

ارتباط چشمه‌های گسلی با فرسایش بادی در محدوده چاله در آنجیر

اسماعیل پاریزی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران.
مجتبی یمانی* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
سید رضا مهرنیا - دانشیار زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور تهران.
مهران مقصودی - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
سید موسی حسینی - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۴/۲۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴

چکیده

فرسایش بادی و لندفرم‌های حاصل از آن چهره غالب دشت‌های هموار و پست مناطق خشک ایران است. شکل‌گیری پوشش گیاهی و نیکاه‌ها در بخش داخلی کویر در آنجیر با وجود شوری و سخت‌سنگی زیاد رسوبات، سؤال‌هایی را در مورد عوامل اصلی کنترل‌کننده آن‌ها مطرح می‌کند. روند خطی پوشش گیاهی و نیکاه‌ها و حرکت امتدادلغز گسل بافق - پشت بادام در این منطقه، فرضیه کنترل فرسایش بادی به علت وجود چشمه‌های آب شیرین گسلی را مطرح می‌کند. در این راستا، در وهله اول منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های میدانی تعیین حدود شد. با توجه به اینکه در زمان حاضر فقط یک چشمه در امتداد گسل مذکور فعال است، یک نمونه ۱۰۰ میلی‌لیتری از آب چشمه جهت آنالیز ژئوشیمیایی برداشت گردید. علاوه بر این، ۴ گمانه در امتداد گسل تا عمق ۶۰ سانتیمتر در منطقه رویش پوشش گیاهی و یک گمانه در رسوبات سخت شده کویر در آنجیر تا عمق ۲ متر حفاری و نمونه‌های رسوب و آب برداشت و سطح ایستابی در هر گمانه اندازه‌گیری شد. بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ژئومورفولوژی، ابتدا آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر مدل HI9811-5 انجام شد. سپس با تهیه عصاره اشباع نمونه‌های رسوب، مقادیر TDS، EC و pH هر کدام از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. نتایج مؤید آن است که حرکت امتدادلغز گسل بافق - پشت بادام و به تبع آن ظهور چشمه‌های گسلی به سه شیوه متفاوت فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه را تحت کنترل خود درآورده است: ۱. با تشکیل یک زون مرطوب سبب رویش انواع مختلف پوشش گیاهی شده است و سرعت باد را در سطح کاهش داده، ۲. با بالا آوردن سطح ایستابی در امتداد گسل مذکور و افزایش رطوبت سطحی مانع حمل‌ونقل رسوبات توسط باد شده است ۳. با تشکیل نیکاه‌ها سبب تجمع رسوبات بادی در اطراف درختچه‌ها شده است.

واژگان کلیدی: چشمه گسلی، فرسایش بادی، گسل بافق - پشت بادام، چاله در آنجیر.

مقدمه

فرسایش بادی و لندفرم‌های حاصل از آن چهره غالب دشت‌های هموار و پست مناطق خشک ایران است (یمانی، ۱۳۹۴، ۹۹). اهمیت فرسایش بادی به‌طور زیادی در بیابان‌ها به علت تنوع‌پذیری زیادی که در قدرت باد وجود دارد، متفاوت است (گودی^۱، ۲۰۱۳، ۱۱۴). این نوع از فرسایش که توسط قدرت فرسایش دهنده‌گی باد و فرسایش‌پذیری سطوح تحت تأثیر کنترل می‌شود (شارما^۲، ۲۰۱۰، ۲۵۲) در سه مورد خطرناک می‌باشد: ۱. سطوح مغذی خاک را از بین می‌برد و در نتیجه خاک جهت حفظ یک پوشش گیاهی محافظت‌کننده بسیار کم‌توان می‌شود (توماس^۳، ۲۰۱۱، ۵۱۸)، ۲. ته‌نشست رسوبات فرسایش یافته می‌تواند گیاهان، کانال‌های زهکشی را دفن کند، ذخایر آب و غذا را آلوده کند و همچنین بر روی رشد گیاهان، بازدهی خاک، دینامیک اکوسیستم تأثیر منفی بگذارد (لارنی^۴ و همکاران، ۱۹۹۸، ۱۳۴؛ ورستر^۵، ۲۰۰۴، ۸۴؛ مک تینش و استرونک^۶، ۲۰۰۷، ۳۹)، ۳. حمل‌ونقل رسوبات فرسایش یافته توسط بادهای قوی می‌تواند باعث خسارت به ساختمان‌ها، محصولات و همچنین ایجاد مشکلات میدان دید در جاده‌ها و فرودگاه‌ها شود (توماس، ۲۰۱۱، ۵۱۸). بنابراین فهم بهتر دینامیک و فرآیندهای بادی در مناطق بیابانی جهت تشخیص مناسب و مؤثر و کاهش مخاطرات ژئومورفولوژیکی ضروری است (لانکستر^۷، ۲۰۱۳، ۲۲۹).

در میان عوامل کنترل‌کننده فرسایش بادی، عمق آب زیرزمینی و متعاقباً رطوبت سطحی جزو پارامترهای تعیین‌کننده مقدار رسوبات قابل حمل هستند (هسپ^۸، ۲۰۰۲، ۲۴۶؛ بائر^۹ و همکاران، ۲۰۰۹، ۱۰۷؛ پورتینگا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵، ۲۳؛ سیلوا^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۸، ۲). در واقع سطح بالای آب زیرزمینی موجب محدودیت میزان حمل‌ونقل رسوبات بادی می‌شود (آرنز^{۱۲}، ۱۹۹۶، ۳۳۹؛ اُبلینگر و آنتونی^{۱۳}، ۲۰۱۳، ۱۱۹۵)؛ که سازوکار آن مبتنی بر تغییرات سطح آب زیرزمینی (درصد رطوبت خاک) و در نتیجه تغییر پتانسیل حمل‌ونقل رسوبات بادی است (یانگ و داویدسون، ۲۰۰۵، ۴۴۸؛ دارک و نیومن، ۲۰۰۸، ۱۲۰۱). علیرغم اینکه آب زیرزمینی نقش تعیین‌کننده‌ای در حمل‌ونقل رسوبات و فرسایش بادی در مناطق دارای سطح ایستابی بالا دارد، ولی تاکنون هیچ مطالعه‌ای در زمینه تأثیر چشمه‌های گسلی در کنترل فرسایش بادی انجام نشده است. به بیان دیگر با وجود اینکه محققین، تأثیر آب زیرزمینی بر فرآیندها و لندفرم‌های بادی را در زمینه‌هایی مانند عمق بالای آب زیرزمینی به عنوان یکی از عوامل محدودکننده منبع رسوبات تپه‌های ماسه‌ای (کوکورک و نایلسون، ۱۹۸۶، ۷۹۵)، کنترل‌کننده میزان حمل‌ونقل رسوبات بادی (پورتینگا و همکاران، ۲۰۱۵، ۲۳)، تأثیر عمق آب زیرزمینی بر تشکیل تپه‌های ماسه‌ای (سیلوا و همکاران، ۲۰۱۸، ۲)، نقش کیفیت آب زیرزمینی بر ایجاد تپه‌های برخان و پارابولیک (لانگفرد^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۹، ۴۸) بیان نمودند، ولی تاکنون در زمینه نقش چشمه‌های گسلی به عنوان یکی از خروجی‌های آب زیرزمینی بر کنترل فرسایش بادی در سطح جهان انجام نشده است و این موضوع مسئله اصلی پژوهش را تشکیل داده است.

1. Goudie

2. Sharma

3. Thomas

4. Larney

5. Worster

6. McTainsh & Strong

7. Lancaster

8. Hesp

9. Bauer

10. Poortinga

11. Silva

12. Arens

13. Oblinger & Anthony

14. Langford

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ۱۴ استان کشور تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱، ۸۴). به عبارت دیگر با توجه به اینکه پدیده فرسایش بادی در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک عمل می‌کند و از طرفی بیش از دوسوم ایران در این اقلیم قرار گرفته است بنابراین فرسایش بادی به عنوان عامل مؤثر در تخریب و ایجاد خسارت در این مناطق ایفا نقش می‌کند (احمدی، ۱۳۸۷، ۲۵۲). در این زمینه استان یزد و بالخصوص چاله درآنجیر یکی از خشک‌ترین مناطق ایران محسوب می‌شود که بارش بسیار کم، فقر پوشش گیاهی، بادهای شدید باعث گردیده تا این منطقه به یکی از مخاطره‌آمیزترین مناطق خشک به لحاظ فرسایش بادی تبدیل شود. در واقع فرسایش بادی شرایطی را به وجود آورده است تا فعالیت‌های انسانی در این منطقه تا حدودی متأثر از این نوع فرآیند باشد. وجود گسل بافق - پشت بادام با حرکت امتدادلغز راست‌گرد (آقابات، ۱۳۸۳: ۶۵۴) و شکل‌گیری انواع پوشش گیاهی، نبکاها و ظهور چشمه‌ها به موازات گسل، فرضیه کنترل فرسایش بادی به وسیله آب شیرین چشمه‌های گسلی را در ذهن متبادر می‌کند. در واقع این چشمه‌ها به عنوان یکی از شواهد حرکت امتدادلغز گسل‌ها اغلب در امتداد زون‌های گسلی یافت می‌شوند، زیرا سنگ‌های خردشده مرتبط با گسلش هم می‌توانند یک مانع مؤثر و هم هدایت‌کننده آب‌های زیرزمینی باشد و باعث هدایت این آب‌ها به سطح زمین شوند (کلر و پینتر^۱، ۱۹۹۶، ۶۰)؛ بنابراین نحوه تأثیر چشمه‌های گسلی بر تشکیل لندفرم‌های بادی و کنترل فرسایش بادی مسئله تحقیق می‌باشد.

از جمله تحقیقات انجام شده در زمینه نقش آب زیرزمینی بر لندفرم‌های بادی می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: کوکیورک و نایلسون^۲ (۱۹۸۶) در پژوهشی با عنوان شرایط مطلوب برای تشکیل پهنه‌های ماسه‌ای، چنین نتیجه گرفتند که عمق بالای آب زیرزمینی می‌تواند به‌وسیله حفظ رطوبت سطحی، مقدار ماسه قابل حمل توسط باد را کاهش دهد. فریرگر^۳ (۱۹۸۸) با مطالعه‌ای با عنوان تأثیر آب زیرزمینی نزدیک سطح زمین بر میزان ته‌نشست رسوبات بادی چنین بیان می‌دارد که سطح ایستابی بالای آب زیرزمینی عامل کنترل‌کننده ته‌نشست رسوبات بادی است. پای و تسوار^۴ (۲۰۰۸) با تحقیق بر روی تپه‌های ماسه‌ای چنین استنباط نمودند که در محیط‌های بیابانی گرم که سطح آب زیرزمینی شور بالا است، تبخیر آب زیرزمینی ممکن است موجب سیمانی شدن بخش‌های بین تپه‌ها و قسمت‌های پایینی تپه‌های ماسه‌ای شود. لانگفرد و همکاران (۲۰۰۹) در پژوهشی با عنوان میزان شوری آب زیرزمینی به عنوان یک عامل کنترل‌کننده بر روی تشکیل تپه‌های ماسه‌ای در نیومکزیکو چنین استنباط نمودند که تشکیل تپه‌های پارابولیک و برخان به سبب تنوع در کیفیت آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه است. به عبارتی در مناطقی که آب زیرزمینی شیرین است، پوشش گیاهی رشد کرده و موجب تشکیل تپه‌های پارابولیک می‌شود؛ در مقابل در مناطقی که شوری افزایش پیدا می‌کند، هیچ گیاهی رشد نمی‌کند و تپه‌های برخان شکل می‌گیرند. سیلوا و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان تأثیر عمق آب زیرزمینی بر تشکیل تپه‌های ساحلی، بیان می‌دارد که در مناطق دارای سطح ایستابی بالای آب زیرزمینی، منبع ماسه محدود می‌گردد و فقط لندفرم نبکا در این مناطق تشکیل می‌شوند.

هدف از این پژوهش ارزیابی نقش چشمه‌های گسلی در کنترل فرسایش بادی و تشکیل لندفرم‌های مربوط به آن است. در این راستا، سعی شده برای اولین بار با بهره‌گیری از داده‌های زمین‌شناسی، بررسی‌های میدانی و آنالیزهای ژئوشیمیایی، نحوه تأثیر چشمه‌های گسلی در کنترل فرسایش بادی بررسی گردد. نتایج این پژوهش در مدیریت مناطق بیابانی به‌ویژه مناطقی که دچار مشکلات فرسایش بادی هستند، از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است.

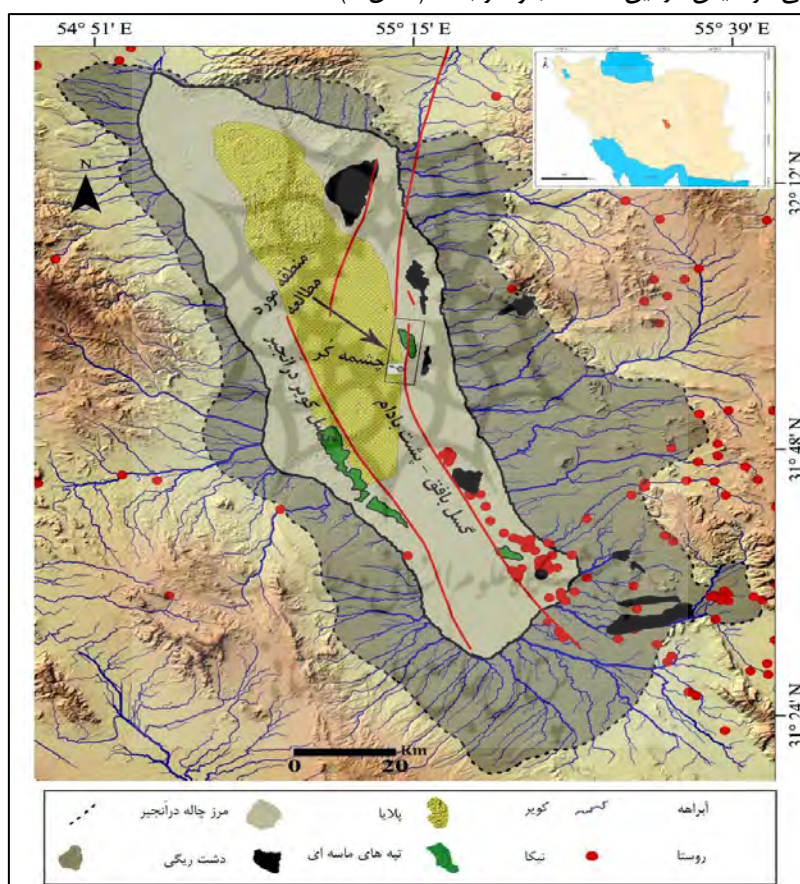
1. Keller & Pinter

2. Kocurek & Nielson

3. Fryberger

4. Pye & Tsoar

منطقه مورد مطالعه بخشی از چاله در آنجیر می‌باشد که با وسعت ۴۶۸۷/۱۱ کیلومتر مربع و موقعیت ۵۹° ۵۴' تا ۳۷' ۵۵° طول جغرافیایی و ۱۸° ۳۱' تا ۲۲' ۳۲° عرض جغرافیایی تقریباً در مرکز استان یزد در یک چاله گرابنی شکل واقع شده است. از منظر زمین‌شناسی نیز چاله در قلمرو رسوبات کواترنری قرار دارد و پلاایای درانجیر به وسیله دو گسل کویر در آنجیر و گسل بافق - پشت بادام محصور شده است. گسل پشت بادام از گسل‌های پره کامبرین، ژرف و خمیده ایران مرکزی است که دارای حرکت راست لغز می‌باشد (آقاباتی، ۱۳۸۳، ۶۵۴). حداقل و حداکثر ارتفاع چاله در آنجیر ۸۱۱ و ۱۷۷۲ متر از سطح دریا، میانگین بارش و دمای سالانه (۲۰۱۰-۱۹۹۳) ۵۱ میلی‌متر و ۲۱/۴ سانتی‌گراد می‌باشد (سازمان هواشناسی). همچنین قوی‌ترین بادهای این چاله در فصل تابستان از سمت شمال و شمال غرب می‌وزند. بارش بسیار کم، فقر پوشش گیاهی، توپوگرافی نسبتاً هموار، استمرار و طول محیط در معرض باد و رسوبات سطحی منفصل باعث گردیده که فرسایش بادی به عنوان فرآیند اصلی فرسایش در این منطقه جلوه‌گر باشد (شکل ۱).



شكل ١: موقعيت حفر افياب، منطقه موردمطالعه

دادہا و روش گردآوری

داده‌های پژوهش به طور مستقیم و از طریق کارهای میدانی تفصیلی برداشت شده‌اند. این داده‌ها در چهار گروه اصلی قابل تفکیک هستند: داده‌های نمونه رسوب که از طریق مغزه گیری توسط دستگاه اوگر دستی برداشت شده‌اند، داده‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی که ابتدا توسط حفاری به وسیله اوگر و برداشت نمونه آب به وسیله دستگاه نمونه‌بردار آب و هم‌زمان اندازه‌گیری عمق آب توسط متر و در مرحله بعد انجام کارهای ژئوشیمی بر روی نمونه‌ها انجام گردید، داده‌های اکولوژی که از طریق مشاهدات میدانی، تهیه عکس و تعیین نوع پوشش گیاهی، آماده گردید. لازم به یادآوری است که

موقعیت جغرافیایی و ارتفاعی گمانه ها و نیز تعیین مختصات مکان های نمونه برداری توسط دستگاه GPS در تمام مراحل کار میدانی ثبت شده و بر روی نقشه های پایه انتقال داده شده است.

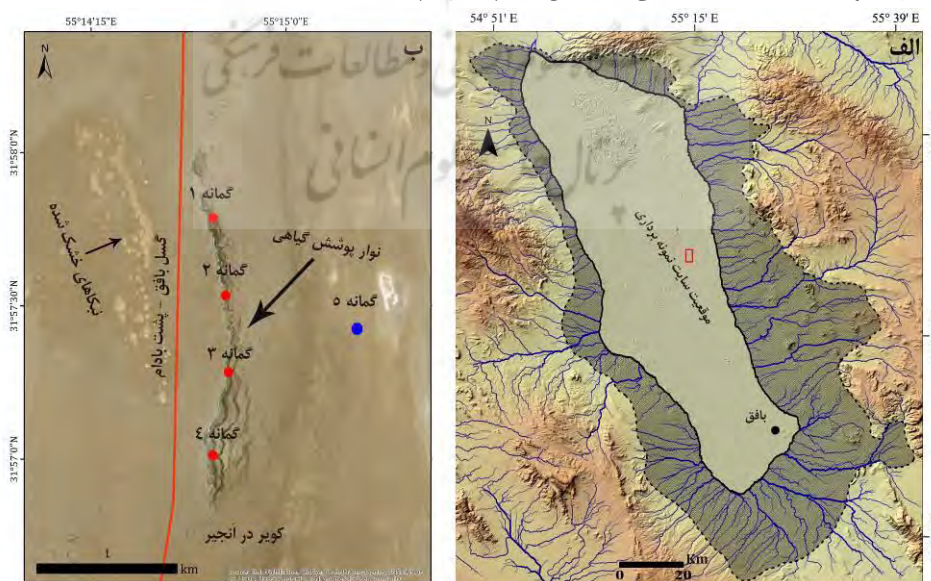
ابزارهای پژوهش

ابزارهای فیزیکی پژوهش را نقشه های توپوگرافی و همچنین نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مربوط به مناطق بافق، آریز، سیریز، فهرج، اسفوردی، شمش، خرائق تشکیل داده اند. از طریق این نقشه ها ضمن تعیین قلمرو مطالعاتی، داده های لیتولوژی و گسل ها استخراج شده اند. برای تهیه داده های تکمیلی و تحلیل نمونه های رسوبی ابزارهای آزمایشگاهی مانند مغزه بردار نوع اوگر دستی، دستگاه نمونه بردار آب، دستگاه مولتی پارامتر مدل HI9811-5، سانتیفریوژ و سایر ابزارهای آزمایشگاهی به کار گرفته شده اند. در تمانی مراحل کار میدانی نیز از دستگاه GPS برای مارک کردن نقاط نمونه گیری و ثبت موقعیت محل گمانه ها و نظایر آن بهره گیری شده است.

ابزارهای مفهومی را عمدتاً نرم افزارهای GIS، Surfer، Global Mapper و Google Earth تشکیل داده اند. از این نرم افزارها برای آنالیزهای مکانی و تهیه نقشه های منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

روش تجزیه و تحلیل

در نخستین گام بر اساس نقشه های زمین شناسی، تصاویر Google Earth و بازدیدهای میدانی مناطق متأثر از چشمه های گسلی در کویر در آنجیر شناسایی شدند. در مرحله بعد جهت تعیین نحوه تأثیر چشمه ها بر کنترل فرسایش بادی، ابتدا از تنها چشمه فعال در امتداد گسل بافق - پشت بادام (چشمه کُر)، ۱۰۰ میلی لیتر آب جهت آنالیز شیمیایی نمونه برداری شد. سپس جهت تعیین سطح ایستابی و آنالیز شیمیایی نمونه های آب و رسوب در امتداد گسل بافق - پشت بادام، ۴ نقطه جهت گمانه برداری انتخاب و موقعیت و ارتفاع گمانه ها توسط دستگاه GPS تعیین شد (شکل ۲، ب، گمانه های ۱، ۲، ۳ و ۴). علاوه بر این، یک گمانه^۱ در فاصله ۸۰۰ متری از امتداد گسل (گمانه ۵ در شکل ۲ ب) برای تعیین سطح ایستابی کویر در آنجیر و آنالیز رسوبات در منطقه مطالعاتی مشخص شد (شکل ۲).



شکل ۲: موقعیت مناطق گمانه زنی و نمونه برداری

سپس با استفاده از یک دستگاه اوگر به طول دهانه ۲۰ سانتیمتر و قطر ۷/۵ سانتیمتر اقدام به مغزه گیری در امتداد گسل شد (شکل ۳). به این صورت که نمونه‌گیری در هر گمانه با فواصل ۲۰ سانتیمتر انجام گردید. در مرحله بعد هر نمونه به‌خوبی مخلوط و ۱۰۰ گرم از هرکدام از نمونه‌ها جهت آنالیزهای شیمیایی برداشته شد. همچنین پس از عبور از سطح ایستابی، در وهله اول سطح آب به وسیله ابزار متر در هر گمانه اندازه‌گیری و سپس با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار آب، ۱۰۰ میلی‌لیتر آب جهت انجام آزمایش ژئوشیمی برداشت شد. در مجموع ۴ نمونه آب و ۲۲ نمونه رسوب برداشت گردید.



شکل ۳: تصاویری از روش و ابزارهای نمونه‌برداری میدانی در عرصه طبیعی

بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه ژئومورفولوژی، ابتدا مقادیر EC و TDS نمونه‌های آب با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر مدل HI9811-5 اندازه‌گیری شدند. جهت محاسبه مقادیر EC و TDS نمونه‌های رسوب، از روش عصاره اشباع استفاده شد. بدین‌صورت که ابتدا نمونه‌های موردنظر در دستگاه خشک‌کن، خشک شدند، سپس ۵۰ گرم از هر نمونه با ترازوی دقیق وزن و با ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر ترکیب شد. در مرحله بعد با استفاده از دستگاه شیکر لوله (ورتکس) آب مقطر و نمونه‌های خاک به‌خوبی مخلوط شدند، سپس با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ آب حاوی ترکیب شیمیایی رسوبات تفکیک و مانند نمونه‌های آب، با استفاده از دستگاه مولتی پارامتر و ابزارهای دیگری نظیر بشر، پیپت و پووار مقادیر EC و TDS نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند (شکل ۴).



شکل ۴: تصاویری از ابزارهای آزمایشگاهی استفاده شده

یافته‌ها

چشمه‌های گسلی و نوار پوشش گیاهی

چشمه‌ها به عنوان یکی از آثار گسل‌های عادی و امتدادلغز شاهدهی از فعالیت گسل بافق – پشت بادام می‌باشند. در واقع فعالیت‌های نوزمین ساخت در راستای گسل مذکور علاوه بر ظهور مستقیم آب زیرزمینی به صورت چشمه در راستای گسل، با نفوذ آب شیرین به آبخوان، موجب کاهش شوری آب زیرزمینی و پیدایش یک زون مرطوب در راستای اثر گسل در کویر درآنجیر شده است. این زون مرطوب در راستای اثر گسل در منطقه مورد بررسی سبب رشد و نموی قابل توجه درختچه‌ها، درختان گز و بوته‌های نی شده و سرعت باد سطحی را در منطقه مورد مطالعه کاهش داده است (شکل ۵).



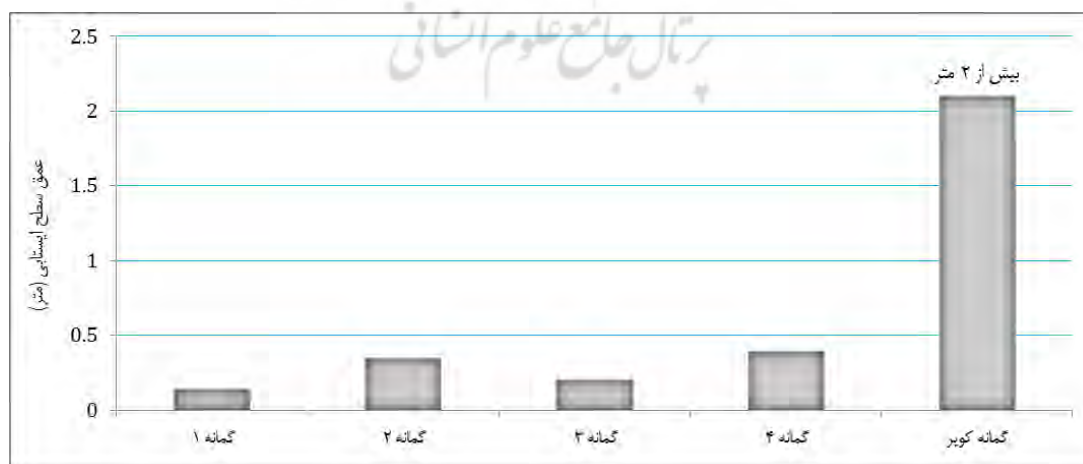
شکل ۵. چشمه گسلی گز در امتداد گسل بافق – پشت بادام

ویژگی‌های هیدروژئولوژی

همان‌طور که ذکر شد، حرکت امتدادلغز گسل بافق - پشت بادام علاوه بر ظهور مستقیم چشمه‌های گسلی، سبب بالآمدگی آب زیرزمینی و افزایش قابل توجه رطوبت سطحی در امتداد گسل مذکور شده است؛ بنابراین جهت بررسی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی ۴ گمانه با فواصل منظم در امتداد گسل حفر شد (شکل ۲، ب، گمانه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴). نتایج بررسی‌های صورت گرفته بر روی خصوصیات کمی و کیفی آب زیرزمینی در امتداد گسل بافق - پشت بادام به شرح جدول ۲ و شکل ۶ می‌باشد. این نتایج حاکی از آن است که حداقل سطح ایستابی، TDS و EC در امتداد گسل به ترتیب ۰/۱۵ متر، ۱۲۳۵ ppm و ۲۴۶۵۸ $\mu\text{S}/\text{cm}$ و حداکثر ۰/۴۰ متر، ۳۰۴۵۲ ppm و ۶۱۲۸۴ $\mu\text{S}/\text{cm}$ می‌باشد. علاوه بر حفاری‌های انجام شده در امتداد گسل بافق پشت بادام، جهت اندازه‌گیری سطح ایستابی و شوری آب زیرزمینی کویر در انجیر، گمانه‌ای به فاصله ۸۰۰ متری از امتداد گسل حفر شد (شکل ۲، ب، گمانه ۵)؛ اما با وجود ۲ متر حفاری در رسوبات سخت کویر دستیابی به سطح ایستابی امکان پذیر نگشت. این نتایج نشان می‌دهد که چشمه‌های گسلی با تزریق آب شیرین در امتداد گسل نه تنها شوری آب زیرزمینی کویر را کاهش داده است، بلکه سطح ایستابی را نیز در امتداد گسل مذکور بالا آورده است و حمل و نقل رسوبات توسط باد را به حداقل ممکن رسانده است.

جدول ۱: نتایج آنالیز ویژگی‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

منطقه نمونه‌برداری	شماره گمانه	سطح ایستابی (متر)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (ppm)
چشمه کُر	-	-	۶/۱	۵۱۰	۲۴۰
کویر در انجیر	-	بیش از ۲ متر	-	-	-
امتداد گسل بافق - پشت بادام	۱	۰/۱۵	۶/۳	۶۱۲۸۴	۳۰۴۵۲
	۲	۰/۳۵	۶/۵	۴۰۶۲۰	۱۸۵۳۹
	۳	۰/۲۱	۶/۶	۳۳۳۱۱	۱۶۸۵۸
	۴	۰/۴۰	۶/۷	۲۴۶۵۸	۱۲۳۳۵
	میانگین	۰/۲۷	۶/۵	۳۹۹۶۸	۱۹۵۲۱



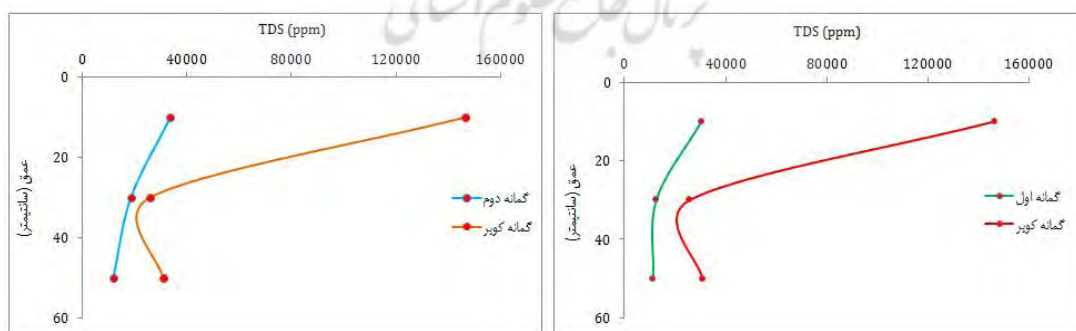
شکل ۶: تغییرات عمق سطح ایستابی در گمانه‌های برداشت شده

تجزیه و تحلیل شیمیایی رسوبات

یافته های حاصل از آنالیز نمونه های رسوب گمانه های مورد مطالعه به شرح جدول ۳ و اشکال ۸ و ۹ می باشد. جدول ۳ نشان می دهد که حداقل شوری نمونه های رسوب در امتداد گسل بافق - پشت بادام مربوط به عمق ۶۰-۴۰ سانتیمتر گمانه ۴ با مقدار ۷۹۸۰ ppm و $\mu\text{S}/\text{cm}$ ۱۶۱۰۰ و حداکثر ۶۶۱۳۰ ppm و $\mu\text{S}/\text{cm}$ ۱۳۲۶۰۰ متعلق به عمق ۲۰-۰ سانتیمتر گمانه ۳ می باشد. همچنین این نتایج حاکی از آن است که به دلیل سطح بالا آب زیرزمینی در تمام گمانه ها نمونه ۲۰-۰ سانتیمتر رسوب نسبت به دیگر اعماق شورتر است. در واقع به دلیل نیروی موئینگی^۱، آب به همراه املاح به بالا حرکت می کند و بعد از تبخیر آب، املاح در لایه سطحی رسوب باقی می ماند و این عمل به صورت مکرر تکرار و سبب شوری بیشتر لایه سطحی رسوب می شود. علاوه بر این، مقایسه نمونه های رسوب در امتداد گسل بافق - پشت بادام در مقابل نمونه های رسوب کویر در آنجیر مؤید آن است که نه تنها نمونه های رسوب کویر در مقایسه با نمونه های رسوب در امتداد بافق - پشت بادام دارای شوری بیشتری هستند بلکه از سخت شدگی قابل توجهی برخوردار است (شکل ۱۰).

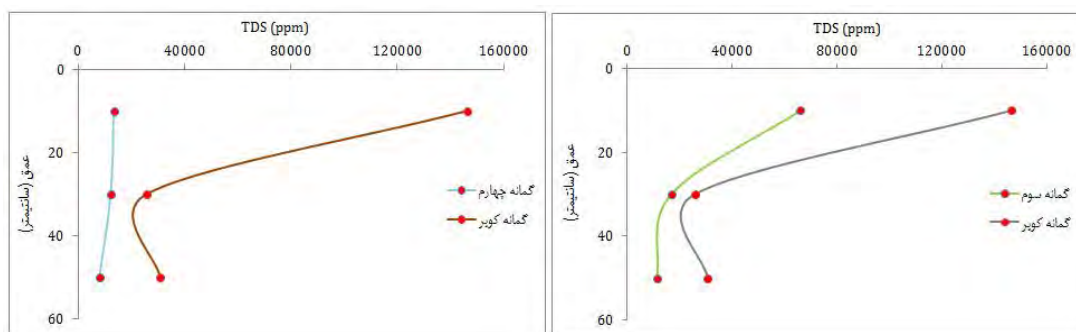
جدول ۲: نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های رسوب

عمق (سانتیمتر)	پارامتر اندازه گیری شده	امتداد گسل بافق - پشت بادام				نمونه کویر در آنجیر
		گمانه ۴	گمانه ۳	گمانه ۲	گمانه ۱	-
۲۰-۰	pH	۶/۶	۶/۵	۶/۷	۶/۳	۶/۵
	EC	۲۷۵۸۰	۱۳۲۶۰۰	۶۷۳۲۰	۶۱۲۷۰	۲۹۳۱۵۰
	TDS	۱۳۴۴۰	۶۶۱۳۰	۳۳۶۶۰	۳۰۴۷۰	۱۴۶۳۷۰
۴۰-۲۰	pH	۶/۷	۶/۶	۶/۵	۶/۵	۶/۱
	EC	۲۴۶۴۰	۳۳۳۲۰	۴۰۶۰۰	۲۵۲۷۰	۵۵۸۸۰
	TDS	۱۲۲۵۰	۱۶۸۷۰	۱۸۵۵۰	۱۲۶۰۰	۲۵۸۵۰
۶۰-۴۰	pH	۶/۹	۶/۸	۶/۷	۶/۵	۶/۵
	EC	۱۶۱۰۰	۲۲۸۲۰	۲۳۸۰۰	۲۲۶۸۰	۶۲۲۶۰
	TDS	۷۹۸۰	۱۱۳۴۰	۱۱۸۳۰	۱۱۴۱۰	۳۰۸۰۰
میانگین	EC	۴۱۵۰۰				۱۳۷۰۹۶
	TDS	۲۰۵۴۴				۶۷۶۷۳



شکل ۸. تغییرات عمودی شوری رسوبات در گمانه های اول و دوم در مقایسه با نمونه رسوبات سخت کویر

¹. Capillarity



شکل ۹. تغییرات عمودی شوری رسوبات در گمانه‌های سوم و چهارم در مقایسه با نمونه رسوبات سخت کویر



شکل ۱۰. سخت شدگی رسوبات کویر در آنجیر در منطقه مورد مطالعه

شکل‌گیری نبکاها

مهمترین و شگفت‌انگیزترین اثر چشمه‌های گسلی در امتداد گسل بافق - پشت بادام که نقش قابل توجهی در کنترل رسوبات بادی ایفا کرده است، تشکیل نبکا بوده است. در واقع تغذیه آب شیرین چشمه سبب شکل‌گیری پوشش گیاهی شده و پوشش گیاهی مذکور رسوبات بادی را به دام انداخته و سبب ایجاد لندفرم نبکا شده است (شکل ۱۱).





شکل ۱۱. شکل گیری نبکاها در امتداد گسل بافق - پشت بادام

یکی از نکات قابل توجه در مورد تشکیل نبکاها در منطقه مورد مطالعه، جابجایی محل تشکیل آن‌ها در طول زمان به موازات تغییر مسیر خروجی چشمه‌ها بوده است. در واقع علاوه بر نبکاهایی که در زمان حال در حال رشد هستند، نبکاهایی دیگری وجود دارند که به صورت خطی در امتداد گسل شکل گرفته‌اند و در حال تخریب هستند که نشان از تغییر محل خروجی چشمه‌ها و به تبع آن خشک شدن پوشش گیاهی و تخریب نبکاها بوده است. (شکل ۱۲).

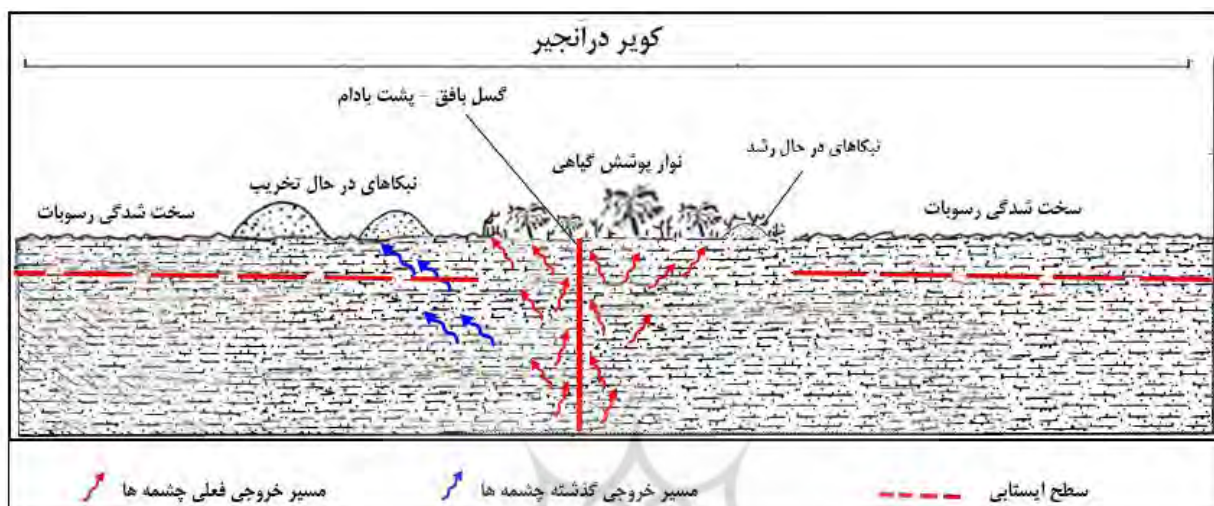


شکل ۱۲. الف و ب: موقعیت نبکاهای در حال تخریب بر روی تصاویر ماهواره‌ای، ب و ج: تصویر نبکاهای نمایش داده شده در شکل الف و ب در منطقه مورد مطالعه

شکل ۱۳ نحوه تأثیرگذاری چشمه‌های گسل بافق - پشت بادام را بر کنترل فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. در واقع عبور گسل بافق - پشت بادام از کویر در آنجیر و حرکت امتداد لغز آن سبب یک پدیده شگرف در کویر در آنجیر شده است. به بیان دیگر تشکیل پوشش گیاهی و به تبع آن شکل گیری نبکاها در کویر در آنجیر با وجود شوری و سخت شدگی رسوبات از یک طرف و بالا آمدگی آب زیرزمینی در محدوده گسل یک بی هنجاری^۱ در منطقه

¹. Anomaly

مورد مطالعه ایجاد کرده است که مسبب آن ظهور و تغییر مسیر خروجی چشمه‌های گسل بافق - پشت بادام در طول زمان بوده است.



شکل ۱۳. نمای شماتیک از تأثیر چشمه‌های گسلی بر کنترل فرسایش بادی در کویر در آنجیر (منبع: نویسندگان)

بحث و نتیجه‌گیری

چشم‌اندازهای فرسایش بادی به‌ندرت فقط توسط باد ایجاد می‌شوند، اگرچه باد می‌تواند به عنوان تعیین‌کننده اصلی ایفا نقش کند. در این راستا علیرغم اینکه از آغاز مطالعات ژئومورفولوژی بادی محققین تلاش کرده‌اند که عوامل اصلی کنترل‌کننده انواع لندفرم‌های بادی را شناسایی کنند، اما نقش چشمه‌های گسلی بر تشکیل لندفرم‌های بادی تاکنون بررسی نشده است؛ بنابراین در این پژوهش سعی گردید که برای اولین بار نقش چشمه‌های گسلی بر کنترل فرسایش بادی از طریق مطالعات میدانی، حفر گمانه و مطالعات ژئوشیمیایی در چاله در آنجیر بررسی شود.

نتایج نشان می‌دهند که فعالیت‌های نوزمین ساخت در راستای گسل بافق - پشت بادام علاوه بر ظهور چشمه‌ها در راستای گسل، با نفوذ آب شیرین به آبخوان، موجب کاهش شوری آب زیرزمینی و پیدایش یک زون مرطوب در راستای اثر در کویر در آنجیر گسل شده است. این زون مرطوب در راستای اثر گسل در منطقه مورد بررسی سبب رشد و نمو قابل توجه درختچه‌ها، درختان گز و بوته‌های نی شده و سرعت باد سطحی را در منطقه مورد مطالعه کاهش داده است. در این زمینه پای و تسوار (۲۰۰۸) بیان نمودند که در مناطق بیابانی درجه شوری آب‌های زیرزمینی، نقش مهمی در تغییر و توزیع پوشش گیاهی بیابان‌ها دارد.

نتایج بررسی‌های صورت گرفته بر روی خصوصیات کمی و کیفی آب زیرزمینی در امتداد گسل بافق - پشت بادام حاکی از آن است که حداقل سطح ایستابی، TDS و EC در امتداد گسل به ترتیب ۰/۱۵ متر، ۱۲۲۳۵ ppm و ۲۴۶۵۸ $\mu\text{S}/\text{cm}$ و حداکثر ۰/۴۰ متر، ۳۰۴۵۲ ppm و ۶۱۲۸۴ $\mu\text{S}/\text{cm}$ می‌باشد. در واقع چشمه‌های گسلی با تزریق آب شیرین در امتداد گسل نه تنها شوری آب زیرزمینی کویر را کاهش داده است، بلکه سطح ایستابی را نیز در امتداد گسل مذکور بالا آورده است و حمل و نقل رسوبات توسط باد را به حداقل ممکن رسانده است. در این مورد سیلوا و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند که در مناطق دارای سطح ایستابی بالای آب زیرزمینی، منبع ماسه محدود و حمل و نقل رسوبات بادی کاهش پیدا می‌کند. همچنین کوکیورک و نایلسون (۱۹۸۶) چنین نتیجه گرفتند که عمق بالای آب زیرزمینی می‌تواند به وسیله حفظ رطوبت سطحی، مقدار ماسه قابل حمل توسط باد را کاهش دهد.

یافته‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های رسوب در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که حداقل شوری نمونه‌های رسوب در امتداد گسل بافق - پشت بادام مربوط به عمق ۶۰-۴۰ سانتیمتری گمانه ۴ با مقدار ۷۹۸۰ ppm و $16100 \mu\text{S/cm}$ و حداکثر 66130 ppm و $132600 \mu\text{S/cm}$ متعلق به عمق ۲۰-۰ سانتیمتری گمانه ۳ می‌باشد. همچنین این نتایج حاکی از آن است که به دلیل سطح بالا آب زیرزمینی در تمام گمانه‌ها نمونه ۲۰-۰ سانتیمتری رسوب نسبت به دیگر اعماق شورتر است.

علاوه بر تشکیل پوشش گیاهی و بالا آمدگی سطح آب در امتداد گسل، تشکیل و تغییر محل شکل‌گیری نیکاه‌ها از مهم‌ترین اثرات چشمه‌های گسلی بوده است که نقش قابل توجهی در کنترل رسوبات بادی ایفا کرده است. در واقع تغذیه آب شیرین چشمه سبب شکل‌گیری پوشش گیاهی شده و پوشش گیاهی مذکور رسوبات بادی را به دام انداخته و سبب ایجاد نیکا شده است.

نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که حرکت امتدادلغز گسل بافق - پشت بادام و به تبع آن ظهور چشمه‌های گسلی نقش قابل توجهی در کنترل فرسایش بادی و تشکیل لندفرم‌های بادی در چاله در آنجیر داشته است. در واقع چشمه‌های گسلی به سه طریق فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه را تحت کنترل خود درآورده است: ۱. با تشکیل یک زون مرطوب سبب رویش انواع مختلف پوشش گیاهی شده است و سرعت باد را در سطح کاهش داده، ۲. با بالا آوردن سطح ایستابی در امتداد گسل مذکور و افزایش رطوبت سطحی مانع حمل و نقل رسوبات توسط باد گردیده است و ۳. با تشکیل نیکاه‌ها سبب تجمع رسوبات بادی در اطراف درختچه‌ها شده است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت فنی و همکاری آقای مهندس کمال کریمی رئیس سازمان منابع طبیعی شهرستان بافق، کارکنان منابع طبیعی بافق و همچنین رئیس سازمان منابع طبیعی استان یزد به انجام رسیده است که بدین وسیله از زحمات ایشان قدردانی می‌شود.

منابع

- احمدی، حسن، (۱۳۸۷)، ژئومورفولوژی کاربردی، (بیابان - فرسایش بادی)، جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- آقائباتی، سیدعلی، (۱۳۸۳)، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- مقصودی، مهران، نگهبان، سعید، باقری، سجاد (۱۳۹۱)، تحلیل مخاطرات ناشی از ماسه‌های روان بر سکونتگاه‌های غرب دشت لوت، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱، صص ۸۳-۹۶.
- یمانی، مجتبی (۱۳۹۴). تأثیر وزش همگرای باده‌ها در مورفولوژی و استقرار ریگ‌های پیرامون دشت کویر، فصلنامه کوآترنری ایران، دوره ۱، شماره ۲، صص ۹۹-۱۱۲.
- سازمان هواشناسی، داده‌های سینوپتیک ایستگاه بافق.
- Arens, S. M. (1996). Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology*, 17(4), 339-350.
- Bauer, B. O., Davidson-Arnott, R. G. D., Hesp, P. A., Namikas, S. L., Ollerhead, J., & Walker, I. J. (2009). Aeolian sediment transport on a beach: Surface moisture, wind fetch, and mean transport. *Geomorphology*, 105(1-2), 106-116.
- Darke, I., & Neuman, C. M. (2008). Field study of beach water content as a guide to wind erosion potential. *Journal of Coastal Research*, 1200-1208.
- Fryberger, S. G., Schenk, C. J., & Krystinik, L. F. (1988). Stokes surfaces and the effects of near surface groundwater table on aeolian deposition. *Sedimentology*, 35(1), 21-41.

- Goudie, A. S. (2013). *Arid and semi-arid geomorphology*. Cambridge university press.
- Hesp, P. (2002). *Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics*. *Geomorphology*, 48(1-3), 245-268.
- Keller, E. A., Pinter, N. (2002). *Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape*. Second ed. Prentice Hall, NJ. 362 pp.
- Kocurek, G., & Nielson, J. (1986). Conditions favourable for the formation of warm climate aeolian sand sheets. *Sedimentology*, 33(6), 795-816.
- Lancaster, N. (2013). *Sand Seas and Dune fields*.
- Langford, R. P., Rose, J. M., & White, D. E. (2009). Groundwater salinity as a control on development of eolian landscape: An example from the White Sands of New Mexico. *Geomorphology*, 105(1), 39-49.
- Larney, F. J., Bullock, M. S., Janzen, H. H., Ellert, B. H., & Olson, E. C. S. (1998). Wind erosion effects on nutrient redistribution and soil productivity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53(2), 133-140.
- McTainsh, G., & Strong, C. (2007). The role of aeolian dust in ecosystems. *Geomorphology*, 89(1), 39-54.
- Oblinger, A., & Anthony, E. J. (2008). Surface moisture variations on a multibarred macrotidal beach: implications for aeolian sand transport. *Journal of Coastal Research*, 1194-1199.
- Poortinga, A., Keijsers, J. G. S., Visser, S. M., Riksen, M., & Baas, A. C. W. (2015). Temporal and spatial variability in event scale aeolian transport on Ameland, The Netherlands. *GeoResJ*, 5, 23-35.
- Pye, K., & Tsoar, H. (2008). *Aeolian sand and sand dunes*. Springer Science & Business Media.
- Sharma, V. K. (2010). *Introduction to process geomorphology*. CRC Press.
- Silva, F. G., Wijnberg, K. M., de Groot, A. V., & Hulscher, S. J. M. H. (2018). The influence of groundwater depth on coastal dune development at sand flats close to inlets. *Ocean Dynamics*, 1-13.
- Thomas, D. S. G. (2011). *Arid zone geomorphology: process, form and change in drylands*. John Wiley & Sons.
- Worster, D. (2004). *Dust bowl: the southern plains in the 1930s*. Oxford University Press.
- Yang, Y., & Davidson-Arnott, R. G. D. (2005). Rapid measurement of surface moisture content on a beach. *Journal of Coastal Research*, 447-452.