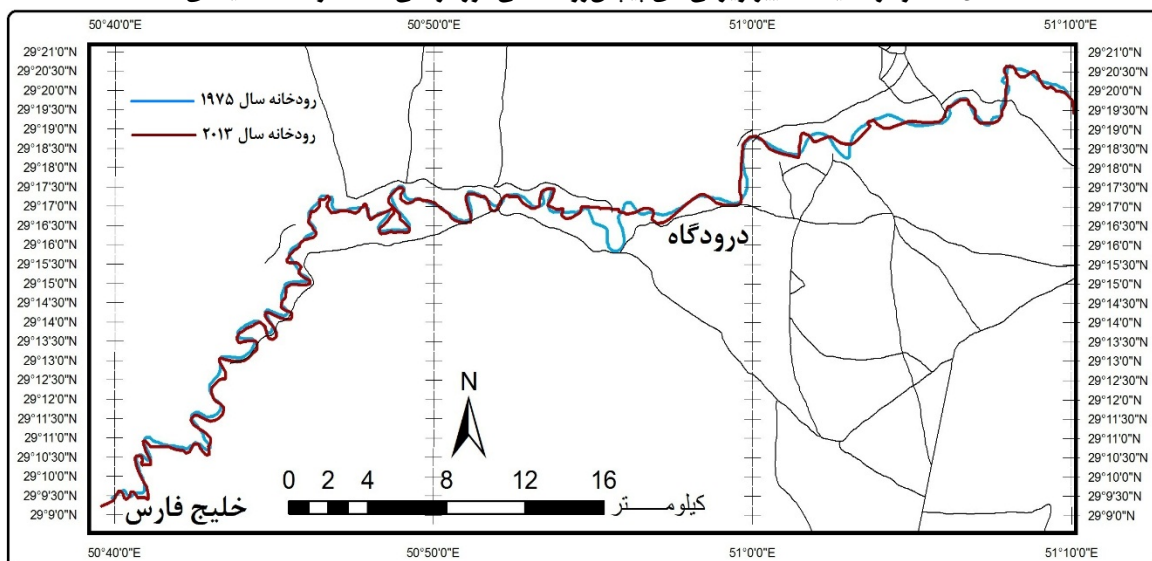
جدول ۴: تغییرات پارامترهای هندسی رودخانه دالکی در سال ۱۹۷۵ میلادی و سال ۲۰۱۳ میلادی

موقعیت محدوده		کهرمه سرخی تا جره		جره تا دالکی		دالکی تا درودگاه		درودگاه تا خلیج فارس	
سال	سال	سال	سال	سال	سال	سال	سال	سال	سال
۱۹۷۵	۲۰۱۳	۱۹۷۵	۲۰۱۳	۱۹۷۵	۲۰۱۳	۱۹۷۵	۲۰۱۳	۱۹۷۵	۲۰۱۳
۸۰	۱۰۸	۱۰۵	۱۲۵	۴۲	۲۵	۵۶	۷۵	۵۶	۷۵
۵۹	۶۴	۱۰۶	۱۱۰	۳۲	۳۳	۸۴	۹۱	۸۴	۹۱
۴۰	۵۰	۸۲	۳۴	۵۰	۴۰/۵	۶۰	۴۷/۵	۶۰	۴۷/۵
۱۹۲	۳۲۶	۲۵۲	۲۸۶	۲۰۳	۲۵۴	۳۵۴	۴۰۲	۳۵۴	۴۰۲
۲۲۰	۱۰۴	۲۲۹	۱۷۶	۲۱۴	۲۹۴	۲۴۲	۱۷۳	۲۴۲	۱۷۳
۷۳۹	۵۹۲	۱۰۰۹	۸۸۰	۷۵۹	۱۳۰۵	۱۴۹۹	۱۲۱۶	۱۴۹۹	۱۲۱۶
۵۰۶	۳۸۹	۶۱۷	۵۲۳	۵۰۱	۸۴۲	۸۱۴	۶۱۸	۸۱۴	۶۱۸
۱/۴۶	۱/۵۶	۱/۶۲	۱/۶۸	۱/۵۱	۱/۵۴	۱/۸۴	۱/۹۶	۱/۸۴	۱/۹۶
۵/۵	۲/۰۸	۲/۷۹	۵/۱۷	۴/۲۸	۷/۲۵	۴/۰۳	۳/۶۴	۴/۰۳	۳/۶۴
۱۸/۴۷	۱۱/۸۴	۱۲/۳۰	۲۵/۸۸	۱۵/۱۸	۳۲/۲۲	۲۴/۹۸	۲۵/۶	۲۴/۹۸	۲۵/۶
۱۲/۶۵	۷/۷۸	۷/۵۲	۱۵/۳۸	۱۰/۰۲	۲۰/۷۹	۱۳/۵۶	۱۳/۰۱	۱۳/۵۶	۱۳/۰۱

پارامترهای هندسی بخش‌های مورد مطالعه در دو دوره زمانی سال‌های ۲۰۱۳ و ۱۹۷۵ میلادی تجزیه و تحلیل و با هم مقایسه شد و نتیجه این تجزیه و تحلیل چنین شد که با توجه به شکل ۳ تعداد پیچان‌رودهای رودخانه دالکی در محدوده مطالعه از ۲۸۳ پیچان‌رود در سال ۱۹۷۵ میلادی به ۳۳۳ پیچان‌رود در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته است. این موضوع نشان دهنده اضافه شدن ۵۰ پیچان‌رود در طول ۳۸ سال مورد بررسی است. بخش عمده‌ای از پیچان‌رودهای اضافه شده در محدوده کهمره سرخی تا دالکی قرار داشته و تعداد پیچان‌رودهای اضافه شده در سایر بخش‌های رودخانه دالکی چندان زیاد نبوده است. فاصله طولی بین دو پیچان‌رود متناوب نسبت به هم در سال ۱۹۷۵ میلادی به مراتب بیشتر از سال ۲۰۱۳ میلادی است که این فاصله در محدوده کهمره سرخی تا دالکی بیشتر و در سایر بخش‌ها چندان زیاد نیست. همچنین طول خط مرکزی رودخانه از ۲۸۱ کیلومتر در سال ۱۹۷۵ میلادی به ۲۹۸ کیلومتر در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته، که به طور غیر مستقیم، نشان دهنده اضافه شدن تعدادی از پیچان‌رودها و کاهش فاصله پیچان‌رودهای متوالی است. بیشترین تغییرات خط مرکزی رودخانه نیز در محدوده درودگاه تا خلیج فارس به وقوع پیوسته است (شکل ۴). زیاد شدن فاصله طولی دو پیچان‌رود متوالی و افزایش طول خط مرکزی رودخانه دالکی به نوعی نشان دهنده افزایش حالت پیچان‌رودی رودخانه است.

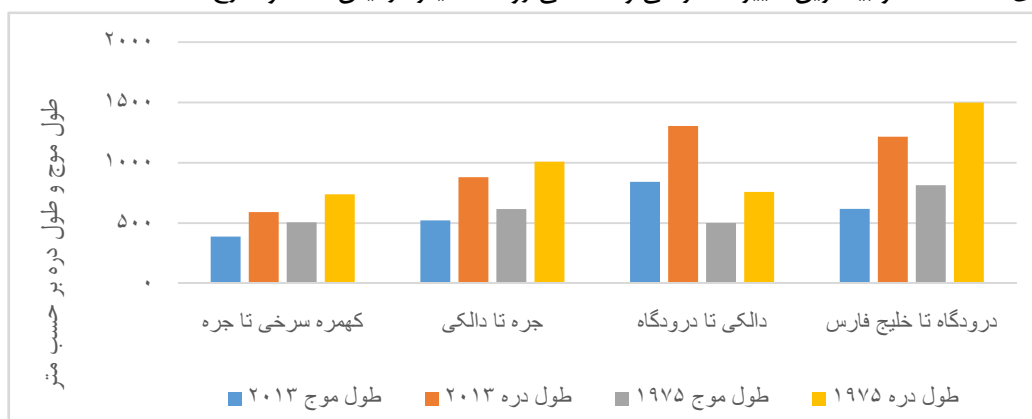


شکل ۳: نمودار مقایسه تغییر ویژگی‌های پیچان‌رودها طی دوره زمانی ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی



شکل ۴: قسمتی از افزایش حالت سینوسی رودخانه در بخش درودگاه تا خلیج فارس

طول دره و طول موج رودخانه دو پارامتر اصلی در طبقه بندی رودخانه و تعیین ضریب پیچشی رودخانه‌ها بوده، معمولاً همبستگی بالایی بین آن‌ها وجود دارد. طبق شکل ۵ تغییرات طول موج و طول دره در دو دوره زمانی مورد بررسی در رودخانه دالکی نشان می‌دهد که در محدوده کهمره سرخی تا جره، جره تا دالکی و درودگاه تا خلیج فارس، طول موج و طول دره در سال ۱۹۷۵ میلادی نسبت به سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش پیدا کرده و در بخش‌هایی رودخانه دستخوش تغییرات عمده نشده است و پیچان‌رودها در محدوده مورد مطالعه تغییر چندانی نکرده‌اند. در محدوده دالکی تا درودگاه، طول موج و طول دره در سال ۲۰۱۳ میلادی نسبت به سال ۱۹۷۵ میلادی افزایش یافته و رودخانه حالت ناپایداری داشته است و بیشترین تغییرات عرضی و مساحتی رودخانه نیز در این محدوده رخ داده است.



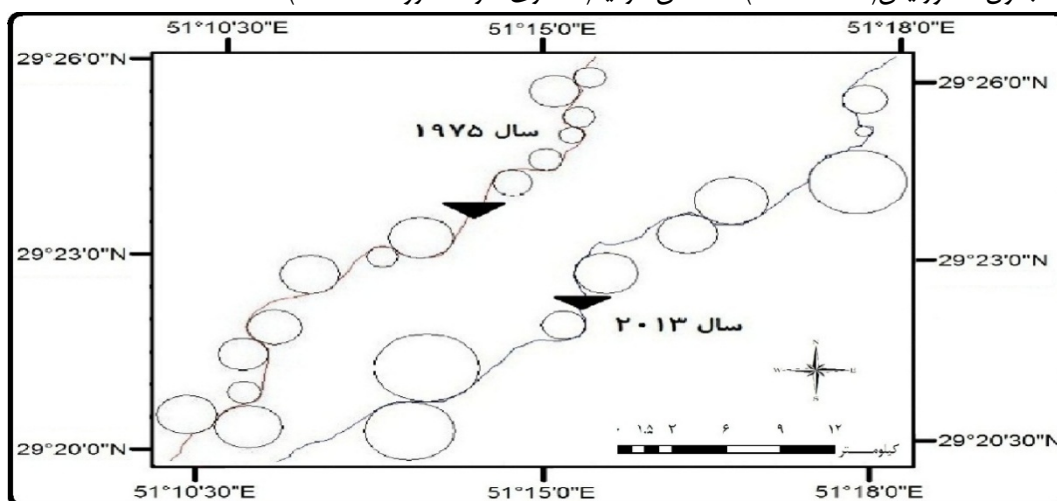
شکل ۵: نمودار تغییرات طول موج و طول دره رودخانه دالکی در سال ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی

زاویه مرکزی به عنوان معیاری برای تقسیم‌بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان رودی یک رودخانه استفاده می‌شود. شعاع دایره مماس بر قوس‌ها شعاع دایره گفته می‌شود و زاویه مرکزی قوس‌های زده شده بر روی هر کدام از بازه‌ها (شکل ۶) با استفاده از (فرمول ۱) محاسبه گردید:

$$A = \frac{180L}{R\pi}$$

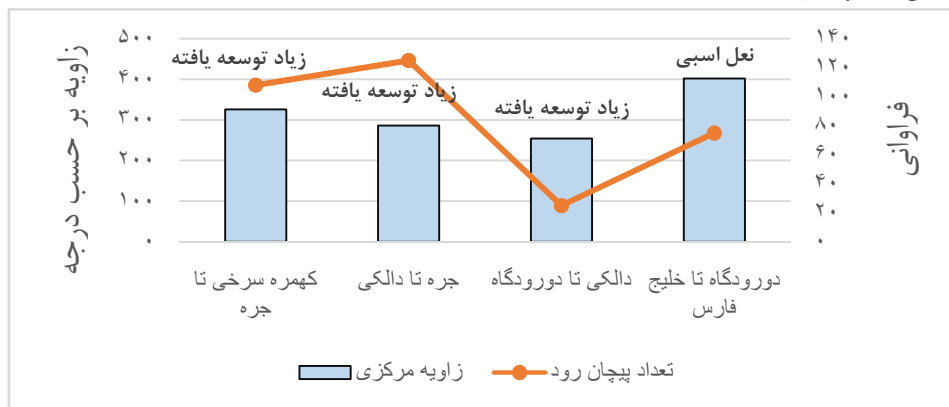
فرمول ۱

که در این رابطه  $L$  زاویه مرکزی،  $R$  شعاع دایره برازش داده شده می‌باشد. در نهایت میزان توسعه پیچان رودی به وسیله جدول ۳ کورنیش (۱۹۸۰:۲۵۵) مشخص گردید (اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۲:۶).

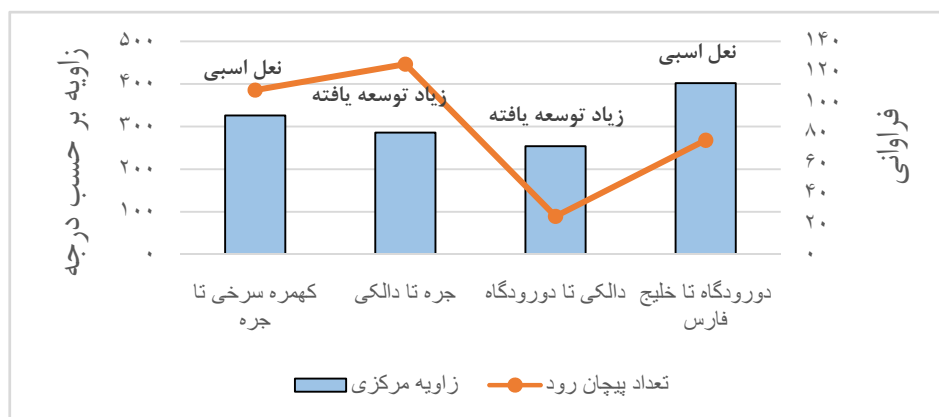


شکل ۶: تغییرات مورفولوژی رودخانه دالکی از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳ میلادی در قسمت ابتدایی دالکی تا درودگاه

با توجه به جدول ۱ میانگین زاویه مرکزی در بخش مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳ میلادی بیشتر از سال ۱۹۷۵ میلادی است. با مقایسه زاویه مرکزی پیمان رودهای بخش مورد مطالعه رودخانه دالکی در سال ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی شکل های ۷ و ۸ نشان می دهند که در سال ۱۹۷۵ میلادی در بخش های کهمره سرخی تا جره، جره تا دالکی و دالکی تا درودگاه این رودخانه از نظر توسعه پیمان رودی در رده پیمان رودی زیاد توسعه یافته قرار دارد و در بخش درودگاه تا خلیج فارس در رده رودخانه شاخ گاوی قرار دارد. شکل ۷ مقایسه زاویه مرکزی پیمان رودها در سال ۲۰۱۳ میلادی نشان می دهد که این رودخانه در بخش کهمره سرخی تا جره و درودگاه تا خلیج فارس در رده رودخانه نعل اسبی و در بخش جره تا دالکی و دالکی تا درودگاه در رده پیمان رودی زیاد توسعه یافته قرار دارد. با توجه به جدول ۴ میانگین شعاع دواپر مماس بر پیمان رودها در بخش مورد مطالعه در سال ۲۰۱۳ میلادی نسبت به سال ۱۹۷۵ میلادی کاهش یافته و این امر نشان دهنده افزایش حالت پیمان رودی رودخانه است به طوری که مقایسه نمودار های زیر نشان می دهد بخش کهمره سرخی تا جره در سال ۱۹۷۵ میلادی حالت پیمان رودی زیاد توسعه یافته داشته، در صورتی که در سال ۲۰۱۳ میلادی حالت نعل اسبی به خود گرفته است.



شکل ۷: نمودار تغییرات زاویه مرکزی پیمان رودها در سال ۱۹۷۵ میلادی

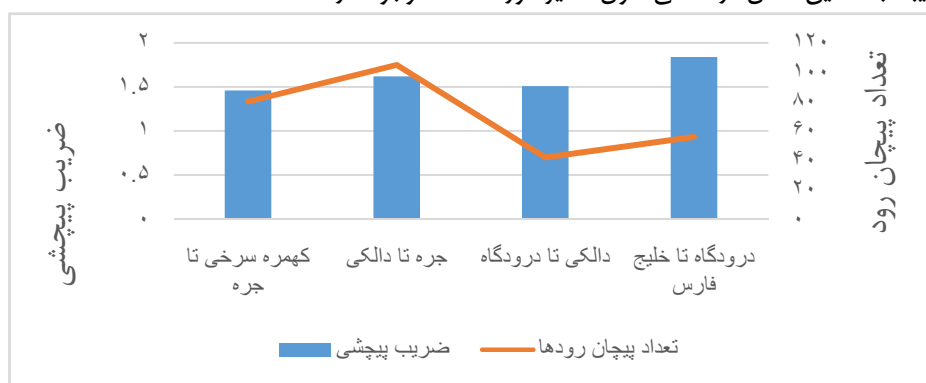


شکل ۸: نمودار تغییرات زاویه مرکزی پیمان رودها در سال ۲۰۱۳ میلادی

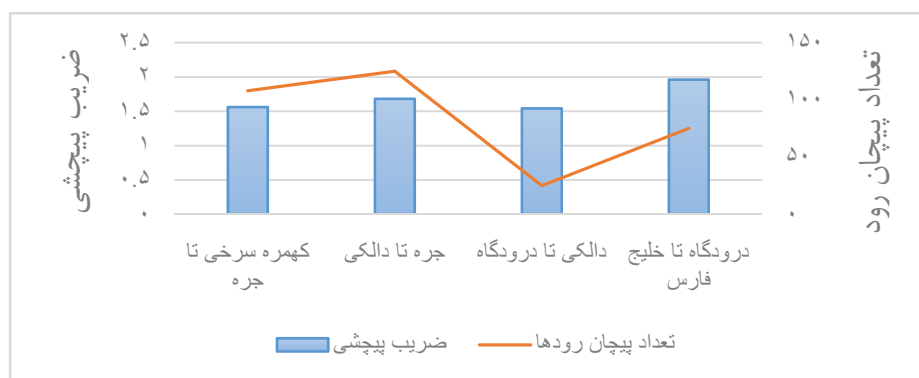
با توجه به جدول پیتز رودخانه دالکی در دو دوره ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی در گروه رودخانه پیمان رودی قرار دارد. ضریب پیچشی در تمام بخش ها در سال ۲۰۱۳ میلادی نسبت به سال ۱۹۷۵ میلادی افزایش داشته به گونه ای که در محدوده درودگاه تا خلیج فارس رودخانه حالت پایداری داشته و در نتیجه با ثبات دیواره های رودخانه و افزایش تعداد زیادی از خم ها الگوی رودخانه در حال گذر از حالت پیمان رودی به سمت حالت پیمان رودی شدید است. نمودارهای زیر نشان دهنده تغییرات ضریب پیچشی رودخانه دالکی در محدوده مطالعاتی در دو دوره زمانی مورد بررسی است. دامنه



تغییرات ضریب پیچشی محدوده مطالعاتی رودخانه دالکی بین ۱/۴۶ و ۱/۹۶ در نوسان بوده و پیچان رودهای رودخانه دالکی در این محدوده ضریب پیچشی واقع شده اند. بررسی نمودارهای ترسیمی نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۳ میلادی نوسان و تغییر ضریب پیچشی رودخانه دالکی بیشتر شده که علت آن افزایش تعدادی از پیچان رودهای رودخانه و به تبع، تغییرات ایجاد شده در مورفولوژی رودخانه دالکی در طول ۳۸ سال گذشته است. مقایسه شکل های ۹ و ۱۰ نشان دهنده نوسان‌های ضریب پیچشی رودخانه دالکی در کل محدوده مطالعاتی در دو دوره زمانی ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی است. این نمودارها به خوبی نشان می‌دهند که در سال ۲۰۱۳ میلادی نسبت به سال ۱۹۷۵ میلادی در محدوده درودگاه تا خلیج فارس نوسان‌های ضریب پیچشی رودخانه زیاد و متوسط عرض رودخانه ۴۷/۵ متر است و در سال ۱۹۷۵ میلادی در این محدوده حدود ۶۰ متر بوده است، یعنی عرض متوسط رودخانه از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳ میلادی، ۱۲/۵ متر کاهش یافته است. با کاهش عرض رودخانه پیچان‌رودهای رودخانه دالکی در همین محدوده از ۵۶ پیچ در سال ۱۹۷۵ میلادی به ۷۵ پیچ در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته و متوسط ضریب پیچشی از ۱/۸۴ به ۱/۹۶ افزایش پیدا کرده است. الگوی جریان، افزایش پیچان‌رودها و پروفیل طولی نشان دهنده علت افزایش نوسانات ضریب پیچشی رودخانه در محدوده درودگاه تا خلیج فارس در سال ۲۰۱۳ میلادی است. این نوسان‌ها تقریباً به همین شکل در تمامی طول مسیر مورد مطالعه وجود دارد.

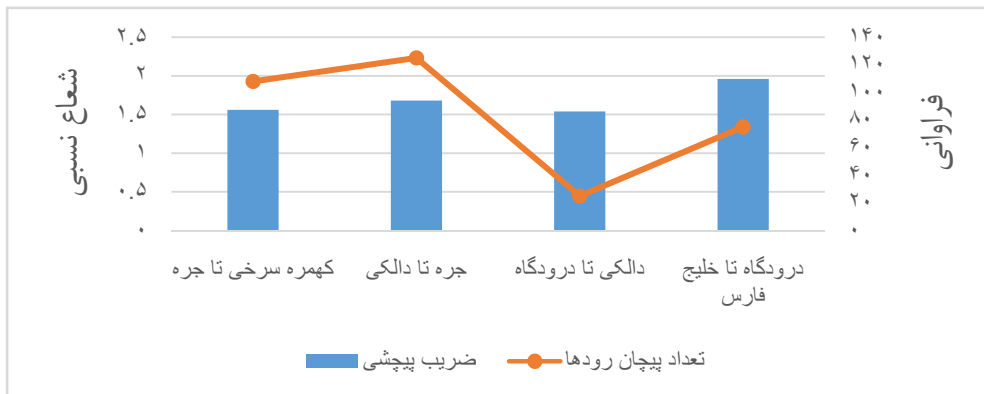


شکل ۹: نمودار نوسانات ضریب پیچشی کل پیچان‌رودها در سال ۱۹۷۵ میلادی

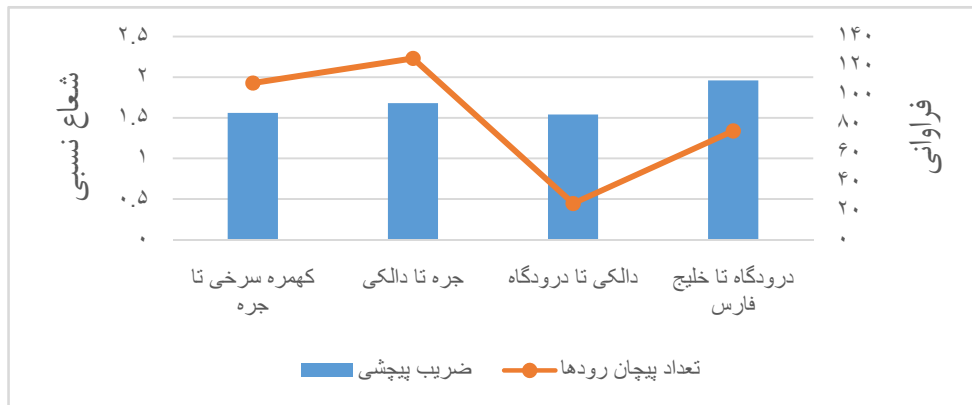


شکل ۱۰: نمودار نوسانات ضریب پیچشی کل پیچان‌رودها در سال ۲۰۱۳ میلادی

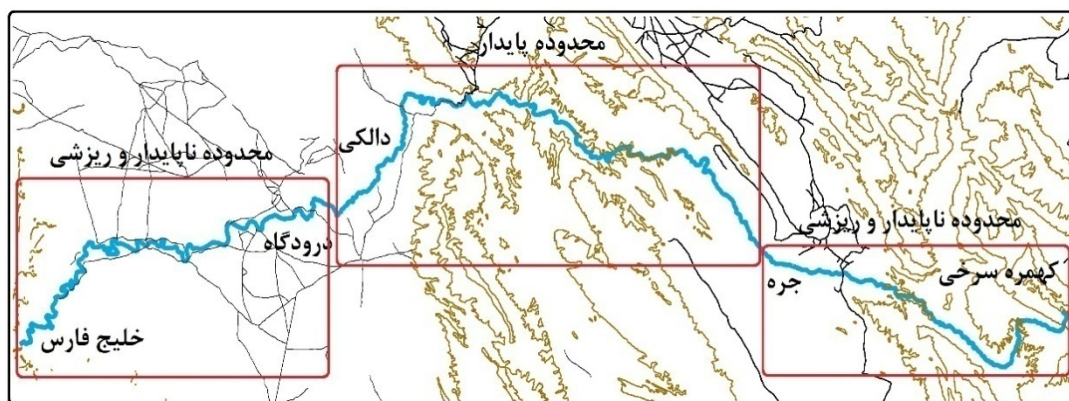
با مشاهده شکل های ۱۱ و ۱۲ میتوان دریافت که میزان شعاع نسبی از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳ میلادی روند افزایشی داشته است. افزایش طول خط مرکزی، تعداد پیچان‌رودها، ضریب سینوسی و تغییرات عرضی رودخانه در طول ۳۸ سال گذشته، به خصوص در محدوده جره تا درودگاه نشان دهنده ملایم بودن خم‌های این بخش از رودخانه بوده و وجود بازه‌های پایدار را در این محدوده نشان می‌دهد. بخش عمده خم‌های رودخانه دالکی در رده خم های آزاد و محدود شده قرار دارند (شکل ۱۳).



شکل ۱۱: نمودار نوسانات شعاع نسبی کل پیچان رودها در سال ۱۹۷۵ میلادی



شکل ۱۲: نمودار نوسانات شعاع نسبی کل پیچان رودها در سال ۲۰۱۳ میلادی



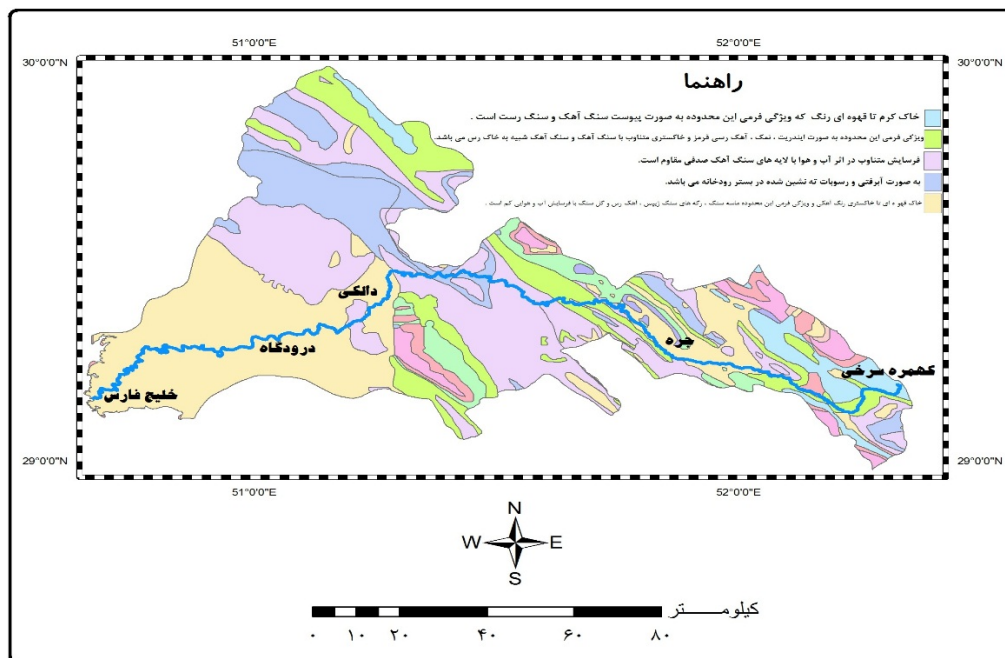
شکل ۱۳: موقعیت بخش‌های پایدار و ناپایدار در محدوده مورد مطالعه

### بحث و نتیجه گیری

مقایسه وضعیت مورفولوژی و مقادیر پارامترهای هندسی بخش‌های مطالعاتی در بازه زمانی ۳۸ سال، نشان دهنده تغییرات شدید در رودخانه دالکی است. طول خط مرکزی رودخانه از ۲۸۱ کیلومتر در سال ۱۹۷۵ میلادی به ۲۹۸ کیلومتر در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته و تعداد پیچان رودها در محدوده مورد مطالعه از ۲۸۳ پیچان رود در سال ۱۹۷۵ میلادی به ۳۳۳ پیچان رود در سال ۲۰۱۳ میلادی افزایش یافته است و این موضوع نشان دهنده اضافه شدن ۵۰ پیچان رود در طول ۳۸ سال مورد بررسی است در بخش‌های ۱ و ۲ می‌باشد. با مقایسه زاویه مرکزی پیچان رودهای

بخش مورد مطالعه رودخانه دالکی در سال ۱۹۷۵ و ۲۰۱۳ میلادی نشان می‌دهد که در سال ۱۹۷۵ میلادی در بخش‌های ۱، ۲ و ۳ این رودخانه از نظر توسعه پیچان‌رودی در رده پیچان‌رودی زیاد توسعه یافته قرار دارد و در بخش ۴ در رده رودخانه شاخ گاوی قرار دارد. دامنه تغییرات ضریب پیچشی محدوده مطالعاتی رودخانه دالکی بین ۱/۴۶ و ۱/۹۶ در نوسان بوده و هر ۴ بخش رودخانه در حال گذر از حالت پیچان‌رودی به سمت حالت پیچان‌رودی شدید است. به طور کلی تمام پارامترهای محاسبه شده از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۳ تقریباً در تمام بخش‌ها افزایش یافته که این نشان دهنده تغییرات رودخانه دالکی در طول ۳۸ سال است. بیشترین این تغییرات در بخش ۴ است که این بخش طبق بررسی‌های انجام شده جز محدوده ناپایدار و ریزشی است و عواملی چون جنس رسوبات و کاهش شیب، باعث ناپایداری و دستخوش جابجایی‌ها در مسیر رودخانه دالکی نسبت به سایر بخش‌ها شده است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و مسیر رودخانه دالکی طبق شکل ۱۴ جنس ذرات بستر رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. جنس ذرات رودخانه دالکی به ۴ قسمت از نظر زمین‌شناسی تقسیم می‌شود:

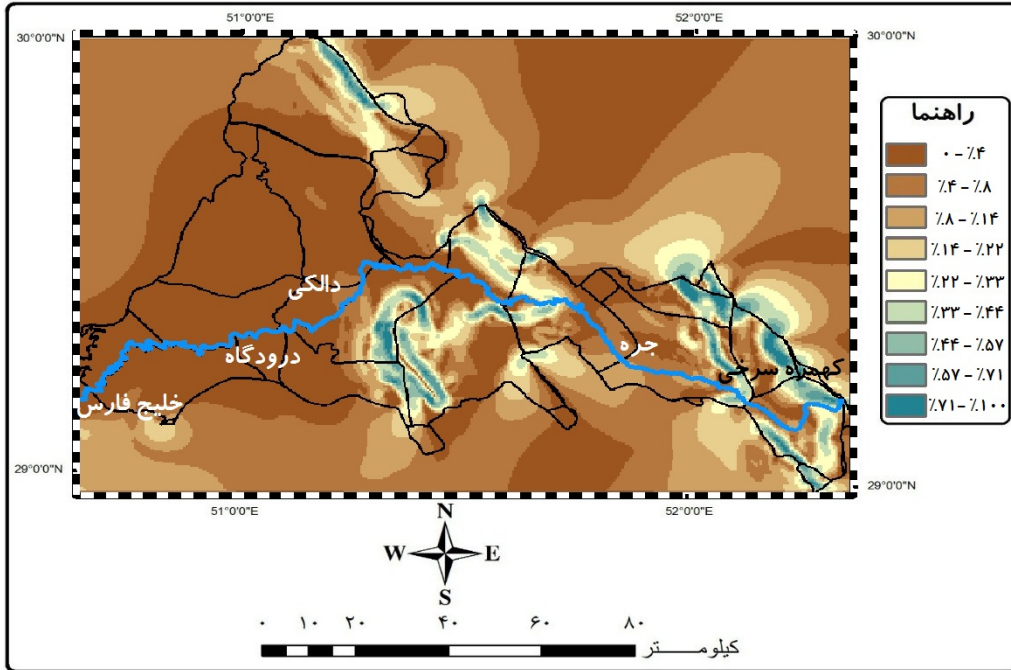
قسمت زرد رنگ که در راهنمای نقشه هم مشخص است، دارای خاک کرم تا قهوه‌ای رنگ است که ویژگی فرمی این محدوده به صورت پیوست سنگ آهک و سنگ رست است. محدود به صورت پیوست سنگ آهک و سنگ رست است. ویژگی فرمی قسمت آبی رنگ متشکل از ایندریت، نمک، آهک رسی قرمز و خاکستری متناوب با سنگ آهک و سنگ آهک شیب به خاک رس می‌باشد. قسمت بنفش رنگ به صورت فرسایش متناوب در اثر آب و هوا با لایه‌های سنگ آهک صدفی معلوم است. قسمت قرمز رنگ دارای خاک قهوه‌ای تا خاکستری رنگ آهکی است و ویژگی فرمی این محدوده ماسه سنگ، رگه‌های سنگ ژئیس، آهک رس و گل سنگ با فرسایش آب و هوایی کم است. قسمت سبز رنگ به صورت آبرفتی و رسوبات ته‌نشین شده در بستر رودخانه می‌باشد.



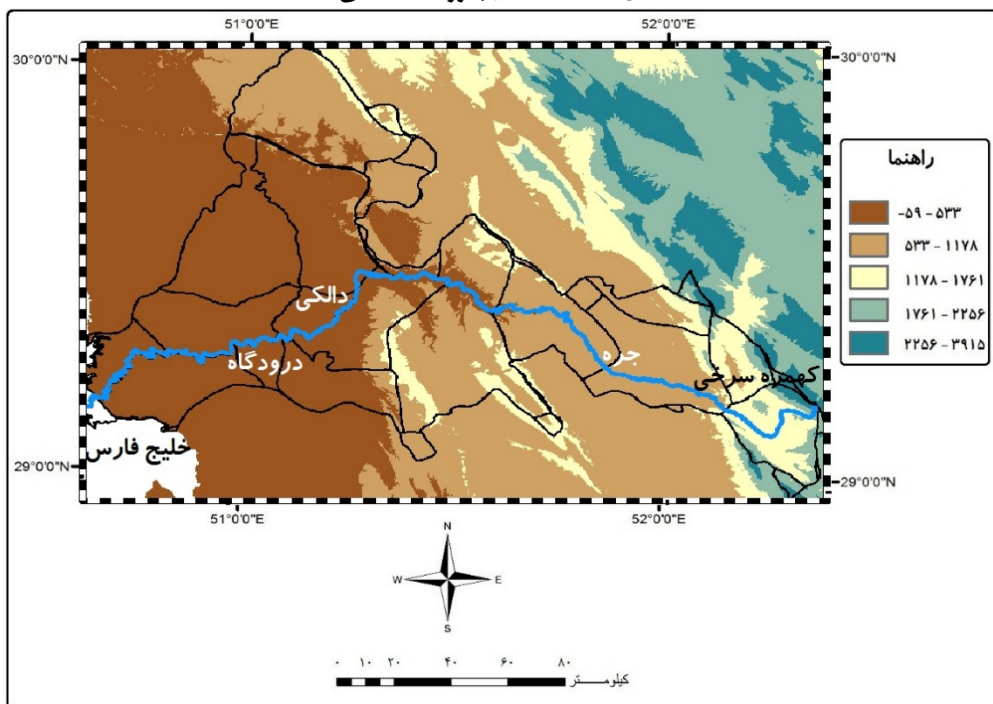
شکل ۱۴: جنس ذرات مسیر رودخانه دالکی

این نقشه نشان می‌دهد که بخش ۴ (درودگاه تا خلیج فارس) دارای خاک قهوه‌ای تا خاکستری رنگ آهکی و دارای ویژگی فرمی ماسه سنگ، رگه‌های سنگ ژئیس، آهک رس و گل سنگ با فرسایش آب و هوایی کم است. طبق نقشه شیب (شکل ۱۵) رودخانه دالکی از کوه‌های کهمره سرخی با شیب ۴۴ تا ۵۷ درصد و ارتفاع ۲۲۵۶ تا ۳۹۱۵ متر سرچشمه گرفته و ۳۰ کیلومتر این رودخانه که از نزدیکی روستای دادنجان نیز می‌گذرد با شیب‌های متغییر ۴ تا ۲۲ درصد و ارتفاع ۵۳۳ تا ۱۱۷۸ متر توسعه دارد و از روستای جره گذشته که ۵ کیلومتر این رودخانه با شیب ۳۳ تا ۴۴

درصد و ۵ کیلومتر دیگر با شیب ۴ درصد و حدود ۲۰ کیلومتر این رودخانه با شیب ۸ تا ۱۴ درصد ادامه می‌یابد تا از کنار روستای رودبال بگذرد و تقریباً به طول ۲۰ کیلومتر با شیب متغییر ۴ تا ۱۴ درصد و ارتفاع ۵۹- تا ۵۳۳ متر ادامه پیدا کرده و ۱۵ کیلومتر با شیب ۳۳ تا ۴۴ درصد و ارتفاع ۵۹- تا ۵۳۳ متر توسعه یابد. این رودخانه همچنان با شیب ۴ تا ۸ درصد و ارتفاع ۵۹- تا ۵۳۳ متر مسافتی حدود ۶۰ کیلومتر را پیموده و از شهر دالکی عبور می‌کند و به شمال غربی برازجان (زیارت) رسیده و با شیب ۴ درصد و ارتفاع ۵۹- تا ۵۳۳ متر ۷۰ کیلومتر را طی کرده و به خلیج فارس می‌ریزد.

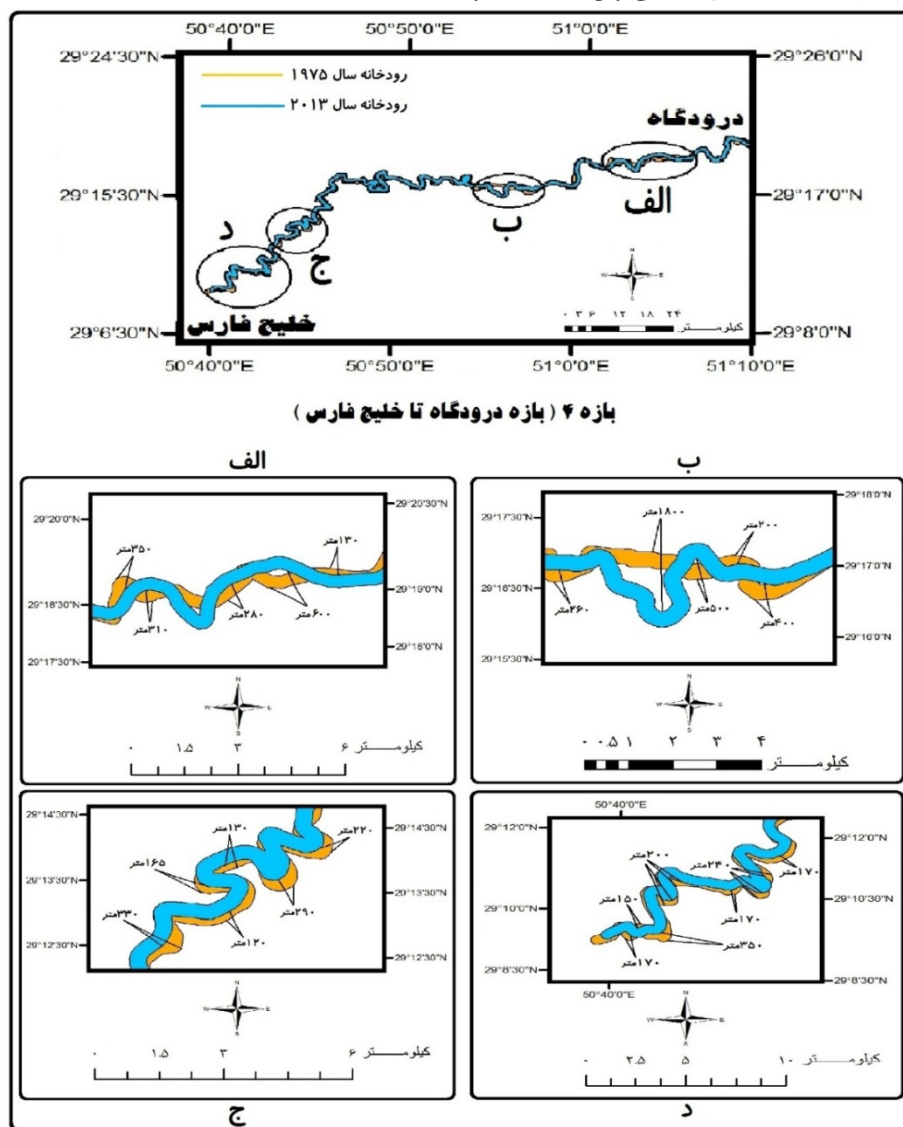


شکل ۱۵: نقشه شیب رودخانه دالکی



شکل ۱۶: طبقات ارتفاعی رودخانه دالکی

شیب بخش ۴ (درودگاه تا خلیج فارس) بین ۰ تا ۴ درصد کمترین شیب در حوضه رودخانه دالکی را دارد و ارتباط جنس رسوبات و شیب این بخش باعث بیشترین جابجایی شده که برای بررسی این جابجایی ها ۴ قسمت از این بخش مورد بررسی قرار گرفته که در شکل ۱۷ می‌توان مشاهده نمود.



شکل ۱۷: جابجایی مسیر رودخانه دالکی

#### منابع

- آل یاسین، احمد. ۱۳۸۶. کاربرد مهندسی رودخانه در رودخانه‌های دز و کارون، چاپ دوم، انتشارات وزارت نیرو-کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- امید، محمدحسین، حبیب زاده، علیرضا. ۱۳۸۷. فرایندهای رودخانه ای، چاپ اول، انتشارات موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- تلوری، عبدالرسول، ۱۳۷۱، شناخت فرسایش کناری رودخانه‌ها در دشت های سیلابی، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی.
- جواهری، نصرالله، ۱۳۸۴، آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیکی محیط های ساحلی شمال غربی خلیج فارس (هندیجان) با استفاده از روش منطق فازی و تکنیک‌های *RS*، *GIS*، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

- حافظی مقدس، ناصر، سلوکی، حمیدرضا، جلیلود، رضا، رهنماری، جعفر، ۱۳۹۱، ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه سیستان، زمین‌شناسی کاربردی.
  - خبازی، مصطفی، ۱۳۷۸، ردیابی آثار تغییر مسیر رودخانه‌های دشت خوزستان در کوتاه‌تر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان.
  - دولتی، جواد، ۱۳۸۷، بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی بخش میانی رودخانه اترک با استفاده از GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا.
  - رضایی مقدم، محمدحسین، ثروتی، محمدرضا، اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۱، بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، جغرافیا(فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال دهم.
  - علوی پناه، کاظم، ۱۳۸۹، کاربرد سنجش‌ازدور در علوم زمین(علوم خاک)، چاپ سوم، دانشگاه تهران.
  - علوی نژاد، سید نظام، قنواتی، عزت‌الله، ۱۳۸۳، آشکارسازی تغییرات ژئومورفولوژیکی و کاربری اراضی خور موسی (بندر امام خمینی و ماهشهر) با استفاده از GIS, RS, رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
  - غریب رضا، محمدرضا، معصومی، حمیدرضا، ۱۳۸۵، مورفولوژی رودخانه زهره و تغییرات آن در جلگه ساحلی هندیجان، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
  - نوحه گر، احمد، یمانی، مجتبی، ۱۳۸۴، بررسی ژئومورفولوژیکی پیچان‌رود و نقش آن در فرسایش رود میناب، پژوهش‌های جغرافیایی، صصص ۸۴-۶۵.
  - نیک صفت، غلامرضا، داندن مهر، علی، ۱۳۸۹، اصول مهندسی رودخانه، چاپ اول، انتشارات موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران.
  - ۱۴-یمانی، مجتبی، دولتی، جواد، زارعی، علیرضا، ۱۳۹۱، تاثیرگذاری عوامل هیدرو ژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی.
  - یمانی، مجتبی، شرفی، سیامک، ۱۳۹۱، پارامترهای هندسی و نقش آن‌ها در تغییرات زمانی - مکانی بستر رودها، فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال دهم.
  - یمانی، مجتبی، علمی زاده، هیوا، مقصودی، مهران، مقیمی، ابراهیم، نوحه گر، احمد، ۱۳۸۹، بررسی تغییرهای پیچان‌رودی و ناپایداری بستر رودخانه در جلگه شمالی تنگه هرمز، علوم انسانی-برنامه ریزی و آمایش فضا، دوره چهاردهم.
- Arma, J.N.,2005. fluvial process and morphology of the Brahaputra River in Assam, India. *Geomorphology*. Vol: 70(3-4) Pp.226-256
  - Bartholdy, j., and Billi, p.,2002. Morph dynamics of a pseudo meandering gravel bar reach. *Geomorphology*. Vol 42., Pp.293-310
  - Edwards, B. F, D. H. Smith.,2001. River meandering dynamics. National Energy Laboratory. Morgantown. West Virginia. USA
  - 20- Phillips, J.D., M. C, Slattery.,2007. Downstream Trends in Discharge, Slope, and Stream Power in a Lower Coastal Plain River. *Journal of Hydrology*. Volume 334. Issues 1-2., Pp.290-303
  - 21-Schumm, S.A.,1984.Channel Morphology. Symposium on River Meandering-June 1984. Colorado State University. Fort Collins Colorado., Pp.250-260
  - 22-Simons, D.B.,1971. River and Channel Morphology. Fort Collins Colorado, Pp.120