

اثر مورفوتکتونیک دشت ساحلی زاگرس بر نحوه استقرار تپه‌های ماسه‌ای غرب جلگه استان خوزستان

فاضل ایرانمنش^{۱*} و حمیدرضا پیروان^۲

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و ^۲ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳

چکیده

فعالیت‌های تکتونیک در شکل‌گیری، استقرار و تحول عوارض سطح زمین و همچنین، فرایندهای فرسایشی تأثیرگذار هستند. وجود چندین گسل و تاقدیس در غرب جلگه خوزستان نیز زمینه‌ساز تحولاتی در تغییر مورفولوژی و استقرار عوارضی مانند تپه‌های ماسه‌ای شده‌اند. بنابراین، هدف از این پژوهش، شناخت و نحوه اثرگذاری فعالیت‌های تکتونیک بر مورفولوژی و رفتار تپه‌های ماسه‌ای غرب جلگه خوزستان است. بدین‌منظور، از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست و IRS مربوط به سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۸، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۶ میلادی، اطلاعات زمین‌شناسی مانند لایه سازندهای زمین‌شناسی، ساختارهای زمین‌ساختی (مانند گسل‌ها، تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها)، نقشه ژئومورفولوژی، محیط‌های رسوبی و شبکه آبراهه‌ها به‌عنوان ابزارهای پژوهش استفاده شد. همچنین، با اتکا به یافته‌های میدانی و تکنیک‌های ژئومورفیک به روش مقایسه‌ای به تجزیه و تحلیل داده‌ها اقدام شد. نتایج حاصل از شاخص‌های ژئومورفولوژی مانند ضریب پیچش و انتگرال هیپسومتر نشان داد، منطقه مورد مطالعه به‌شدت از فعالیت‌های تکتونیک متأثر بوده و واحدهای مورفوتکتونیک مانند تاقدیس‌های حمیدیه-هواز، زین‌العباس و تاقدیس ابوالغریب، نقش به‌سزایی در نحوه استقرار و برای انتشار تپه‌های ماسه‌ای دارند. با این وجود، عوامل ثانویه دیگری مانند جهت وزش باد و الگوی جریان رودخانه کرخه تا حدودی باعث بهم‌خوردگی روند کلی تپه‌های ماسه‌ای و ایجاد فرسایش و انتقال رسوب از تپه‌های ماسه‌ای به دشت‌های سیلابی و کانون‌های گرد و غبار اصلی و محلی در غرب جلگه خوزستان می‌شود. بنابراین، یافته‌های این پژوهش می‌تواند به تأمین اطلاعات مورد نیاز برای حفاظت خاک در برابر فرسایش بادی در استان و به‌خصوص در کانون شماره یک گرد و غبار (هورالعظیم) و کنترل فرسایش و رسوب در پایاب حوزه آبخیز رودخانه کرخه منجر شود.

واژه‌های کلیدی: حوزه آبخیز، فرسایش بادی، فعالیت‌های تکتونیک، کرخه، لندست، IRS

مقدمه

متمایز ساخته است. وجود آثار و بقایای تمدن‌های دست‌کم ۴۰۰۰ ساله که به‌وسیله باستان‌شناسان در منطقه کشف شده است، شاهدی بر این مدعاست (Poormahammadi, ۱۹۹۶). اما با وجود منابع آب و

استان خوزستان جزو کهن‌ترین سرزمین‌های تمدن‌خیز در سراسر دنیا است. وجود خاک و منابع آب کافی در این جلگه، آنرا از سایر مناطق ایران

زاگرس و زمین‌های پست خلیج فارس و بین‌النهرین می‌شوند (Berberian, ۱۹۹۵).

فعالیت‌های زمین‌ساخت از مهمترین عوامل کنترل‌کننده تپه‌های ماسه‌ای هستند (Kocurek و Lancaster, ۱۹۹۹). تأثیر نو زمین‌ساخت بر تکامل پهنه‌های ماسه‌ای در شمال شرق شهرستان اهواز که با استفاده از عوامل ژئومورفولوژیکی - مورفوتکتونیکی مانند، پارامتر تراکم زهکشی، شکل حوضه، عدم تقارن حوضه زهکشی و ضریب پیچ و خم جبهه کوهستان انجام شد، نشان از بالا بودن نو زمین‌ساخت جنبا در محدوده خطوط گسلی و تاقدیس اهواز است (Maghsodi و همکاران، ۲۰۱۶). فعالیت‌های زمین‌ساخت علاوه بر تپه‌های ماسه‌ای، تغییرات بستر رودخانه‌ها را نیز کنترل می‌کنند. بررسی نقش تکتونیک جنبا و رسوبگذاری در رودخانه جگین با استفاده از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و همچنین، داده‌های زمین‌شناسی و تکنیک‌های ژئومورفولوژی مانند شاخص پیچش و انتگرال هیپسومتری نشان داد، منطقه مورد مطالعه به شدت از فعالیت‌های تکتونیکی کواترنر متأثر شده است و اثرات آن بر آنومالی‌های موجود در رودخانه تأثیر گذاشته است (Elmizadeh و Yamani, ۲۰۱۴). همچنین، تأثیر این عامل در حوضه رودخانه مارون در جنوب غربی ایران و در استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و خوزستان چشمگیر بوده، با داده‌های حاصل از لرزه‌نگاری و ژئودینامیک که منطقه هم‌خوانی دارد (Maghsodi و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر تکتونیک و آثار آن، مورفولوژی تپه‌های ماسه‌ای در راستای گسل اهواز نیز مورد بررسی تعدادی از پژوهشگران قرار گرفته است. نتایج دانه‌سنجی یا گرانومتری رسوبات بادی در دو ترانسکت غربی و شرقی نشان دادند که اندازه قطر ذرات ماسه از غرب به شرق استان کاهش می‌یابند. میانگین قطر ذرات تشکیل دهنده تپه‌های ماسه‌ای در غرب بین ۲/۸۷-۲/۱۴ فی (۱۳۶ تا ۲۲۶ میکرون) و در شرق بین ۲/۱۶-۲/۰۵ فی (۱۲۰ تا ۲۲۳ میکرون) متغیر بود. بدین ترتیب، قطر ذرات تشکیل دهنده تلماسه‌ها از شمال غربی به طرف جنوب شرقی در استان کاهش

خاک در استان خوزستان، تهدیدها و خطراتی مانند فرسایش خاک به‌وسیله باد و تخریب اراضی نیز وجود دارد. علت این موضوع، به قرارگیری پهنه‌های بسیار وسیعی از تپه‌های ماسه‌ای در حدود ۱۱۰۰ کیلومتر مربع (Iranmanesh و همکاران، ۲۰۱۴) از یک‌طرف و همسو شدن تپه‌های ماسه‌ای با جهت بادهای فرساینده در غرب جلگه خوزستان است. وجود چنین شرایطی سبب ایجاد بستری مناسب برای طوفان‌های ماسه‌ای و گرد و خاک در منطقه را فراهم ساخته است. با توجه به وسعت زیاد تپه‌های ماسه‌ای و نقشی که در انتقال رسوبات بادی در منطقه دارد، بررسی عوامل شکل‌دهی و استقرار تپه‌های ماسه‌ای ضروری به‌نظر می‌رسد. مرور کارهای گذشته نشان می‌دهد، پژوهش‌های زیادی تا کنون در خصوص فرایندهای اقلیمی مؤثر بر شکل‌دهی تپه‌های ماسه‌ای انجام شده، ولی بررسی نقش مورفوتکتونیک و ساختارهای تکتونیکی منطقه مغفول مانده است. فعالیت‌های زمین‌ساخت از طریق تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها، گسل‌ها و فرونشینی‌ها و بالا آمدگی‌ها خود را نمایان می‌سازند (Nottebaum و همکاران، ۲۰۱۵؛ Ozkaymak و Sozbilir, ۲۰۱۲؛ Ramsey و همکاران، ۲۰۰۸). طی سالیان اخیر، نظرات مختلفی درباره پهنه‌بندی ساختاری استان خوزستان ارائه شده است. برخی پهنه‌بندی ساختاری استان خوزستان را به سه قسمت شامل دشت خوزستان، منطقه چین‌خورده زاگرس و منطقه رورانده زاگرس تقسیم کرده‌اند (Stöcklin, ۱۹۶۸). همچنین، زاگرس را می‌توان یک کمربند ساختمانی مشخص با روند شمال غرب-جنوب شرق که به ترتیب شامل، کمربند ساده چین‌خورده، کمربند درهم و کمربند رورانده است، در نظر گرفت (Falcon, ۱۹۷۴). در تقسیم‌بندی دیگری، زاگرس به پنج واحد مورفوتکتونیکی تقسیم شده که از شمال شرق به سوی جنوب غرب شامل پنج سطح مشخص و واضح به لحاظ درجات مختلف راندگی، چین‌خوردگی، بالاآمدگی، فرسایش و رسوبگذاری است. این پنج واحد به ترتیب از شمال شرق به سمت جنوب غرب شامل، کمربند رورانده زاگرس بلند، کمربند ساده چین‌خورده، فرورفتگی پیشانی زاگرس، دشت ساحلی

لذا، این پژوهش در نوع خود نخستین بوده و نتایج حاصل از آن می‌تواند در مطالعات مربوط به فرسایش و رسوب پایاب حوزه آبخیز کرخه در استان خوزستان و همچنین، طرح‌های مقابله با فرسایش بادی و بیابان‌زدایی به‌کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: محدوده قسمتی از دشت آزادگان در استان خوزستان به‌عنوان منطقه مورد پژوهش انتخاب شد. این محدوده، با مساحتی حدود ۷۵۰۰ کیلومتر مربع در قسمت جلگه‌ای بین ۱۵' ۴۰" ۴۷° تا ۴۳' ۴۴" ۴۸° درجه طول شرقی و ۴۰' ۵' ۳۱° تا ۲۷' ۴۹" ۳۱° درجه عرض شمالی واقع شده که از شمال به شوش و ایلام، از جنوب و غرب به عراق و از شرق به اهواز متصل است. سوسنگرد در مرکز و رودخانه کرخه، تنها شریان اصلی آن محسوب می‌شود. این رودخانه و شاخه‌های اصلی آن، از ارتفاعات زاگرس گذشته و بعد از ورود به دشت خوزستان، از تاقدیس اهواز نزدیک شهرستان حمیدیه عبور می‌کند. منطقه مورد مطالعه، دارای چندین تپه کم ارتفاع به نام‌های، الله‌اکبر و میش‌داغ به ارتفاع بیشینه ۱۷۳ متر از سطح آب‌های آزاد است. تپه‌های ماسه‌ای روان، از سمت شمال غربی استان، یعنی فکه و موسیان واقع در غرب مرز ایران و عراق، شروع شده و بخش اعظم دشت آزادگان، غرب رودخانه کرخه، ملاثانی و مارون را در بر می‌گیرد. متوسط بارندگی سالیانه در استان خوزستان ۲۶۶ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت یک دوره ۲۵ ساله، ۳۱ درجه سانتی‌گراد است. میزان تبخیر سالیانه در مناطق جلگه‌ای و پست، بالغ بر ۲۵۰۰ میلی‌متر، یعنی بیش از ۱۰ برابر بارندگی سالیانه است.

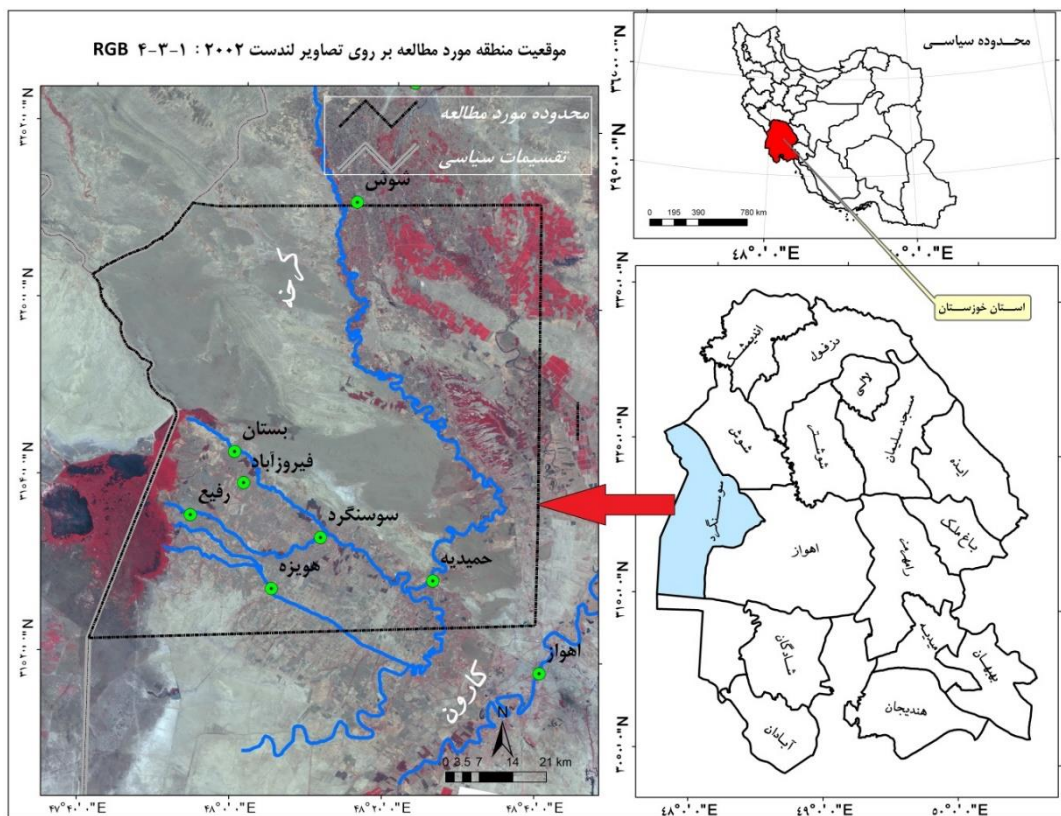
در این بررسی، از داده‌های مکانی شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست و IRS به‌ترتیب با قدرت تفکیک‌های ۲۸/۵ و ۲۳/۵ متر (جدول ۱)، اطلاعات حاصل از بازدیدهای میدانی، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، شامل برگ NH 38-4 (بستان) و NH 39-1 (اهواز) سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شد. پس از جمع‌آوری

نشان می‌دهد. این کاهش با بادهای غالب موجود در استان که از طرف شمال غربی می‌وزند هم‌خوانی داشته، به‌طوری‌که در شمال غربی وزش باد شدید و رسوبات دانه درشت ترسیب می‌شوند و از شدت باد به طرف جنوب شرقی از شدت باد کاسته شده است (Gandomi و همکاران، ۲۰۱۸). با این وجود، این تلماسه‌ها که بیشتر از نوع برخان و تپه‌های عرضی هستند، در طی ۱۵ سال منتهی به ۱۳۸۵ جابه‌جایی و پیش‌روی مشهودی در مقیاس مطالعه شده نداشته‌اند. ولی مطالعات میدانی نشان دادند که عناصر داخلی ارگ‌ها خصوصاً برخان‌های کوچک و تپه‌های عرضی پیشروی و تحرک داشته‌اند. چنان‌که حرکت ماسه‌ها بر روی جاده و آثار کاوشی و بادبردگی مؤید این امر می‌باشد (Jafari، ۲۰۱۰). اما آن‌چه مسلم است، سنگ منشاء ماسه‌های بادی خوزستان، سنگ‌های اسیدی بخش مرکزی ایران و مجموعه افیولیت‌های جنوب شرق استان کرمانشاه است. بخشی از رسوبات حاصل از فرسایش این سنگ‌ها پس از طی چرخه‌های متعدد رسوبی و قرار گرفتن در مسیر رودخانه کرخه، در یک حاشیه آرام قاره‌ای نهشته شده‌اند. خصوصیات مورفوسکوپی عناصر تشکیل‌دهنده این ماسه‌ها، بیانگر حمل آن‌ها در جهت بادهای غالب منطقه (غرب به شرق) بوده (Jookar، ۲۰۱۰) و امتداد چین‌خوردگی‌های زاگرس جنوبی موجب کانالیزه‌شدن و هدایت بادهای غالب شمال غربی شده و مخروط افکنه‌های حاشیه‌ای و پادگانه‌ها و بسترهای سیلابی رودخانه‌های مهم، منشاء اصلی ماسه‌های سطح جلگه به‌شمار می‌روند. یافته‌های سایر پژوهش‌ها نیز حاکی از نقش رواناب در برداشت ذرات ماسه از منابع اصلی رسوب و انتقال آن‌ها به سمت پائین‌دست، تغییرات مکانی ریگزارها و توزیع مکانی سکونت‌گاه‌ها است (Robinson و همکاران، ۲۰۱۱؛ Karami و Yamani، ۲۰۱۰؛ Dupin، ۲۰۱۱).

بررسی منابع نشان داد، زمین‌ساخت و مورفوتکتونیک به‌عنوان یکی از عوامل مهم در شکل‌گیری، استقرار و تحول عوارض سطح زمین و همچنین، فرایندهای فرسایشی است. ولی تأثیر این عامل بر نحوه استقرار تپه‌های ماسه‌ای غرب جلگه خوزستان کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

تپه‌های ماسه‌ای و مرحله چهارم، تعیین ویژگی‌های باد در ایستگاه‌های هواشناسی و مرحله پنجم، با استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک، میزان تأثیرپذیری منطقه از فعالیت‌های تکتونیکی مشخص شد و در نهایت برای تکمیل اطلاعات مورد نیاز پژوهش از داده‌های به‌دست آمده از عملیات میدانی شامل ثبت نقاط کنترل زمینی و تدقیق واحدهای ژئومورفولوژی و مسیرهای متروکه رودخانه‌ای نیز استفاده شد.

داده‌های مورد نیاز، لازم بود روش‌شناسی پژوهش بر اساس اهداف تبیین شوند. به‌منظور مشخص کردن اثر مورفوتکتونیک در جانمایی و شکل‌دهی تپه‌های ماسه‌ای روش کار در شش قسمت دنبال شد. مرحله اول، مشخص کردن واحدهای اصلی مورفوتکتونیک استان خوزستان، مرحله دوم، تعیین محیط‌های رسوبی محدوده مورد مطالعه، مرحله سوم، بررسی مورفولوژی رودخانه‌ای و نقش آن در شکل‌دهی



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

مشخصات ظاهری ساختارهای مورفوتکتونیک مختلف مانند چین‌ها و گسل‌ها است.
 ۲- تعیین محیط‌های رسوبی محدوده مورد مطالعه: در این مرحله، با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، پردازش داده‌های رقومی و بازدیدهای میدانی، محیط‌های رسوبی اعم از محیط‌های فرسایشی و رسوبگذاری مشخص شدند. با توجه به اطلاعات به‌دست آمده از مراحل پیشین، محدوده مورد بررسی به سه محیط رسوبگذاری دریاچه‌ای، رودخانه‌ای و بادی و چندین زیرمحیط آبی و بادی تقسیم شد (شکل ۲).

۱- تعیین واحدهای مورفوتکتونیک استان خوزستان: فرایندهای زمین‌ساخت از مهمترین عوامل ایجاد ناهمواری‌ها به شمار می‌آیند و شکل‌گیری ارتفاعات از نتایج این فرایندها است. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و IRS و همچنین، نقشه‌های زمین‌شناسی واحدهای اصلی مورفوتکتونیک استان خوزستان بر اساس تقسیم‌بندی (Berberian, ۱۹۹۵) بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست مشخص شدند. در این قسمت، ضمن اشاره به عوامل به‌وجود آورنده ساختمان‌ها، تمرکز بیشتر بر شکل هندسی و



شکل ۲- محیط‌های رسوبی محدوده مورد مطالعه

۴- تعیین ویژگی‌های باد: برای تعیین برخی از مشخصه‌های باد از داده‌های سه ساعته باد، ایستگاه سینوپتیک اهواز با دوره آماری ۴۶ سال و ایستگاه بستان با دوره آماری ۲۰ ساله به دلیل نزدیکی به تپه‌های ماسه‌ای غرب استفاده شد (جدول ۲). ابتدا با استفاده از برنامه WRPlot و ترسیم گل‌باد، سمت وزش و توزیع سرعت‌های باد و سپس با رسم نمودار گل‌ماسه مقدار انرژی و برای حمل ماسه با روش طبقات سرعت فرایبرگر^۳ (۱۹۷۹) شامل ۱۶-۱۱، ۲۱-۱۷، ۲۲-۲۷، ۲۸-۳۳ و ۴۰-۳۶ نات تعیین شد. بدین‌منظور، ابتدا توان بادهای مختلف بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی را در هر یک از جهات هشت‌گانه به یک واحد همگن تبدیل و سپس بر اساس واحد برداری در جهت مربوطه ترسیم شدند که با جمع برداری آن‌ها می‌توان محل نهایی ماسه‌ها^۴ (RDD) را مشخص کرد.

۵- استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک:

شاخص‌های ژئومورفیک مانند پیش‌برگ برای درک

۳- مورفولوژی رودخانه‌ای متأثر از مورفوتکتونیک: بررسی‌های ژئومورفولوژی

رودخانه‌ای شامل تغییرات بلندمدت و تغییرات میان مدت انجام شده است. تغییرات درازمدت مربوط به شواهد مسیر رودخانه‌های متروکه و الگوی جریان است و تغییرات میان‌مدت شامل بررسی پدیده‌هایی مانند قوس‌ها و پیچ و خم‌های رودخانه و دریاچه نعل-اسبی (شاخ گاوی) است. بارزسازی مسیرهای متروکه و تدقیق مسیرهای فعال رودخانه‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ میلادی و سنجنده Liss از ماهواره IRS هند مربوط به سال ۲۰۰۶ میلادی صورت گرفت (جدول ۱). در این خصوص، از شاخص بارزسازی مکانی و طیفی تک‌باندی و چندطیفی و ثبت نقاط شاخص استفاده شد. یکی از انواع مهم این شاخص‌ها که برای بارزسازی لبه‌ها^۱ به کار می‌رود، فیلتر گرادینت^۲ است.

³ Fryberger

⁴ Resultant Drift Direction

¹ Edge enhancement

² Gradient filter

تغییرات بستر رودخانه کرخه و فعالیت تکتونیکی مورد استفاده قرار گرفت. هر دگرشکلی تکتونیکی که شیب دره رودخانه را تغییر دهد، پیچش رود هم‌تراز آن و برای حفظ تعادل شیب کانال تغییر می‌کند. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$S = La/Ls \quad (1)$$

که در آن، S ضریب پیچش، La طول رودخانه و Ls طول مستقیم دره می‌باشد.

تجزیه و تحلیل ارتفاعی از طریق انتگرال هیپسومتری نیز از راه‌های مفید برای شناسایی میزان فعالیت‌های تکتونیکی است. این شاخص از طریق مساحت زیر منحنی و هیپسومتریک مشخص و از طریق زیر به دست می‌آید.

$$Hi = (h - Hmin) / (Hmax - Hmin) \quad (2)$$

که در آن، Hi انتگرال هیپسومتریک، $Hmax$ و $Hmin$ به ترتیب بیشینه و کمینه ارتفاع و h میانگین ارتفاع منطقه است.

جدول ۱- مشخصات داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

ردیف	سنجده	ماهواره	گذر	تاریخ
۱	ETM ⁺	لندست ۷	۱۶۵-۳۸	۲۰۰۲
۲	ETM ⁺	لندست ۷	۱۶۶-۳۸	۲۰۰۲
۳	TM	لندست ۵	۱۶۵-۳۸	۱۹۹۸
۴	TM	لندست ۵	۱۶۶-۳۸	۱۹۹۱
۵	Liss	IRS	۴۸-۶۷	۲۰۰۶

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده و طول دوره آماری

ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع به متر	طول دوره آماری به سال
۱	اهواز	۴۸° ۴۰'	۳۱° ۲۰'	۲۲/۵	۱۹۶۱-۲۰۰۷
۲	بستان	۴۸° ۰۰'	۳۱° ۴۳'	۷/۸	۱۹۸۶-۲۰۰۶

نتایج و بحث

منطقه مورد مطالعه، قسمتی از زون ساختاری دشت ساحلی زاگرس است (Berberian, ۱۹۹۵). این زون از نظر ساختمانی ساده بوده، منحصر به چین‌خوردگی‌های بسیار ملایم با محور شمالی-جنوبی است که از محور چین‌خوردگی کلی پلتفرم عربی تبعیت می‌کند و تشکیلات دوران اول تا سوم در آن جای دارد. میزان فعالیت تکتونیکی این محدوده با استفاده از تجزیه و تحلیل شاخص‌های ژئومورفیک مانند شاخص انتگرال هیپسومتری محاسبه شد. نتایج این شاخص برای مناطق مختلف بین صفر تا ۰/۵ است که مقادیر پایین‌تر، تعادل در فرایندهای ژئومورفیک را نشان می‌دهد. عدد به دست آمده برای محدوده مورد نظر حدود ۰/۵ می‌باشد که معرف توپوگرافی جوان و

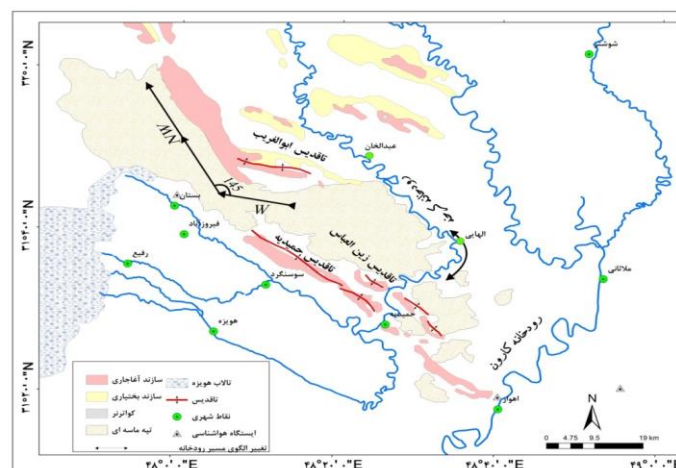
وجود پستی و بلندی زیاد نسبت به میانگین شبکه زهکشی می‌باشد. جدول ۳، مقادیر پارامترهای شاخص انتگرال هیپسومتریک را نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی فعال و واحدهای مورفوتکتونیکی مهم آن تاقدیس حمیدیه-اهواز، زین‌العباس و تاقدیس ابوالغریب هستند. این سه تاقدیس کوه‌های میش‌داغ و الله‌اکبر را شامل و از سازندهای آگاجاری و بختیاری تشکیل یافته‌اند. کوه‌های میش‌داغ و الله‌اکبر از روند عمومی زاگرس یعنی شمال غربی-جنوب شرقی تبعیت دارند. تاقدیس‌های حمیدیه-اهواز و زین‌العباس حد جنوبی و تاقدیس ابوالغریب، حد شمالی تپه‌های ماسه‌ای را در منطقه مشخص می‌کنند. تاقدیس ابوالغریب در شمال

تنهایی نمی‌تواند نحوه استقرار تپه‌های ماسه‌ای و برای پیشروی آن‌ها را توجیه کند، زیرا در برخی مناطق جهت‌گیری تپه‌های ماسه‌ای تا حدودی با روند چین‌خوردگی‌ها متفاوت هستند. به‌همین منظور، با تحلیل داده‌های هواشناسی دو ایستگاه اهواز و بستان و رسم گل‌بادها مشخص شد که جهت باد غالب در ایستگاه اهواز و بستان غرب است (شکل ۵). فراوانی باد غالب غربی در فصول و ماه‌های مختلف سال متفاوت است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که درصد باد غالب غربی در فصول و ماه‌های گرم سال بیشتر از فصول و ماه‌های سرد سال است. همچنین، نمودار گل‌ماسه سالانه نشان داد، برای حمل ماسه سالانه در ایستگاه سینوپتیک بستان ۹۲ درجه است (جهت شرقی). برآیند قابلیت برداشت ماسه سالانه در این منطقه ۲۸۸۷ واحد برداری است. بیشترین قابلیت برداشت ماسه در بین فصول مختلف سال به‌ترتیب مربوط به فصول تابستان و بهار با ۱۴۷۳ و ۱۱۱۶ و کمترین آن مربوط به زمستان و پاییز به‌ترتیب با ۱۴۷ و ۱۶۳ واحد برداری است که نسبت به ایستگاه اهواز خیلی بیشتر که نشان از شدت بالای فرساینده‌گی بادها در ایستگاه بستان است (شکل ۴).

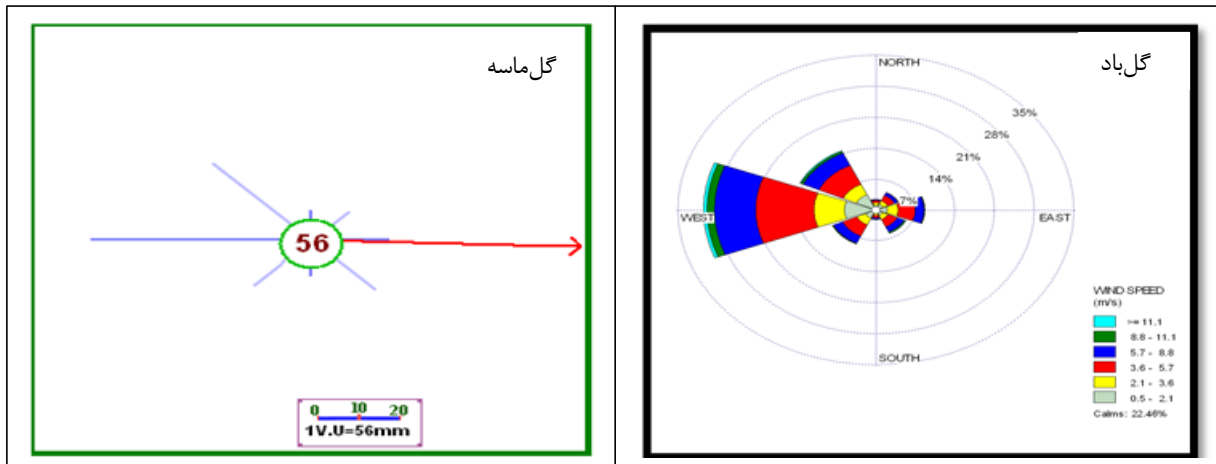
تپه‌های ماسه‌ای حدود ۱۵ کیلومتر طول و جهت عمومی آن شمال غرب-جنوب شرق است. این تاقدیس دارای دو روند با جهت‌های تقریباً مخالف یکدیگر است. نقطه عطف این تغییر جهت ناگهانی در نزدیکی شهرستان بستان است، تاقدیس فوق در این محل چرخش ۱۴۵ درجه‌ای به سمت شمال غرب دارد. در واقع بخش شمال غربی تپه‌های ماسه‌ای متأثر از این چرخش تاقدیسی است. تاقدیس حمیدیه-اهواز با طولی حدود ۸۴ کیلومتر و متوسط ارتفاع بین ۵۰ تا ۶۰ متر از شمال حمیدیه آغاز شده، ضمن عبور از شهرستان اهواز با روند N132 تا جنوب شرق این شهرستان ادامه می‌یابد. تاقدیس حمیدیه-اهواز و تاقدیس زین‌العباس با جهت عمومی فشار از ناحیه جنوب غرب به شمال شرق و حرکت پلیت عربستان به طرف ایران ایجاد شده است. همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص است، دالان به‌وجود آمده بین تاقدیس‌های ابوالغریب در شمال و تاقدیس حمیدیه-اهواز در جنوب نقش مهمی در کنترل مورفولوژی و استقرار تپه‌های ماسه‌ای دارند و باعث به تله افتادن رسوبات بادی و محدود شدن حرکت ماسه‌ها در این بازه شده است. اما به‌نظر می‌رسد، مورفوتکتونیک محدوده مورد مطالعه به

جدول ۳- مقادیر پارامتر شاخص انتگرال هیپسومتری

مقادیر	سنجنده	شاخص
۸۹	بیشینه ارتفاع	H_{max}
۳	کمینه ارتفاع	H_{min}
۴۶	میانگین ارتفاع منطقه	h
۰/۵	انتگرال هیپسومتریک	H_i



شکل ۳- نحوه قرارگیری تپه‌های ماسه‌ای شمال غرب اهواز در میان تاقدیس‌های اهواز و ابوالغریب



شکل ۴- گل باد و گل ماسه سالانه ایستگاه سینوپتیک بستان

سد تنظیمی حمیدیه نیز قابل مشاهده است. در پایین دست پل عبدالخان مسیر رودخانه از شمال غرب به سمت جنوب شرق است. این روند، تا حوالی روستای الهایی ادامه دارد، به گونه‌ای که پس از عبور از آن بر اثر برخورد با تاقدیس زین العباس مسیر حرکت خود را کاملاً تغییر داده و روند شمال شرق جنوب غرب به خود گرفته و با همین روند، تا سد تنظیمی حمیدیه ادامه می‌یابد، (شکل ۴). این جهت‌گیری باعث شده که سالیان متمادی مسیر رودخانه کرخه در این بازه به‌عنوان سدی در مقابل هجوم ماسه‌های روان عمل کرده و در همین محدوده است که بیشترین حجم ماسه‌ها قابل مشاهده است.

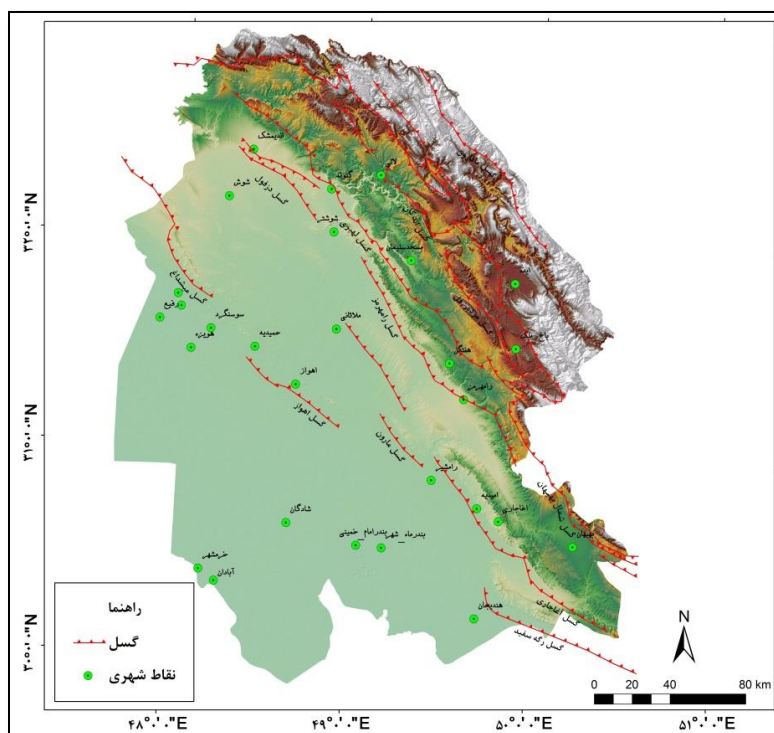
نتیجه‌گیری

موضوع فرسایش آبی و بادی در استان خوزستان و به‌خصوص در نیمه غربی آن همیشه تهدید جدی برای منابع خاک، اراضی کشاورزی و مردم استان به‌شمار می‌آید. زیرا سه محیط رسوبگذاری بزرگ شامل محیط رسوبگذاری بادی (پهنه‌های وسیع ماسه‌ای)، محیط رسوبگذاری رودخانه‌ای (رودخانه‌های کرخه و کارون) و محیط رسوبگذاری دریاچه‌ای (تالاب هورالعظیم) در محدوده مورد مطالعه به‌طور کامل فرایندهای فرسایش بادی و آبی را تحت تأثیر خود قرار داده‌اند. بنابراین، قبل از هر اقدامی برای مقابله و یا کنترل فرسایش، شناخت فرایندها و عوامل تشکیل‌دهنده آن‌ها لازم و ضروری است. برای نیل به این هدف، علاوه بر داشتن اطلاعات پایه، استفاده از داده‌هایی با قدرت تفکیک

علاوه بر چین‌خوردگی‌ها، وجود چندین گسل در محدوده مورد مطالعه نیز از مهمترین عوامل زمین‌ساختی در نحوه استقرار تپه‌های ماسه‌ای به‌شمار می‌آید (شکل ۵). گسل‌های اهواز، حمیدیه، سوسنگرد، رامهرمز، دزفول، اندیمشک، ایذه و بهبهان از مهمترین گسل‌های قابل شناسایی در استان هستند. گسل اهواز در یال جنوب غربی تاقدیس حمیدیه-اهواز حدود ۱۰۰ کیلومتر امتداد دارد و ضمن عبور از شهرهای اهواز و حمیدیه تا شمال سوسنگرد ادامه دارد (شکل ۶). این گسل باعث پیچش جریان رودخانه کرخه و تغییر الگوی جریان آن از پیچان به مستقیم در هنگام عبور از تاقدیس و گسل اهواز در نزدیکی شهرستان حمیدیه شده است (شکل ۳). نتایج بررسی‌ها بر روی عناصر شاخص پیچش از روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۰۲ و IRS ۲۰۰۶ میلادی نیز نشان داد که میزان پیچش رودخانه کرخه از مناطق شمالی شهرستان حمیدیه تا حمیدیه ۱/۲۵ می‌باشد. با بررسی‌های بیشتر بر روی تصاویر قدیمی‌تر مانند نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۵۴ شمسی نیز نشان داد، تغییرات مقدار شاخص پیچش در این محدوده بسیار کم است. هرگاه مقدار این پارامتر به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر این است که منطقه از نظر تکتونیکی فعال و گسلش در تعیین مسیر رودخانه فعال است. افزایش در مقدار آن نیز بیانگر کاهش در فعالیت‌های تکتونیکی است. آثار چنین فعالیت‌هایی بر الگوی جریان رودخانه کرخه در محل‌های دیگری مانند پایین‌دست پل عبدالخان تا

ماسه‌ای غرب جلگه استان خوزستان تقویت نمود. تفسیر نقشه‌های زمین‌شناسی وجود چندین تاقدیس را در محدوده مورد مطالعه و اطراف تپه‌های ماسه‌ای نشان داد. تاقدیس حمیدیه-اهواز در جنوب و تاقدیس‌های زین‌العباس در بخش میانی و ابوالغریب در شمال با روند شمال غرب-جنوب شرق در ایجاد دالان طبیعی حمل‌تل ماسه‌ها و استقرار آن‌ها در غرب استان خوزستان تشخیص داده شد.

مکانی و طیفی بالاتر از تصاویر ماهواره‌ای لندست مانند تصاویر IRS توصیه می‌شود. پردازش‌های دیداری تصاویر ماهواره‌ای به‌خوبی مورفولوژی غیر متعارف پهنه‌های ماسه‌ای و رودخانه‌ای را در برخی از نواحی نشان می‌داد. از طرفی، استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی مانند ضریب پیچش و انتگرال هیپسومتری فرض دخالت عوامل زمین‌ساخت و واحدهای مورفوتکتونیک را در نحوه استقرار تپه‌های



شکل ۵- توزیع گسل‌های استان خوزستان



شکل ۶- تاقدیس و گسل اهواز، نگاه به سوی شرق (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

نزدیکی شهر بستان در حاشیه جنوب غربی تل ماسه‌ها و دیگری در حاشیه شرقی و جنوب شرقی تل ماسه‌ها، مرز نهایی گسترش تل ماسه‌ها را مشخص کرده است. با توجه به نزدیکی حاشیه تپه‌های ماسه‌ای به رودخانه کرخه به‌خصوص از شهرستان الهایی تا شهرستان حمیدیه، مقادیر زیادی از رسوبات بادی به‌وسیله رودخانه کرخه به‌خصوص در شرایط پراپی و سیلابی به‌سمت دشت‌های سیلابی و تالاب هورالعظیم حمل و در این مناطق ته‌نشست می‌شود. این رسوبات در شرایط خشکسالی و کم‌آبی که مرز تالاب عقب‌نشینی می‌کند و سطح اراضی کاملاً خشک می‌شوند، بستر مناسبی را برای فرسایش بادی ایجاد می‌کند. بنابراین، یکی از اقدامات مؤثر در کاهش فرسایش در محدوده مورد مطالعه، جلوگیری از انتقال رسوبات بادی به‌وسیله رودخانه کرخه است. ایجاد موانع زنده مانند پوشش گیاهی مترکم در حاشیه رودخانه کرخه در مجاورت تپه‌های ماسه‌ای می‌تواند از انتقال رسوبات بادی به‌وسیله رودخانه و یا باد جلوگیری کند. با توجه به وجود منابع آبی فراوان در منطقه و بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی موفقیت انجام چنین پروژه‌ای دور از انتظار نیست.

این دالان با مورفولوژی تاقدیس‌ها و حد نهایی گسترش تل ماسه‌ها نیز به‌وسیله آن‌ها تعیین می‌شوند. فرایندهای زمین‌ساخت نه تنها بر پهنه‌های ماسه‌ای بلکه بر مورفولوژی و مورفودینامیک رودخانه کرخه نیز تأثیرگذار بوده است. تغییر مسیر ناگهانی رودخانه کرخه و چرخش ۹۰ درجه‌ای آن در نزدیکی شهرستان حمیدیه از شواهد تأثیرپذیری رودخانه کرخه از گسل اهواز است. مطابق مطالعات انجام شده به‌وسیله Yamani و Karami (۲۰۱۰) چنین تحولاتی در مورفولوژی رودخانه کرخه در جدایی و محصور شدن بخشی از تلماسه‌ها بی‌تأثیر نیست. Iranmanesh و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی‌های بیشتر بر روی نقش مورفودینامیک دیرینه رودخانه کرخه در بازه شهرستان‌های الهایی تا حمیدیه اذعان داشتند، مورفودینامیک دیرینه رودخانه کرخه در حاشیه تپه‌های ماسه‌ای ضمن ایجاد بریدگی در میان توده‌های ماسه‌ای و عقب راندن آن‌ها، موجب انتقال رسوب مناسب به نقاط پوینت‌بار شده و با عریض‌تر کردن بستر خود از طریق ایجاد خم‌های گسترشی و انتقالی اراضی مساعد کشاورزی را در میان تپه‌های ماسه‌ای به وجود آورده‌اند. این پژوهش نیز آشکار ساخت که رودخانه کرخه در دو محل، یکی در

منابع مورد استفاده

- Berberian, M. 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 193-224.
- Dupin, L. 2011. Mapping the landform assemblages and archaeological record of the lower Khuzestan Plain (SW Iran) using remote sensing and GIS techniques. *The Geological Society of America, Special paper* 476: 53-68.
- Elmizadeh, H. and M. Yamani. 2014. Analysis of the role Neotectonic and sedimentation in bed changes of jagin river. *Marien Science and Technology*, 13(2): 91-100. (in Persian).
- Falcon, N.L. 1974. Southern Iran: Zagros mountains. In *Mesozoic-Cenozoic orogenic belts: data for orogenic studies: Alpine-Himalayan orogens*. Geological Society, London, Special Publications, 4: 199-211.
- Fryberger, S.G. 1979. Dune forms and wind regimes. In E.D. Makee (ed.), a study of global sand sea, 137-140, United States Geological Survey, professional paper, 1052: 137-140.
- Gandomi, Z., A.H. Charkhabi, H. Mohseni and M. Amiri. 2018. Study of particle size of sand dunes and its application in finding the source of sediments surrounding Ahvaz fault. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(4): 897-906. (in Persian).
- Geological report of the Ahwaz map (1:25000), 5752 IV SE. Ministry of Industries, Mine and Trade Geological Survey of Iran. 2014. Southwest Regional Geology Centre (Ahvaz). (in Persian).
- Iranmanesh, F., M. Maghsoudi, M. Yamani and A.M. Charkhabi. 2014. Sedimentary evidences of holocene climate changes of Karkheh River in Azadegan Plain section. PhD Thesis, University of Tehran, Faculty of Geography, 2(1): 49-66. (in Persian).

9. Jafari, S. 2010. Study of geomorphology changes of active sand dunes in Khuzestan and quaternary sediments using RS and GIS. MSc thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran (in Persian).
10. Jookar, N. 2010. Study and analysis of clay and sand mineralogy and distribution of rare-earth elements in wind sediment deposits. MSc Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran (in Persian).
11. Kocurek, G. and N. Lancaster. 1999, Aeolian system sediment state: theory and Mojave Desert Kelso dune field example. *Sedimentology*, 46(3): 505-515.
12. Maghsodi, M., A. Ahamdi and S. Shayan. 2016. The Impact of tectonic and climate change on the evaluation of sandy zones of Northeast Ahwaz. *Quantitative Geomorphological Research*. 5(1): 160-180 (in Persian).
13. Maghsodi, M., M. Zamanzadeh., M. Yamani and A.H. Hazizadeh. 2016. Assessment of tectonic of Maroon River catchment using geomorphic indices and improved the indices relations. *Quantitative Geomorphological Research*, 6(3): 37-59 (in Persian).
14. Nottebaum, L., S. Baker, S. Bacon and G. McCarley-Holder. 2015. Owens Lake dune fields: composition, sources of sand and transport pathways. *CATENA*, 134: 41-49.
15. Ozkaymak, C. and H. Sozbilir. 2012. Tectonic geomorphology of the Spildağı High Ranges, western Anatolia. *Geomorphology*, 173: 128-140.
16. Poormahammadi, B. 1996. Morphotectonic of Karkheh River. The 4th River Engineering Conference. Shahid Chamran University of Ahwaz, 553-564 (in Persian).
17. Ramsey, L.A., R.T. Walker and J. Jackson. 2008. Fold evolution and drainage development in the Zagros mountains of Fars Province, SE Iran. *Basin Research*, 20(1): 23-48.
18. Robinson, C.A., F. El-Baz, T.M. Kusky, M. Mainguet, F. Dumay, Z. Al Suleimani and A. Al Marjeby. 2007. Role of fluvial and structural processes in the formation of the Wahiba Sands, Oman: a remote sensing perspective. *Journal of Arid Environments*, 69(4): 676-694.
19. Stöcklin, J. 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 52(7): 1229-1258.
20. Yamani, M. and F. Karami. 2010. The effective processes on form and evolution of sand dunes in Khozestan Plain, case study: Northern Erg of Ahwaz. *Arid Regions Geographic Studies*, 1(2): 23-42. (in Persian).