

بررسی شرایط گذشته محیطی مسلط بر چاله در آنجیر بر اساس تحلیل داده‌های رسوبی نبکاها

اسماعیل پاریزی؛ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

مجتبی یمانی*؛ استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

سید رضا مهرنیا؛ دانشیار زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور تهران

مهران مقصودی؛ دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

چکیده

نبکاها یکی از لندفرم‌های بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک‌اند که رسوبات آن‌ها اطلاعات بارزشی درباره تغییرات محیطی یک منطقه در طول دوره‌های مختلف ثبت می‌کنند. هدف از این پژوهش بررسی شرایط رطوبتی و نیز سرعت و مدت نسبی وزش بادهای گذشته بر اساس میزان مواد آلی، دانه‌بندی و ضخامت رسوبات نبکاها جهت بازسازی الگوی فرسایش بادی در چاله در آنجیر است. برای دستیابی به این هدف، از تکنیک‌های سنجش‌ازدور، داده‌های میدانی، و روش‌های آزمایشگاهی نظیر هیدرومتری، گرانولومتری و افت حرارتی استفاده شد. در این زمینه، با استفاده از دستور Random در نرم‌افزار متلب، ۴ نبکا به صورت تصادفی انتخاب گردید. سپس، با حفر ترانشه‌های عمودی، نمونه‌برداری از رأس تا قاعده نبکاها با فواصل منظم ۵ سانتی‌متر انجام گرفت. در مجموع ۷۹ نمونه رسوب از ۴ نبکا برداشت و برای آنالیز به آزمایشگاه ژئومورفولوژی انتقال داده شد. نتایج نشان داد که محتوای مواد آلی و دانه‌بندی رسوبات در مدت تشکیل نبکا تغییرات قابل توجهی کرده است که حاکی از نوسانات سطح پوشش گیاهی، مقدار آب و سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه است. تجزیه و تحلیل مواد آلی مؤید آن است که در مراحل اولیه تشکیل نبکا، منطقه مطالعه شده برای رشد درختچه‌های پوشش‌دهنده نبکا شرایط آبی مناسب داشته؛ اما، به مرور زمان، بر خشکی آن افزوده شده است. نتایج بررسی دانه‌بندی رسوبات نیز بیانگر آن است که تجمع ذرات بالای ۲۵۰ میکرون در لایه‌های بالایی نبکا به دلیل فعالیت‌های انسانی، نظیر رها شدن زمین‌های کشاورزی و خشک شدن درختان خرما اطراف نبکاها است که نتیجه آن کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی و رُفت‌وروب ذرات درشت‌تر در منطقه مطالعاتی است. کلیدواژگان: تغییرات محیطی، چاله در آنجیر، فرسایش بادی، نبکا.

مقدمه

تحقیق درباره تغییرات محیطی اخیر و دیرینه بر پایه نگاشت‌های طبیعی که در مغزه یخی^۱، رسوبات لسی، حلقه‌های درختان، مرجان‌ها، استالاگمیت‌ها، و رسوبات دریاچه‌ای و دریایی عمیق حفظ شده‌اند انجام می‌شود (لی و همکاران ۲۰۱۴). این نگاشت‌ها برای بازسازی شرایط اقلیمی، محیطی و اکولوژی گذشته زمین استفاده می‌شوند (ژو ۲۰۰۶). در دهه‌های اخیر محققان در فهم این نگاشت‌های طبیعی و تفسیر تغییرات محیطی دیرینه و آشکار کردن مکانیسم‌های

myamani@ut.ac.ir

1. Ice core

* رایانامه نویسنده مسئول:

مسئول تغییرات محیطی پیشرفت‌های قابل توجهی کرده‌اند (بانتگن و همکاران ۲۰۰۵؛ هولمز و همکاران ۲۰۰۹؛ جیانگ و همکاران ۲۰۱۲). با وجود این، در مناطق خشک و نیمه‌خشک، که قسمتی مهم از سیستم کره زمین محسوب می‌شوند، مشکل در کشف نگاشت‌های طبیعی دقیق باعث شده تحقیق درباره تغییرات محیطی در این مناطق نسبت به مناطق دیگر پیشرفت کمتری داشته باشد (ژیا و همکاران ۲۰۰۵).

نبکاهای لندفرم‌های بادی تثبیت‌شده‌ای هستند که در نتیجه انباشت رسوبات بادی در اطراف درختان و درختچه‌ها و بوته‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک تشکیل می‌شوند (کوک و همکاران ۱۹۹۳). در شکل‌گیری و توسعه این اشکال، علاوه بر رژیم باد، منابع ماسه و پوشش گیاهی، دیگر عوامل طبیعی، نظیر توپوگرافی، بارش و عمق آب زیرزمینی، دخالت دارند (ملتون ۱۰۹۴؛ کورک و لنکستر ۱۹۹۹؛ وانگ و همکاران ۲۰۰۶؛ وانگ و همکاران ۲۰۱۰). به دلایلی مانند: شکل‌گیری نبکاهای در اواخر هولوسن، فرایند رسوب‌گذاری نسبتاً پیوسته از دوره اولیه تا دوره بلوغ، و ویژگی‌های رسوب‌شناسی و تکاملی بی‌نظیر آن‌ها؛ بازسازی شرایط محیطی گذشته از طریق مطالعه رسوبات آن‌ها امکان‌پذیر است (وانگ و همکاران ۲۰۰۶؛ وانگ و همکاران ۲۰۰۸). در واقع، با بررسی رسوبات آن‌ها می‌توان به شرایط طبیعی گذشته حاکم بر منطقه مثل فعالیت بادی منطقه‌ای، تغییرات محیطی منطقه‌ای، تناوب بین شرایط خشک و مرطوب، ویژگی‌های هیدرولوژیکی، محیط زیست و نحوه تکامل این عوارض پی برد (وانگ و همکاران ۲۰۰۴؛ هسپ و مک لکلان ۲۰۰۰؛ لی و همکاران ۲۰۱۴). برای مثال با مطالعه دانه‌بندی و میزان رسوب‌گذاری در نبکاهای می‌توان به بازسازی قدرت بادهای منطقه‌ای پی برد (وانگ و همکاران ۲۰۰۸). از طرف دیگر، به دلیل اینکه محتوای مواد آلی در نهشته‌های بادی با سطح پوشش گیاهی و بیوماس^۱ منطقه‌ای رابطه نزدیک دارد (ژائو و همکاران ۲۰۰۲؛ جین و همکاران ۲۰۰۴؛ لی و همکاران ۲۰۱۷)، می‌توان از آن برای آشکارسازی تغییرات رطوبت استفاده کرد (لی و همکاران ۲۰۱۴).

با وجود اینکه تحقیق درباره نبکاهای می‌تواند به طور قابل توجه فهم ما را در زمینه بازسازی تغییرات محیطی جهانی افزایش دهد، اما تحقیقات در این زمینه نسبتاً کم است (گیل ۱۹۷۵؛ لی و همکاران ۲۰۰۷). چاله درآنجیر یکی از مناطق خشک ایران محسوب می‌شود که به دلیل بارش بسیار کم، فقر پوشش گیاهی، توپوگرافی نسبتاً هموار، استمرار و طول محیط در معرض باد و رسوبات سطحی منفصل دچار معضل فرسایش بادی است. از آنجا که فهم جامع از دینامیک و فرایندهای بادی منطقه مذکور به درک شرایط محیطی گذشته نیاز دارد و از طرف دیگر به سبب آنکه بازسازی شرایط محیطی گذشته از طریق مطالعه رسوبات نبکاهای امکان‌پذیر است (وانگ و همکاران ۲۰۰۸)، بازسازی شرایط محیطی گذشته موضوع تحقیق حاضر قرار گرفت.

پیش از این نیز تحقیقاتی در این زمینه انجام شده است. لانگفورد^۲ (۲۰۰۰) با مطالعه نبکاهای نیومکزیکو اظهار کرد تمرکز رسوبات دانه‌درشت‌تر در نبکاهای ارتباطی نزدیک با جهت باد غالب نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان از طریق آن جهت باد غالب در گذشته را مشخص کرد. وانگ و همکارانش (۲۰۰۶) در تحقیق بر نبکاهای در منطقه نیمه‌خشک شمال چین بدین نتیجه رسیدند که آنالیز دانه‌بندی و چینه‌شناسی نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه انرژی باد در مدت زمان تشکیل نبکاست. آن‌ها همچنین بر اساس این شواهد و سن‌سنجی صورت‌گرفته استنباط کردند قوی‌ترین فعالیت‌های بادی در اواسط دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۸۰ اتفاق

1. Biomass
2. Langford

افتاده است. وانگ و همکارانش (۲۰۰۸) در تحقیقی با عنوان «تشکیل نیکا و ارتباط آن با تغییرات محیطی در کشور چین» چنین گزارش دادند که سن سنجی رسوبات نیکا در فواصل مشخص نشان‌دهنده تغییرات قابل توجه در میزان رشد تپه‌های نیکا در طول دوره‌های مختلف است که دلیل آن تغییر فعالیت‌های بادی و منبع رسوبات منطقه طی سیصد سال گذشته است. در واقع، در دوره‌هایی با فعالیت‌های بادی نسبتاً بالا و منبع فراوان رسوبات، میزان تجمع رسوبات نیکاها افزایش پیدا می‌کند. آن‌ها همچنین با اندازه‌گیری محتوای کربنات کلسیم اعلام کردند منبع اصلی کربنات کلسیم در دوره‌های اولیه تشکیل نیکا زمین‌های کشاورزی رها شده همراه رسوبات رودخانه‌های خشک شده است و اندازه درشت رسوبات در لایه‌های پایینی نیکا احتمالاً می‌تواند به دلیل فعالیت‌های بادی شدید باشد. سیفرت^۱ و همکارانش (۲۰۰۹) از نیکاها به مثابه شاخص جهت ثبت خشک‌سالی‌های بخش مرکزی ایالات متحده آمریکا استفاده کردند و از ذرات درشت‌دانه رسوبات نیکاها به منظور بازسازی جهت باد غالب بهره گرفتند. ژیا و همکارانش (۲۰۰۹) در تحقیقی در منطقه لپ نور بر نیکاهای گونه تماریکس چنین نتیجه گرفتند که توزیع اندازه ذرات در رسوبات نیکاها می‌تواند تنوع رژیم باد و در دسترس بودن منبع رسوب یک منطقه در گذشته را ثابت کند. جیان‌هو^۲ و همکارانش (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان «چشم‌انداز نیکاها در مناطق خشک» نتیجه گرفتند که اندازه ذرات رسوبات در پروفیل نیکاها نه تنها ویژگی‌های بادهای گذشته بلکه فراوانی منابع ماسه را در طول فرایند تشکیل نیکا آشکار می‌سازد. وانگ و همکارانش (۲۰۱۰) در پژوهشی که جهت بازسازی تغییرات محیطی با استفاده از رسوبات نیکاها انجام دادند چنین استنباط کردند که تغییرات در اندازه ذرات درشت رسوبات نیکا نشان می‌دهد که منطقه مطالعاتی حداقل پنج مرحله حمل‌ونقل رسوبات بادی را پشت سر گذاشته است. آن‌ها همچنین اعلام کردند تغییرات رسوبات نیکاها به سبب تنوع در دسترس بودن رسوبات منبع و توانایی حمل‌ونقل بادی است. لی و همکارانش (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان «تنوع رطوبت استنباط شده در پروفیل نیکا مرتبط با تغییر پوشش گیاهی طی یک قرن در بیابان میوآس چین» گزارش دادند تغییرات رطوبت و به تبع پوشش گیاهی منطقه مذکور در دوره مورد مطالعه تحت تأثیر سه عامل بارش، تبخیر و دما بوده است؛ با این تفاوت که در هر دوره یک عامل نقش بیشتری داشته است. مقصودی و همکارانش (۱۳۹۱) در تحقیقی که در دشت تکاب در غرب لوت، با عنوان «مقایسه و تحلیل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی نیکاهای چهار گونه گیاهی در غرب دشت لوت (شرق شهداد - دشت تکاب)»، انجام دادند، اعلام کردند نتایج گرانولومتری رسوبات نشان داد از دید اندازه درشت‌دانه‌ترین رسوبات مربوط به گونه تارماریکس آفایلا است و گونه‌های دیگر در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. مقصودی و همکارانش (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان «تحلیل مقایسه‌ای ویژگی‌های اکوزئومورفولوژیکی نیکاهای منطقه سیرجان و شهر بابک» چنین نتیجه گرفتند که رسوبات نیکاهای شهر بابک در جهت ارتفاعی از نظر بافت هیچ تفاوتی ندارند؛ در صورتی که رسوبات نیکاهای سیرجان در یک دوره با بقیه دوره‌ها متفاوت است که کاهش سرعت باد در دوره مورد نظر را نشان می‌دهد. آرا و همکارانش (۱۳۹۶) در تحقیقی با عنوان «بررسی چینه‌شناسی نیکاها برای تشخیص نوسانات اقلیمی» اظهار کردند میزان ضخامت چینه‌های نیکاها و رنگ و اندازه ذرات متأثر از اقلیم زمان خود و به گونه‌ای است که در دوره‌های خشک‌سالی میزان ضخامت چینه‌ها در نیکا بیشتر و برعکس در دوره‌های مرطوب‌تر ضخامت چینه‌ها کمتر است.

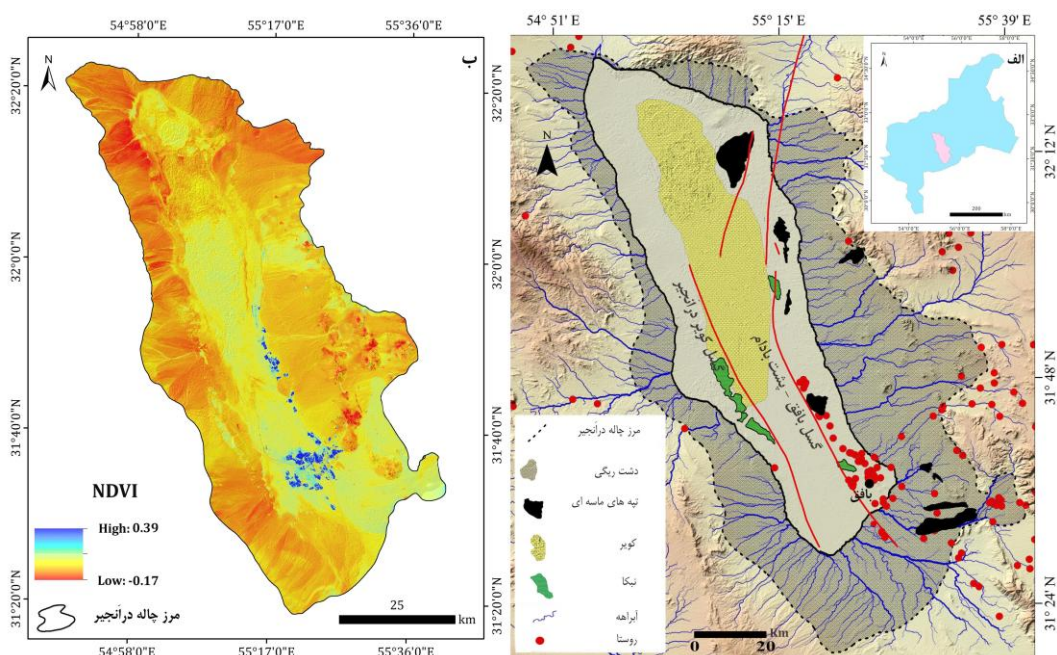
هدف از این پژوهش بازسازی شرایط رطوبتی و نیز سرعت و مدت نسبی وزش بادهای گذشته بر اساس میزان مواد آلی،

1. Seifert
2. Jianhui

دانه‌بندی و ضخامت رسوبات نبکاها جهت فهم الگوی فرسایش بادی در چاله درانجیر است. به عبارت دیگر، در این پژوهش سعی شد با بهره‌گیری از داده‌های میدانی، آنالیزهای گرانولومتری، هیدرومتری و افت حرارتی به بازسازی تغییرات نسبی شرایط آب منطقه‌ای و سرعت و مدت نسبی بادهای گذشته و تغییرات آن‌ها در طول زمان در چینه‌های مختلف نبکا پرداخته شود. نتایج این پژوهش در مدیریت مناطق بیابانی، به‌ویژه مناطقی که دچار معضل فرسایش بادی هستند، اهمیتی قابل توجه دارد.

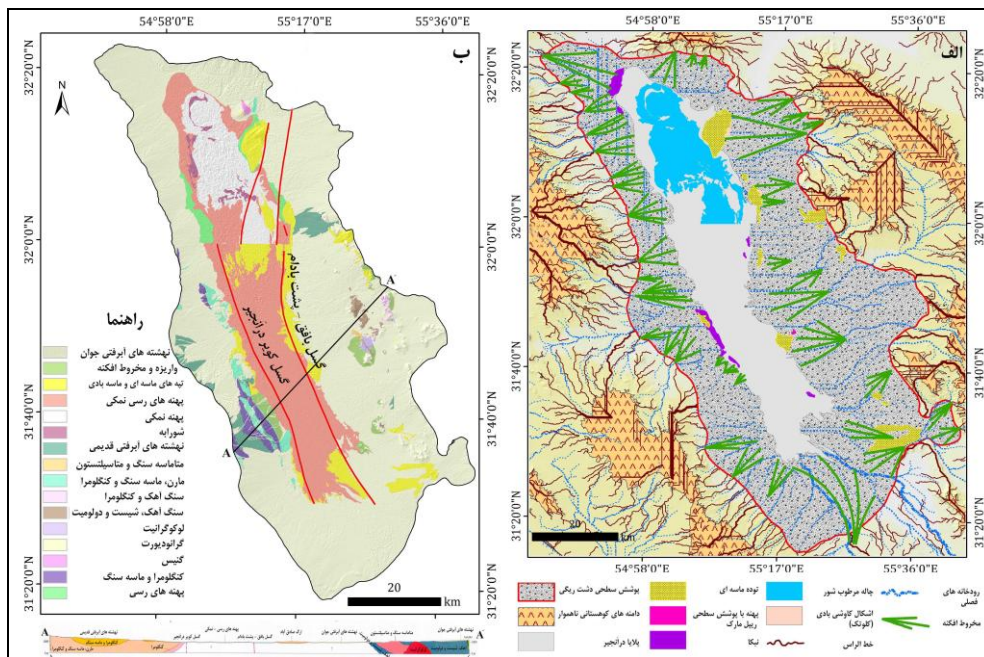
موقعیت و ویژگی‌های طبیعی چاله درانجیر

منطقه مورد مطالعه بخشی از چاله درانجیر است که با وسعت $4687/11$ کیلومترمربع و موقعیت $54^{\circ} 37'$ تا $55^{\circ} 59'$ طول جغرافیایی و $31^{\circ} 18'$ تا $32^{\circ} 22'$ عرض جغرافیایی تقریباً در مرکز استان یزد در یک چاله گرابنی شکل واقع است. از منظر زمین‌شناسی نیز چاله در قلمرو رسوبات کواترنری قرار دارد و پلایای درانجیر به وسیله دو گسل بافق- پشت‌بادام و گسل کویر درانجیر محصور شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع آن 811 و 1772 متر از سطح دریا و میانگین بارش و دمای سالیانه ($2010 - 1993$) 51 میلی‌متر و $21/4$ سانتی‌گراد است. همچنین قوی‌ترین بادهای این چاله در فصل تابستان از سمت شمال و شمال‌غرب می‌وزند. بارش بسیار کم، فقر پوشش گیاهی، توپوگرافی نسبتاً هموار، استمرار و طول محیط در معرض باد، و رسوبات سطحی منفصل باعث شده فرسایش بادی به عنوان فرآیند اصلی فرسایش در این منطقه جلوه‌گر شود. این مهم سبب تشکیل مجموعه‌ای از لندفرم‌های بادی، به‌ویژه نبکاها، در این منطقه شده است (شکل ۱ الف). شکل ۱ ب شاخص پوشش گیاهی (NDVI) چاله درانجیر را بر اساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ نشان می‌دهد. شکل یادشده حاکی از آن است که حداقل و حداکثر این شاخص برابر با $0/39$ و $-0/17$ است. بیشترین مقدار NDVI نیز مربوط به مناطق سبز شهری و زمین‌های کشاورزی باقرآباد، صادق‌آباد و حسن‌آباد است (شکل ۱ ب).



شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی؛ ب) نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه

شکل ۲ الف نقشه ژئومورفولوژی چاله در آنجیر را به نمایش می‌گذارد که بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و مطالعات میدانی ترسیم شده است. این شکل بیانگر آن است که منطقه مطالعاتی توسط مجموعه‌ای از لندفرم‌های بادی (تپه‌های ماسه‌ای، دشت‌های ریگی، ریپل مارک‌ها، نیکاه‌ها، کلوت‌ها، کلوتک‌ها) و آبی (پلایا و مخروط‌افکنه‌ها) پوشیده شده است. در بین لندفرم‌های بادی نیز بیشترین مساحت مربوط به دشت‌های ریگی و کمترین مساحت مربوط به کلوتک‌هاست. نیکاه‌ها نیز، با وسعت $31/61$ کیلومتر مربع، $0/6$ درصد از منطقه را پوشش می‌دهند و بیشتر آن‌ها در حاشیه پلایای در آنجیر که سطح ایستابی بالاست، شکل گرفته‌اند (شکل ۲ الف). علاوه بر این، مشخصات لیتولوژی منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی $1/100000$ به شرح شکل ۲ ب است. شکل ۲ ب مؤید آن است که بیشترین و کمترین مساحت چاله را رسوبات آبرفتی جوان و گرانودیوریت با مساحت $2950/36$ و $1/62$ کیلومتر مربع پوشش داده‌اند. در این بین، تپه‌های ماسه‌ای و زمین‌های پوشیده از ماسه‌ها، با مساحت $289/79$ کیلومتر مربع، $6/18$ درصد از مساحت منطقه را اشغال کرده‌اند.



شکل ۲. الف) نقشه ژئومورفولوژی؛ ب) نقشه زمین‌شناسی چاله در آنجیر

مواد و روش‌ها

داده‌ها و روش گردآوری

داده‌های پژوهش به طور مستقیم از طریق کارهای میدانی تفصیلی، آنالیز داده‌های هواشناسی و تصاویر ماهواره‌ای به دست آمدند. این داده‌ها در چهار گروه اصلی قابل تفکیک هستند: داده‌های مورفومتری نیکاه‌ها (طول، عرض، ارتفاع، حجم و ارتفاع درختچه) که به وسیله ابزارهایی نظیر متر محاسبه شدند؛ داده‌های نمونه رسوب که از طریق حفر ترانشه توسط ابزارهای میدانی برداشت شدند؛ داده‌های اکولوژی نیکاه‌ها که با استفاده از روش شبکه‌بندی منظم گردآوری و

هم‌زمان عکس گرفته شد و خصوصیات پوشش گیاهی اعم از ارتفاع تاج و سطح پوشش نیز برداشت گردید؛ داده‌های مقدار NDVI در مناطق اطراف نیکازارها با استفاده از تصاویر لندست ۷ با رزولوشن ۳۰ متر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ استخراج شدند. گفتنی است موقعیت جغرافیایی و نیز تعیین مختصات مکان‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS در همه مراحل کار میدانی ثبت و بر نقشه‌های پایه انتقال داده شد.

ابزار پژوهش

ابزارهای فیزیکی پژوهش را نقشه‌های توپوگرافی و همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی رقومی بزرگ‌مقیاس مربوط به مناطق بافق، آریز، سیریز، فهرج، اسفوردی، شمش، خرانق تشکیل دادند. از طریق این نقشه‌ها، ضمن تعیین قلمرو مطالعاتی، داده‌های لیتولوژی و گسل‌ها استخراج شدند. همچنین از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث برای تعیین حدود نیکازارها و از تصاویر لندست ۷ جهت محاسبه سری زمانی پوشش گیاهی استفاده شد. برای تهیه داده‌های تکمیلی و تحلیل نمونه‌های رسوبی ابزارهای آزمایشگاهی مانند کوره، هیدرومتر، شیکر، خشک‌کن، ترازو به کار گرفته شد. در همه مراحل کار میدانی نیز از دستگاه GPS برای مارک کردن نقاط نمونه‌گیری و ثبت موقعیت محل نمونه‌برداری و نظایر آن بهره گرفته شد.

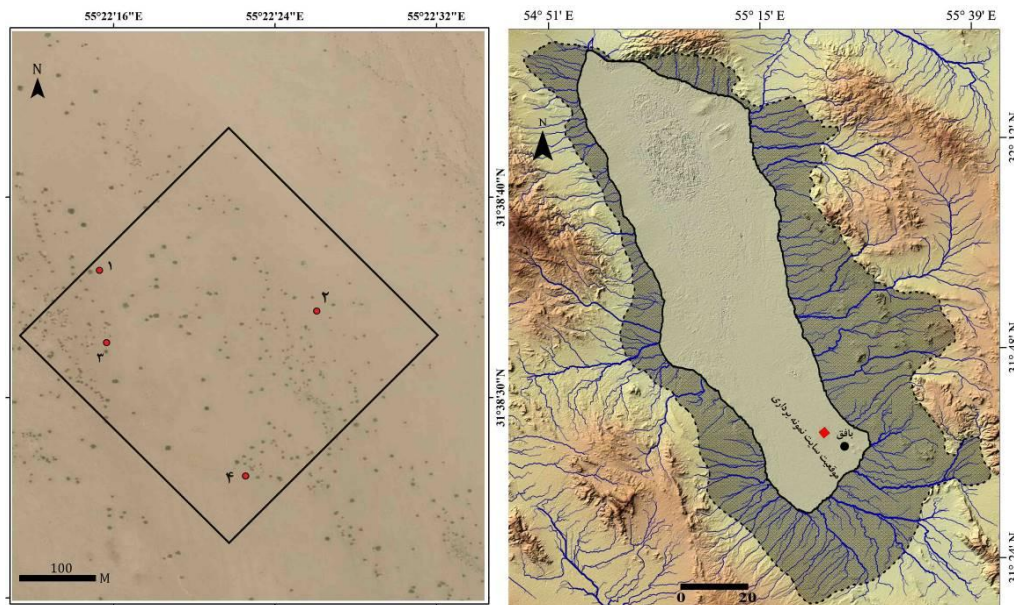
ابزارهای مفهومی را عمدتاً نرم‌افزارهای GIS، Surfer، Global Mapper، MATLAB، و Google Earth تشکیل دادند. از این نرم‌افزارها برای آنالیزهای مکانی و تعیین نمونه از بین جامعه آماری و تهیه نقشه‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شد. علاوه بر این، از نرم‌افزارهای GRADISTAT4.0 و RockWorks 16 به ترتیب جهت تعیین پارامترهای رسوبی و نیمرخ‌های رسوبی نیکازارها استفاده شد.

روش تجزیه و تحلیل

با توجه به هدف پژوهش، که بررسی شرایط محیطی گذشته بر پایه رسوبات نیکازارها بود و با ملاحظه این اصل که در نیکازارهایی که پوشش گیاهی آن‌ها بیش از ۶۰ درصد رسوبات نیکا را پوشش می‌دهد انقطاع چینه‌ها به سبب عدم فرسایش رسوبات نیکازارها صورت نخواهد گرفت (ویگز و همکاران ۱۹۹۵؛ وانگ و همکاران ۲۰۰۸)، منطقه نیکازاری در چاله درآنجیر انتخاب شد که پوشش گیاهی نیکازارها بیش از ۶۰ درصد باشد. بدین منظور، در نخستین گام بر اساس تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و بازدیدهای میدانی محدوده‌ای با ابعاد ۴۰۰ در ۴۰۰ متر تعیین شد. در مرحله بعد نیکازارهای موجود در محدوده مورد نظر، که پوشش گیاهی آن‌ها حداقل بین ۸۵ تا ۹۵ درصد رسوبات را می‌پوشانند، شماره‌گذاری شد (شکل ۳). سپس، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB و دستور Random، چهار نیکا به صورت تصادفی انتخاب شد. در مرحله بعد مؤلفه‌های مورفومتری نیکازارها، نظیر ارتفاع تپه، طول، عرض و ارتفاع تاج درختچه‌ها، اندازه‌گیری و سپس با استفاده از رابطه ۱ مؤلفه حجم نیکا محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{Volume} = 0.5(0.33 \pi r^2 h)$$

r شعاع قاعده مخروط نیکا و h ارتفاع نیکاست (موسوی و همکاران ۱۳۸۹؛ دوگیل و توماس ۲۰۰۲).



شکل ۳. موقعیت مناطق نمونه برداری

در مرحله بعد، با استفاده از ابزارهای میدانی، ترانشه‌های عمودی روی نبکاهای منتخب حفر شد و نمونه برداری از رسوبات با فواصل ۵ سانتی‌متر از رأس تا قاعده نبکا انجام گرفت (شکل ۴). در مجموع ۷۹ نمونه رسوب از چهار نبکا برداشت و به منظور تعیین دانه‌بندی و میزان مواد آلی رسوبات به آزمایشگاه ژئومورفولوژی انتقال داده شد.



شکل ۴. الف) پروفیل عمودی نبکا؛ ب) نمونه‌ای از رسوبات در پروفیل حفرشده

جهت تعیین دانه‌بندی و بافت رسوبات از روش هیدرومتری و گرانولومتری استفاده شد. روش هیدرومتر بایوکاس^۱ (۱۹۶۲) به طور سنتی برای تعیین توزیع اندازه ذرات رسوبات (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر)، به‌ویژه در نمونه‌هایی که به طور کامل پراکنده نمی‌شوند، به کار می‌رود (گی و بودر ۱۹۸۶). در این زمینه، بر اساس دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی

1. Bouyoucos

نمونه‌های خاک و آب (۱۳۸۷)، همه نمونه‌ها در دستگاه آون خشک شدند. سپس ۵۰ گرم از نمونه‌های خشک‌شده وزن و به آن محلول سدیم هگزامتافسفات و ۲۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت بیست و چهار ساعت، محلول مورد نظر به سیلندر یک‌لیتری منتقل و با آب مقطر حجم سیلندر تا یک لیتر پر شد. سپس، محلول درست‌شده به مدت پنج دقیقه با هم‌زن به‌خوبی هم زده شد و دو قرائت در فواصل ۴۰ ثانیه و ۲ ساعت با استفاده از دستگاه هیدرومتر انجام گرفت (شکل ۵) و درصد رس و سیلت و ماسه نمونه‌ها به دست آمد. بعد از اتمام قرائت‌ها، جهت تعیین طبقات ماسه، با استفاده از الک ۶۳ میکرون و جریان آب، رس‌ها و سیلت‌های نمونه‌ها شسته و نمونه‌ها به وسیله آون خشک شدند. در نهایت، با استفاده از دستگاه شیکر و الک‌های ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ میکرون، طبقات ماسه از هم تفکیک شدند. در مرحله بعد، نتایج در نرم‌افزار GRADISTAT4.0 و RockWorks به روش فولک (۱۹۵۴) تجزیه و تحلیل شدند.



شکل ۵. تعیین بافت رسوبات به روش هیدرومتری

اندازه‌گیری مواد آلی در این پژوهش نیز بر اساس روش افت حرارتی انجام گرفت. درصد مواد آلی در روش یادشده به کمک رابطه ۲ به دست آمد (ژیانگ و همکاران ۲۰۱۳؛ لی و همکاران ۲۰۱۷؛ سازمان حفاظت محیط زیست ایران ۱۳۹۵):

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{OM}\% = (m^1 - m^2) / (m^1 - m^0) \times 100$$

OM = درصد مواد آلی

m^0 = جرم بوتله چینی خالی

m^1 = جرم بوتله چینی همراه نمونه رسوبی که در آون خشک شد.

m^2 = جرم بوتله چینی همراه نمونه رسوبی که مواد آلی آن در کوره حذف شدند.

بدیم منظور، ابتدا بوتله چینی با استفاده از ترازو با دقت چهار رقم اعشار وزن شد. سپس ۲۰ گرم از نمونه رسوب، که توسط دستگاه آون خشک شده بود، داخل بوتله چینی ریخته و وزن آن تعیین و داخل کوره گذاشته شد (شکل ۶). بعد از گذشت دو ساعت و حذف مواد آلی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد، بوتله چینی همراه نمونه رسوبی، که مواد آلی آن حذف شده بود، وزن شد و در نهایت با توجه به رابطه ۲ درصد مواد آلی نمونه‌ها محاسبه شد.



شکل ۶. الف) قرار دادن نمونه‌ها در بوتله‌های چینی؛ ب) گذاشتن بوتله‌های چینی در کوره با دمای ۵۵۰ درجه

یافته‌های پژوهش

مورفولوژی و اکولوژی نیکاها

نتایج پارامترهای مورفولوژی نیکاها به شرح جدول ۱ است. این نتایج نشان می‌دهد ارتفاع نیکاهای مطالعاتی بین ۱/۱۵ تا ۰/۸۵ متر متغیر است و ارتفاع نیکا، به طور زیاد، با ارتفاع تاج رابطه منفی دارد. همچنین، حداکثر و حداقل حجم نیکاها با مقدار ۹/۷ و ۳/۸۵ مترمکعب به ترتیب مربوط به نیکاهای شماره ۴ و ۳ است. از منظر اکولوژی نیز، پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی گز درختچه‌ای^۱ است و بین ۸۰ تا ۹۵ درصد رسوبات نیکا را پوشش می‌دهد که باعث عدم فرسایش رسوبات نیکا به دلیل پوشش مناسب و کافی شده است (شکل ۷).

جدول ۱. مورفومتری نیکاها در منطقه مورد مطالعه

شماره نیکا	ارتفاع تپه	ارتفاع تاج	عرض	طول	ارتفاع گیاه	حجم (مترمکعب)
۱	۱	۰/۷۷	۷/۵	۹	۱/۷۷	۱۰/۴
۲	۰/۸۵	۰/۹۸	۷/۸	۹/۱	۱/۸۳	۹/۱۱
۳	۰/۹۵	۰/۶۸	۵/۱	۵/۶	۱/۶۳	۳/۸۵
۴	۱/۱۵	۰/۴۸	۷/۲	۸/۱	۱/۶۳	۹/۷



شکل ۷. پوشش گیاهی گز درختچه‌ای نبکاها در منطقه مورد مطالعه

محتوای مواد آلی

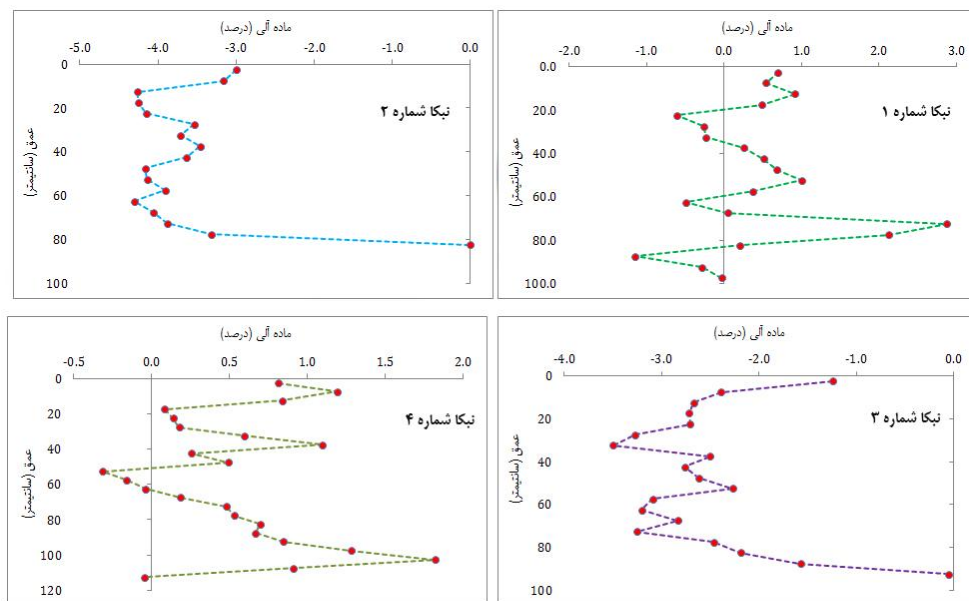
یافته‌های اندازه‌گیری مقدار مواد آلی در منطقه مطالعاتی به شرح جدول ۲ است. نتایج نشان می‌دهد حداقل و حداکثر محتوای مواد آلی رسوبات در نبکای یک $1/25$ و $5/3$ درصد، در نبکای دو $1/9$ و $6/2$ درصد، در نبکای سه $1/5$ و 5 درصد، و سرانجام در نبکای چهار $2/2$ و $4/3$ درصد است.

جدول ۲. نتایج مواد آلی رسوبات نبکاها

عمق (سانتی‌متر)	شماره نبکا	ماده آلی (%)	شماره نبکا	ماده آلی (%)	شماره نبکا	ماده آلی (%)	شماره نبکا	ماده آلی (%)
۰-۵		۳/۱		۳/۲		۳/۸		۳/۳
۵-۱۰		۲/۹		۳		۲/۶		۳/۷
۱۰-۱۵		۳/۳		۱/۹		۲/۳		۳/۳
۱۵-۲۰		۲/۹		۱/۹		۲/۳		۲/۶
۲۰-۲۵		۱/۸		۲/۱		۲/۳		۲/۶
۲۵-۳۰		۲/۱		۲/۷		۱/۷		۲/۷
۳۰-۳۵		۲/۲		۲/۵		۱/۵		۳/۱
۳۵-۴۰	۱	۲/۷	۲	۲/۷	۳	۲/۵	۴	۳/۶
۴۰-۴۵		۲/۹		۲/۶		۲/۲		۲/۸
۴۵-۵۰		۳/۱		۲		۲/۴		۳
۵۰-۵۵		۳/۴		۲/۱		۲/۷		۲/۲
۵۵-۶۰		۲/۸		۲/۳		۱/۹		۲/۳
۶۰-۶۵		۱/۹		۱/۹		۱/۸		۲/۵
۶۵-۷۰		۲/۴		۲/۱		۲/۲		۲/۷
۷۰-۷۵		۵/۳		۲/۳		۱/۷		۳

۳	۲/۵	۲/۹	۴/۵	۷۵-۸۰
۳/۲	۲/۸	۶/۲	۲/۶	۸۰-۸۵
۳/۲	۳/۴	-	۱/۲۵	۸۵-۹۰
۳/۳	۵	-	۲/۱	۹۰-۹۵
۳/۸	-	-	۲/۴	۹۵-۱۰۰
۴/۳	-	-	-	۱۰۰-۱۰۵
۳/۴	-	-	-	۱۰۵-۱۱۰
۲/۵	-	-	-	۱۱۰-۱۱۵

نتایج آنالیز مواد آلی رسوبات نیکاها در منطقه مطالعاتی به شرح شکل ۸ است. این نتایج نشان می‌دهد محتوای مواد آلی در مدت زمان تشکیل نیکا تغییر قابل توجهی کرده است. در واقع، به سبب آنکه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محتوای مواد آلی در نهشته‌های بادی با سطح پوشش گیاهی و بیوماس منطقه‌ای رابطه نزدیک دارد (ژیائو و همکاران ۲۰۰۲؛ جین و همکاران ۲۰۰۴؛ لی و همکاران ۲۰۱۷). می‌توان چنین استنباط کرد که در مدت زمان تشکیل نیکا منطقه مطالعاتی دارای نوسانات آب و به تبع تغییرات سطح پوشش گیاهی منطقه‌ای بوده است؛ طوری که در زمان‌هایی که مقدار آب در منطقه مطالعاتی به دلایلی نظیر کاهش سطح ایستابی یا کمبود بارندگی کم شده محتوای مواد آلی در رسوبات نیز دچار افت شده است. علاوه بر این، نتایج شکل ۸ مؤید آن است که درصد مواد آلی لایه‌های پایینی نیکا نسبت به دیگر لایه‌ها بیشتر است که می‌تواند بیان‌کننده شرایط خشک‌تر محیطی بعد از تشکیل نیکا باشد. در واقع، در دوران اولیه تشکیل نیکا منطقه مورد مطالعه از شرایط آبی مناسب برای رشد درختچه‌های پوشش‌دهنده نیکا برخوردار بوده، اما، به مرور زمان بر خشکی آن افزوده شده است.



شکل ۸. تغییرات مقدار مواد آلی در لایه‌های مختلف نیکاها نسبت به زمان اولیه تشکیل نیکا

دانه‌بندی رسوبات

نتایج تجزیه و تحلیل پارامترهای رسوبات نیکها به شرح جدول ۳ و شکل ۹ است. میانگین قطر رسوبات حاکی از آن است که فراوان‌ترین قطر ذرات رسوبات را طبقه ماسه بسیار ریز (۶۳ تا ۱۲۵ میکرون) دارد. در واقع، ذرات یادشده از یک سو کمترین چسبندگی را دارند و از سوی دیگر از وزن مناسب برخوردار نیستند. بنابراین کمترین سرعت آستانه^۱ فرسایش بادی را دارند (احمدی ۱۳۸۷). همچنین کمترین فراوانی ذرات رسوب مربوط به طبقه ماسه درشت (۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میکرون) است که به دلیل وزن بالا نسبت به دیگر طبقات ماسه قدرت فرسایش‌پذیری کمتری دارد.

نتایج جورشدگی رسوبات بیانگر آن است که غیر از دو نمونه با مقدار جورشدگی ۲/۳ و ۲/۵ (بسیار بد) و هیستوگرام بایمدال مقدار جورشدگی سایر رسوبات بین ۱/۲۵ تا ۱/۹۸ و هیستوگرام آن‌ها یونی مدال است و از آنجا که رسوباتی که جورشدگی آن‌ها بین ۱ تا ۲ است جورشدگی بد دارند و هیستوگرام‌های یونی مدال حاکی از یک‌منشأی بودن رسوبات است (موسوی حرمی ۱۳۸۹؛ عباسی و همکاران ۱۳۹۰) رسوبات نیکها در منطقه مورد مطالعه یک‌منشأی هستند (پالایا در آنجیر - اطراف نیکها) و جورشدگی بدی دارند. علت جورشدگی بد رسوبات وزش بادهای با جهات و سرعت‌های متفاوت در طول سال و متعاقباً رفت‌و‌روب رسوبات ریز و درشت و ته‌نشست آن‌ها در اطراف درختچه‌هاست.

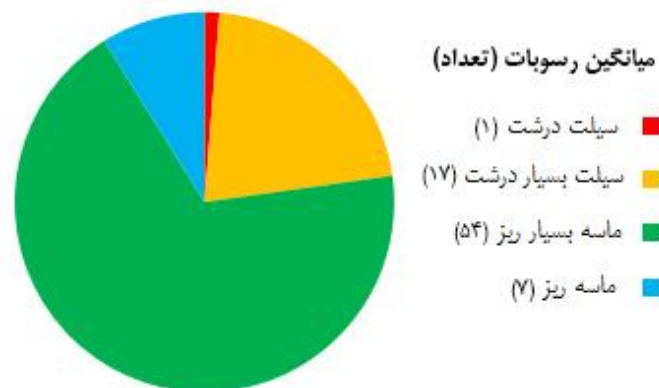
جدول ۳. پارامترهای رسوبی به‌دست‌آمده از نمونه‌های آنالیزشده نیکها

نمونه	میانگین (فی)	جورشدگی (فی)	چولگی	کشیدگی	نمونه	میانگین (فی)	جورشدگی (فی)	چولگی	کشیدگی
۱	۳/۷۸	۱/۶۸	۰/۴۵	۱/۸۷	۴۱	۴/۰۳	۱/۹۳	۰/۵۵	۲/۳۷
۲	۳/۸۴	۱/۴۳	۰/۵۲	۳/۱۷	۴۲	۳/۵۸	۱/۷۲	۰/۵۳	۲/۰۱
۳	۴/۰۱	۱/۸۴	۰/۵۴	۲/۸۸	۴۳	۲/۸۹	۱/۵۵	۰/۴۲	۲/۰۴
۴	۳/۶۸	۱/۸۴	۰/۴۹	۲/۱۵	۴۴	۲/۹۵	۱/۵۵	۰/۳۹	۲/۰۵
۵	۲/۵۹	۱/۸۱	۰/۴۴	۱/۶۹	۴۵	۳/۷۲	۱/۵۵	۰/۴۲	۲/۳۶
۶	۳/۲۰	۱/۴۶	۰/۴۲	۱/۸۵	۴۶	۳/۹۴	۱/۷۸	۰/۵۲	۲/۵۱
۷	۳/۵۴	۱/۸۸	۰/۶۰	۲/۰۳	۴۷	۳/۸۶	۱/۷۱	۰/۵۱	۲/۵۳
۸	۳/۳۲	۱/۴۴	۰/۳۴	۲/۰۷	۴۸	۳/۹۳	۱/۷۸	۰/۵۳	۲/۵۶
۹	۳/۵۲	۱/۴۴	۰/۳۶	۲/۵۲	۴۹	۳/۱۳	۱/۶۳	۰/۵۰	۲/۰۸
۱۰	۳/۵۵	۱/۶۱	۰/۴۳	۲/۱۷	۵۰	۳/۲۲	۱/۶۲	۰/۶۱	۲/۰۶
۱۱	۳/۸۱	۱/۴۹	۰/۴۷	۲/۹۱	۵۱	۳/۴۷	۱/۵۵	۰/۴۶	۲/۰۹
۱۲	۳/۸۷	۱/۹۵	۰/۵۷	۲/۰۸	۵۲	۳/۰۲	۱/۳۴	۰/۵۰	۲/۰۴
۱۳	۳/۱۲	۱/۵۳	۰/۵۷	۲/۰۶	۵۳	۳/۲۰	۱/۲۶	۰/۲۶	۲
۱۴	۳/۲۰	۱/۶۰	۰/۵۶	۲/۰۵	۵۴	۳/۷۷	۱/۸۰	۰/۵۳	۲/۰۷
۱۵	۳/۵۳	۱/۵۴	۰/۴۲	۲/۲۳	۵۵	۳/۹۸	۱/۸۰	۰/۵۳	۲/۶۲
۱۶	۳/۵۵	۱/۷۵	۰/۳۵	۱/۹۰	۵۶	۳/۶۹	۱/۶۰	۰/۴۲	۲/۳۳
۱۷	۳/۴۵	۱/۷۴	۰/۴۸	۱/۹۶	۵۷	۴/۳۴	۱/۸۱	۰/۵۸	۱/۶۹
۱۸	۵/۴۶	۲/۵۷	۰/۱۳	۰/۶۸	۵۸	۴/۱۸	۱/۵۵	۰/۶۱	۱/۹۹
۱۹	۳/۷۵	۱/۸۶	۰/۴۶	۲/۱۳	۵۹	۴/۲۹	۱/۸۳	۰/۶۰	۱/۸۷

۱. حداقل سرعت لازم در ارتفاع مشخص که موجب جابه‌جایی ذرات خاک می‌شود را سرعت آستانه فرسایش می‌نامند.

۲/۰۱	-/۴۴	۱/۶۱	۳/۲۱	۶۰	۲/۰۸	-/۲۱	۱/۳۲	۳/۱۹	۲۰
۲/۹۹	-/۵۴	۱/۳۷	۳/۹۰	۶۱	۱/۹۵	-/۶۵	۱/۷۰	۴/۳۳	۲۱
۲/۴۶	-/۵۹	۱/۵۰	۴/۰۷	۶۲	۳/۰۶	-/۴۷	۱/۳۸	۳/۷۷	۲۲
۱/۵۳	-/۶۸	۱/۷۴	۴/۵۶	۶۳	۲/۰۹	-/۴۰	۱/۶۰	۲/۸۴	۲۳
۱/۹۷	-/۶۲	۱/۷۶	۴/۲۹	۶۴	۲	-/۴۶	۱/۷۵	۲/۹۷	۲۴
۱/۵۰	-/۶۵	۱/۸۹	۴/۵۵	۶۵	۲/۵۲	-/۴۹	۱/۶۴	۳/۷۴	۲۵
۲/۵۴	-/۵۳	۱/۸۴	۴/۰۴	۶۶	۲/۶۸	-/۵۹	۱/۶۵	۴/۱۳	۲۶
۲/۲۶	-/۴۶	۱/۵۸	۳/۵۵	۶۷	۲/۰۹	-/۵۲	۱/۷۳	۴/۰۳	۲۷
-/۸۹	-/۶۰	۲/۳۱	۴/۵۳	۶۸	۲/۰۹	-/۵۱	۱/۸۰	۳/۹۲	۲۸
۲/۱۱	-/۵۴	۱/۸۰	۳/۷۱	۶۹	۱/۶۳	-/۵۶	۱/۹۸	۴/۲۵	۲۹
۲	-/۶۰	۱/۶۴	۳/۳۶	۷۰	۲/۱۴	-/۴۵	۱/۵۱	۲/۹۵	۳۰
۲/۸۰	-/۴۵	۱/۵۳	۳/۷۱	۷۱	۱/۹۸	-/۶۷	۱/۷۵	۳/۴۵	۳۱
۲/۵۵	-/۴۴	۱/۵۵	۳/۷۰	۷۲	۲/۰۴	-/۴۰	۱/۴۶	۳/۳۶	۳۲
۲/۷۷	-/۴۵	۱/۵۱	۳/۷۱	۷۳	۲/۱۵	-/۴۷	۱/۶۵	۲/۹۳	۳۳
۲/۶۹	-/۳۲	۱/۲۹	۳/۴۹	۷۴	۲	-/۵۶	۱/۹۲	۳/۵۵	۳۴
۲/۷۷	-/۳۹	۱/۴۱	۳/۵۷	۷۵	۱/۹۷	-/۶۱	-/۹۶	۳/۹۲	۳۵
۲/۹۴	-/۴۷	۱/۴۸	۳/۸۱	۷۶	۲/۶۱	-/۴۸	۱/۶۳	۳/۷۷	۳۶
۲/۱۰	-/۴۹	۱/۷۸	۳/۸۶	۷۷	۱/۶۵	-/۴۱	۱/۸۹	۳/۹۰	۳۷
۱/۹۸	-/۴۲	۱/۵۳	۳/۴۳	۷۸	۲/۵۵	-/۶۰	۱/۸۰	۴/۲۳	۳۸
۲/۰۴	-/۳۵	۱/۲۹	۳/۱۰	۷۹	۲/۱۲	-/۶۰	۱/۵۰	۴/۱۱	۳۹
-	-	-	-	-	۲/۶۶	-/۵۳	۱/۵۲	۳/۹۴	۴۰

یافته‌های چولگی نشان می‌دهد مقدار چولگی همه رسوبات مثبت و بین ۰/۱۲ تا ۰/۶۸ متغیر است. از آنجا که هر قدر ذرات دانه‌ریز فراوان باشند دنباله منحنی چولگی به سمت راست میل می‌کند و هر قدر فراوانی ذرات دانه‌درشت بیشتر باشد دنباله منحنی به سمت چپ میل می‌کند و کج‌شدگی منفی می‌شود (فتحی‌زاده و همکاران ۱۳۹۰؛ زمان‌زاده و انوشه ۱۳۹۲)، می‌توان گفت ذرات ریز فراوانی قابل توجهی در رسوبات نیکاها دارند (شکل ۹).

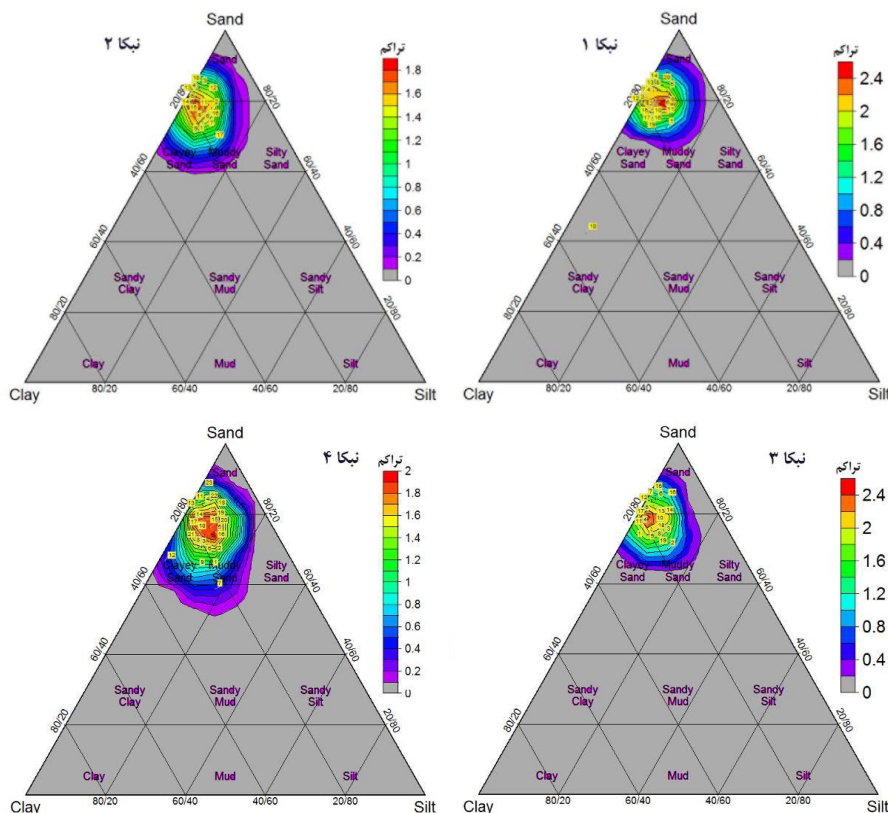


شکل ۹. نتایج پارامترهای رسوبی نیکاها

از طرف دیگر، بر اساس شاخص چولگی می‌توان به محیط رسوبی و فرایندهایی که باعث حمل و نقل رسوبات می‌شوند پی برد. به عبارت دیگر، هر قدر ذرات رسوب دانه‌ریزتر باشند (مانند سیلت و رس) رسوب‌گذاری در یک محیط آرام‌تر بوده است (موسوی حرمی ۱۳۸۹). با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت رسوبات نیک‌ها در محدوده مطالعاتی در یک محیط تقریباً آرام توسط بادهایی با انرژی کم شکل گرفته است.

نتایج کشیدگی رسوبات بیانگر آن است که غیر از دو نمونه با مقدار کشیدگی $0/67$ و $0/89$ (بسیار پهن) مقدار کشیدگی سایر رسوبات بین $1/5$ تا $3/1$ است و به سبب آنکه رسوباتی که کشیدگی آن‌ها بین $1/5$ تا 3 است جزء طبقه بسیار کشیده محسوب می‌شوند (موسوی حرمی ۱۳۸۹)، بر اساس نتایج، می‌توان گفت تقریباً همه رسوبات جزء رسوبات بسیار کشیده قلمداد می‌شوند. در واقع، به سبب توزیع بسیار ناهمگون رسوبات مقدار کشیدگی رسوبات زیاد است که تأییدکننده جورشدگی بد رسوبات نیز هست.

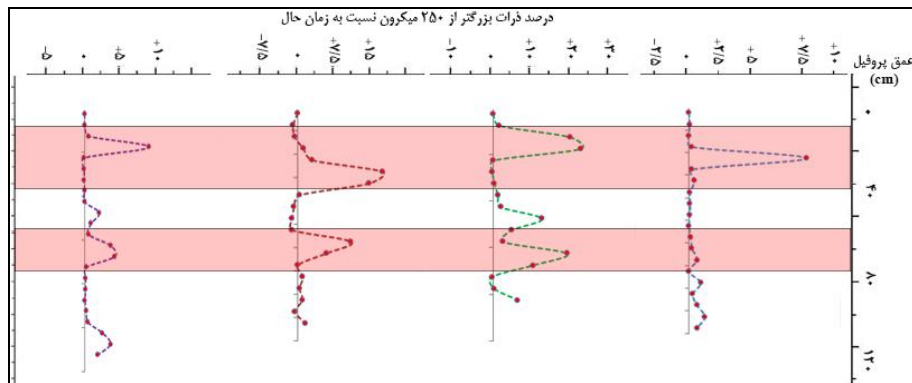
نتایج مثلث بافت رسوبات برداشت شده از نیک‌ها نیز به شرح شکل ۱۰ است. نتایج حاکی از آن است که تقریباً مثلث بافت رسوب برای همه نیک‌ها به یک صورت واحد است و مهم‌ترین مشخصه آن‌ها غالب بودن بافت ماسه‌ای نسبت به دیگر بافت‌هاست که باعث تراکم بالای نمونه‌ها در قسمت بالای مثلث‌های یادشده شده است (شکل ۱۰). در واقع، به سبب آسیب‌پذیری و قابلیت انتقال بالای رسوبات ماسه‌ای نسبت به رس و سیلت، بیشترین تجمع رسوبات نیک‌ها را ماسه‌ها تشکیل داده‌اند.



شکل ۱۰. مثلث بافت رسوبات برداشت شده از نیک‌ها با روش فولک

تغییرات بافت رسوبات

جهت تعیین قدرت بادهای گذشته نسبت به زمان حال از نتایج ذرات بالای ۲۵۰ میکرون، که برای حمل آن‌ها بادهای با سرعت آستانه بالا نیاز است، استفاده شد (شکل ۱۱). یافته‌ها نشان داد با وجود اینکه سرعت بادهای گذشته در منطقه مطالعاتی دچار نوسان بوده است، در لایه‌های بالایی همه نیکها تجمع قابل توجهی از رسوبات بالای ۲۵۰ میکرون وجود دارد.

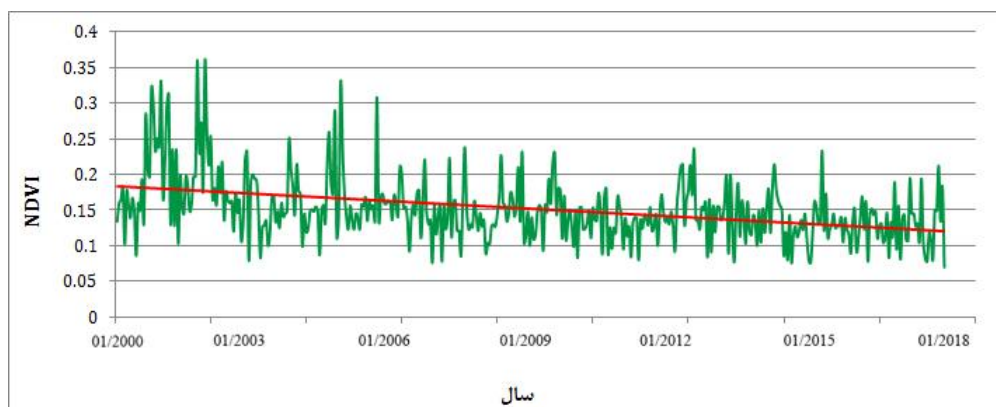


شکل ۱۱. تغییرات ذرات ۲۵۰ میکرون رسوبات نیکها نسبت به زمان اولیه تشکیل نیکا

شکل ۱۲ و ۱۳ تغییرات پوشش گیاهی اطراف نیکزارها را بر اساس مطالعات میدانی و شاخص NDVI تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ نشان می‌دهد. این نتایج بیانگر آن است که مهم‌ترین دلیل تجمع رسوبات درشت‌دانه در بخش بالایی نیکها فعالیت‌های انسانی، نظیر رها شدن زمین‌های کشاورزی و خشک شدن درختان خرما، است که نتیجه آن کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی و رفت‌وروب ذرات درشت‌تر در منطقه مطالعاتی بوده است (شکل ۱۲). در واقع، قبل از رها شدن زمین‌های کشاورزی سرعت آستانه فرسایش ذرات درشت رسوبات بیشتر بوده؛ اما، بعد از رها شدن زمین‌ها و خشک شدن باغات و مزارع و کاهش پوشش گیاهی سرعت آستانه ذرات درشت کم شده و باد توانسته ذرات یادشده را جابه‌جا کند.



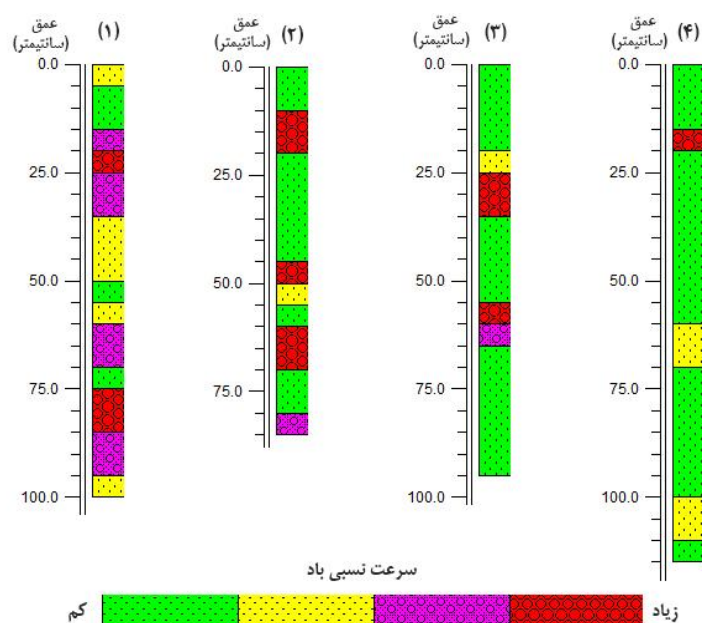
شکل ۱۲. خشک شدن درختان خرما در اطراف منطقه مطالعاتی (اطراف روستای باقرآباد)



شکل ۱۳. کاهش پوشش گیاهی ناشی از خشک شدن درختان خرما در اطراف نیکاه در تصاویر لندست ۷

تغییرات سرعت آستانه فرسایش

یافته‌های حاصله از تغییر سرعت آستانه فرسایش بادی بر اساس قطر ذرات رسوبات در منطقه مورد مطالعه به شرح شکل ۱۴ است. به سبب آنکه اندازه ذرات رسوب در نیمرخ نیکاه می‌تواند ویژگی‌های باد و فراوانی مناطق برداشت ماسه را طی فرایندهای تشکیل نیکا نشان دهد (خلف و همکاران ۱۹۹۵؛ دوگیل و توماس ۲۰۰۲؛ وانگ و همکاران ۲۰۰۸) بنابراین از اندازه ذرات و ضخامت لایه‌ها جهت تعیین سرعت آستانه و مدت نسبی بادهای گذشته در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. اندازه ذرات مختلف در لایه‌های نیکا در منطقه مطالعاتی حاکی از متغیر بودن سرعت آستانه فرسایش در مدت زمان تشکیل نیکاست. به عبارت دیگر، دوره‌های با کاهش قابل توجه سرعت آستانه فرسایش، که توسط رسوبات درشت‌دانه مشخص می‌شوند، باعث انقطاع دوره‌هایی با سرعت آستانه بیشتر شده است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. تغییرات سرعت آستانه فرسایش در مدت زمان تشکیل نیکاه

یکی از نکات قابل توجه، که از شکل ۱۴ پیداست، این است که با اینکه در چند دوره مشخص، به سبب کاهش سرعت آستانه فرسایش، رسوبات درشت ته‌نشست شده‌اند، اندازه ذرات غالب رسوبات در پروفیل نبکاها بین ۶۳ تا ۲۵۰ میکرون است و از آنجا که ذرات ماسه بسیار ریز و ریز (۶۳ تا ۲۵۰ میکرون) نسبت به ذراتی همچون رس و سیلت و ماسه درشت دارای آسیب‌پذیری بیشتر و سرعت آستانه فرسایش کم‌ترند (احمدی ۱۳۸۵) می‌توان گفت سرعت غالب باد، که باعث تشکیل نبکاها در منطقه مورد مطالعه شده است، نسبتاً کم است که با این اصل علمی، که نبکاها در مناطقی که انرژی باد کم باشد به‌خوبی توسعه پیدا می‌کنند (لانگ و همکاران ۲۰۱۳)، مطابقت دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

با وجود اینکه تحقیق درباره نبکاها می‌تواند به طور قابل توجهی فهم ما را در زمینه بازسازی تغییرات محیطی افزایش دهد، اما، تحقیقات در این رابطه نسبتاً کم است (گیل ۱۹۷۵؛ لی و همکاران ۲۰۰۷). در این پژوهش سعی شد با بهره‌گیری از روش‌های دورسنجی، داده‌های میدانی، آنالیزهای گرانولومتری، هیدرومتری و افت حرارتی تغییرات نسبی شرایط آب منطقه، سرعت و مدت نسبی آستانه فرسایش بادی گذشته و تغییرات آن‌ها در طول زمان در چینه‌های مختلف نبکا بررسی شود.

نتایج اندازه‌گیری مواد آلی رسوبات نبکاها در منطقه مطالعاتی نشان داد با وجود اینکه محتوای مواد آلی در مدت زمان تشکیل نبکا تغییرات قابل توجهی کرده، محتوای مواد آلی لایه‌های پایینی نبکا نسبت به دیگر لایه‌ها بیشتر است که می‌تواند بیانگر شرایط خشک‌تر محیطی بعد از تشکیل نبکا باشد. در واقع، در دوران اولیه تشکیل نبکا، منطقه مورد مطالعه از لحاظ مقدار آب جهت رشد درختچه‌های پوشش‌دهنده نبکا شرایط مناسبی داشته است. اما، به مرور زمان بر خشکی منطقه افزوده شده است. در این زمینه آرا و همکارانش (۱۳۹۶) با استفاده از رسوبات نبکاها به بازسازی شرایط اقلیمی گذشته در حاشیه کویر مرکزی پرداختند و چنین گزارش دادند که چینه‌های جدیدتر نبکاها دارای ضخامت بیشتری است که بر رسوب‌گذاری بیشتر در دوره‌های جدیدتر به علت افزایش خشکی و طول دوره خشک‌سالی در منطقه و نیز برداشت بیشتر رسوبات به وسیله باد و رسوب‌گذاری آن‌ها در اطراف درختچه‌ها دلالت می‌کند.

یافته‌های دانه‌بندی رسوبات نشان می‌دهد، به‌رغم اینکه سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه مطالعاتی دچار نوسان بوده، در لایه‌های بالایی همه نبکاها تجمع قابل توجهی از رسوبات بالای ۲۵۰ میکرون مشاهده می‌شود. این تجمع می‌تواند به دلیل فعالیت‌های انسانی، نظیر رها شدن زمین‌های کشاورزی و خشک شدن درختان خرما باشد که نتیجه آن کاهش سرعت آستانه فرسایش بادی و رفت‌وروب ذرات درشت‌تر در منطقه مطالعاتی بوده است. در این زمینه وانگ و همکارانش (۲۰۰۸) با سن‌سنجی رسوبات نبکا در فواصل مشخص پی بردند که تغییرات قابل توجه در میزان رشد تپه‌های نبکا در طول دوره‌های مختلف به دلیل تغییر در فعالیت‌های بادی و منبع رسوبات منطقه طی سیصد سال گذشته است. آن‌ها همچنین اعلام کردند اندازه درشت رسوبات در لایه‌های پایینی نبکا احتمالاً می‌تواند به دلیل فعالیت‌های بادی شدید در دوره یادشده باشد.

یافته‌های حاصله از تغییر سرعت آستانه فرسایش بادی بر اساس قطر ذرات رسوبات در منطقه مورد مطالعه نشان داد

اندازه ذرات مختلف در لایه‌های نیکا در منطقه مطالعاتی حاکی از متغیر بودن سرعت آستانه فرسایش در مدت زمان تشکیل نیکاست. به عبارت دیگر، دوره‌های با کاهش قابل توجه سرعت آستانه فرسایش که توسط رسوبات درشت‌دانه مشخص می‌شوند، باعث انقطاع دوره‌هایی با سرعت آستانه بیشتر شده است. در این زمینه وانگ و همکارانش (۲۰۰۶) در تحقیقی که بر نیکاهای در منطقه نیمه‌خشک شمال چین انجام دادند به این نتیجه رسیدند که آنالیز دانه‌بندی و چینه‌شناسی نشان‌دهنده نوسانات قابل توجه انرژی باد در مدت زمان تشکیل نیکاست. در مجموع یافته‌ها نشان دادند نیکاهای مطالعاتی شواهدی نسبتاً دقیق‌اند که می‌توانند بینش مهمی در زمینه تغییرات محیطی منطقه‌ای فراهم کنند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت فنی و همکاری آقای مهندس کمال کریمی زارچی، رئیس اداره منابع طبیعی و آب‌خیزداری شهرستان بافق، کارکنان اداره منابع طبیعی بافق و رئیس اداره کل منابع طبیعی و آب‌خیزداری استان یزد به انجام رسید که بدین وسیله از زحمات ایشان قدردانی می‌شود.

منابع

- احمدی، حسن (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی (بیابان - فرسایش بادی)، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ج ۲.
- آرا، هایده؛ مریم قاسم‌نژاد، مریم ملاشاهی (۱۳۹۶). «بررسی چینه‌شناسی نیکاهای برای تشخیص نوسان‌های اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه علاء در حاشیه کویر مرکزی)»، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ش ۱، صص ۸۳ - ۹۸.
- زمان‌زاده، سید محمد و منا انوشه (۱۳۹۲). «بررسی پارامترهای گرانولومتریکی در محیط بادی (مطالعه موردی: بند ریگ کاشان)»، *اطلاعات جغرافیایی*، ش ۸۷، صص ۹۳ - ۹۸.
- سازمان حفاظت محیط زیست ایران (۱۳۹۵). دستورالعمل آزمایش تعیین میزان مواد آلی خاک به روش افت حرارتی. عباسی، مرضیه و سادات فیض‌نیا، حمیدرضا عباسی، یونس کاظمی، احمد فرنجیک (۱۳۹۰). «بررسی‌های دانه‌بندی و کانی‌شناسی رسوبات در منشأیابی تپه‌های ماسه‌ای بلوچستان»، *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ش ۳، صص ۴۴۱ - ۴۵۱.
- فتحی‌زاده، حسن و مهدی تازه، یوسف همیالی (۱۳۹۰). «بررسی دانه‌بندی رسوبات از دیدگاه ژئومورفولوژی»، *یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر*.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری (۱۳۸۷). «دستورالعمل تجزیه‌های آزمایشگاهی نمونه‌های خاک و آب»، ش ۴۷۶.
- مقصودی، مهران و اسماعیل پاریزی، عبدالکریم ویسی (۱۳۹۴). «تحلیل مقایسه‌ای ویژگی‌های اکوزئومورفولوژیکی نیکاهای سیرجان و شهر بابک»، *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ش ۲۲، صص ۱۰۴ - ۱۲۰.
- مقصودی، مهران و سعید نگهبان، سجاد باقری، سمیرا چزغه (۱۳۹۱). «مقایسه و تحلیل ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی نیکاهای چهار گونه گیاهی در غرب دشت لوت (شرق شهداد - دشت تکاب)»، *پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، د ۴۴.

- موسوی حرمی، رضا (۱۳۸۹). رسوب‌شناسی، مشهد، انتشارات آستان قدس رضوی.
- موسوی، سید حجت و محسن پورخسروانی، طیبه محمودی محمدآبادی (۱۳۸۹). «گروه‌بندی نبکاهای شمال شرق کویر سیرجان با استفاده از الگوریتم TOPSIS»، *مطالعات مناطق خشک*، ش ۱، صص ۸۷ - ۱۰۵.
- Abbasi, M., Feiznia, S., Abbasi, H., Kazemi, U., & Gharanjik, A. (2011). "Investigation on granulometry and mineralogy of sediments for source identification of Baluchestan sand dunes", *Iranian journal of Range and Desert Research*, 3, pp. 441-451.
- Ahmahi, H. (2008). applied geomorphology (Desert-aeolian erosion), Tehran.
- Ara, H., Ghasemnezhad, M., & Mollashahi, M. (2017). "Stratigraphic Analysis of Nebkas for Detecting Climatic Fluctuations (Case study: Ala Basin in the Border of Central Desert of Iran)", *Journal of Geography and Environmental Planning*, 65(1), pp. 84-98.
- Bouyoucos, G. J. (1962). "Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils 1", *Agronomy journal*, 54(5), pp. 464-465.
- Büntgen, U., Esper, J., Frank, D. C., Nicolussi, K., & Schmidhalter, M. (2005). "A 1052-year tree ring proxy for Alpine summer temperatures", *Climate Dynamics*, 25(2-3), pp. 141-153.
- Cooke, R., Warren, A., & Goudie, A. (1993). Desert Geomorphology. UCL Press, London.
- Department of Environment Islamic Republic of Iran (2016). Determination of the Organic Matter of Soils (Loss on ignition method).
- Dougill, A. J. & Thomas, A. D. (2002). "Nebkha dunes in the Molopo Basin, South Africa and Botswana: formation controls and their validity as indicators of soil degradation", *Journal of Arid Environments*, 50(3), pp. 413-428.
- Folk, R. L. (1954). "The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature", *The Journal of Geology*, 62(4), pp. 344-359.
- Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle-size analysis 1. Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods, (methodsofsoilan1), pp. 383-411.
- Gile, L. H. (1975). "Holocene Soils and Soil-Geomorphic Relations in an Arid Region of Southern New Mexico 1", *Quaternary Research*, 5(3), pp. 321-360.
- Hesp, P. & McLachlan, A. (2000). "Morphology, dynamics, ecology and fauna of *Arctotheca populifolia* and *Gazania rigens nabkha* dunes", *Journal of arid environments*, 44(2), pp. 155-172.
- Holmes, J. A., Cook, E. R., & Yang, B. (2009). "Climate change over the past 2000 years in Western China", *Quaternary International*, 194(1-2), pp. 91-107.
- Jiang, X., He, Y., Shen, C., Kong, X., Li, Z., & Chang, Y. (2012). "Stalagmite-inferred Holocene precipitation in northern Guizhou Province, China, and asynchronous termination of the Climatic Optimum in the Asian monsoon territory", *Chinese Science Bulletin*, 57(7), pp. 795-801.
- Jianhui, D., Ping, Y., & Yuxiang, D. (2010). "The progress and prospects of nebkhas in arid areas", *Geography Sci*, 20(5), pp. 712-728.
- Jin, H., Su, Z., Sun, L., Sun, Z., Zhang, H., & Jin, L. (2004). "Holocene climatic change in Hunshandake Desert", *Chinese Science Bulletin*, 49(16), pp. 1730-1735.
- Khalaf, F. I., Misak, R., & Al-Dousari, A. (1995). "Sedimentological and morphological characteristics of some nabkha deposits in the northern coastal plain of Kuwait, Arabia",

- Arid Environments*, 29, pp. 267–292.
- Kocurek, G. & Lancaster, N. (1999). “Aeolian system sediment state: Theory and Mojave Desert Kelso dune field example”, *Sedimentology*, 46(3), pp. 505–515.
- Lang, L. L., Wang, X. M., Hasi, E., & Hua, T. (2013). “Nebkha (coppice dune) formation and significance to environmental change reconstructions in arid and semiarid areas”, *Journal of Geographical Sciences*, 23(2), pp. 344–358.
- Langford, R. P. (2000). “Nabkha (coppice dune) fields of south-central New Mexico, U.S.A.”, *Arid Environments*, 46, pp. 25–41.
- Li, J., Gao, Jing., Zou, Xueyong., Kang, Xiaoyun (2014). “The relationship between nebkha formation and development and desert environmental changes”, *Acta Ecologica Sinica*, 34, pp. 266-270.
- Li, J., Zhao, Y., Han, L., Zhang, G., & Liu, R. (2017). “Moisture variation inferred from a nebkha profile correlates with vegetation changes in the southwestern Mu Us Desert of China over one century”, *Science of The Total Environment*, 598, pp. 797-804.
- Li, Z., Wu, S., Wang, X., He, M., Ge, L., Mu, H., & Xu, G. (2007). “Bio-geomorphologic growth process of Tamarix nabkha in the Hotan River Basin of Xinjiang”, *Acta Geographica Sinica*, 62(5), pp. 462–470.
- Maghsoudi, M., Neghaban, S., Bagheri, S., & Chezghe, S. (2012). “Comparative and Analysis of Nebkas Geomorphologic Features Four Plant Species in West of Lut (East of Shahdad - Takab Plain)”, *Physical Geography Research*, 44, pp. 55-76.
- Maghsoudi, M., Parizi, E., & Veysi, A. (2015), “The comparative analysis of ecogeomorphology properties of Sirjan and Shahr –e babak Nebkhas”, *Journal of arid regions Geographic Studies*, 22, pp. 1-17.
- Melton, F. A. (1940). “A tentative classification of sand dunes its application to dune history in the southern High Plains”, *Geology*, 48(2), pp. 113–174.
- Mousavi, H., Pourghosravani, M., & Mahmoodi, T. (2000). “The comparative grouping of playa North East nebkha using TOPSIS algorithm”, *Journal of arid regions Geographic Studies*, 1, pp. 87-109.
- Moussavi-Harami, R. (2006). *Sedimentology*, Eleventh Edition, Astan Qods- Razavi Publication, Mashhad.
- Qiang, M., Chen, F., Song, L., Liu, X., Li, M., & Wang, Q. (2013). “Late quaternary aeolian activity in gonghe Basin, northeastern Qinghai-Tibetan plateau, China”, *Quaternary Research*, 79(3), pp. 403-412.
- Seifert, C. L., Cox, R. T., Forman, S. L., Foti, T. L., Wasklewicz, T. A., & McColgan, A. T. (2009). “Relict nebkhas (pimple mounds) record prolonged late Holocene drought in the forested region of south-central United States”, *Quaternary Research*, 71(3), pp. 329–339.
- Vice-President for Planning and Strategic Supervision (2008). *Laboratory analysis methods of soil and water samples*, 476.
- Wang, X., Zhang, C., Zhang, J., Hua, T., Lang, L., Zhang, X., & Wang, L. (2010). “Nebkha formation: Implications for reconstructing environmental changes over the past several centuries in the Ala Shan Plateau, China”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*.
- Wang, X. M., Chen, F. H., Dong, Z. B., & Xia D. S. (2004). “Evolution of the southern Mu Us

- Desert in north China over past 50 years: an analysis using proxies of human activity and climate parameters”, *Land Degrad*, 15, pp. 1–16.
- Wang, X., Wang, T., & Dong, Z. (2006). “Nebkha development and its significance to wind erosion and land degradation in semi-arid northern China”, *Arid Environments*, 65, pp. 129–141.
- Wang, X., Xiao, H., Li, J., Qiang, M., & Su, Z. (2008). “Nebkha development and its relationship to environmental change in the Alaxa Plateau, China”, *Environmental Geology*, 56(2), pp. 359-365.
- Wiggs, G. F., Thomas, D. S., Bullard, J. E., & Livingstone, I. (1995). “Dune mobility and vegetation cover in the southwest Kalahari Desert”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 20(6), pp. 515-529.
- Xia, X., Zhao, Y., Wang, F., & Cao, Q. (2005). “Nebkha formation and its environmental significances in the Lop Nor, China”, *Chinese Science Bulletin*, 50(19), pp. 2176-2177.
- Xiao, J., Nakamura, T., Lu, H., & Zhang, G. (2002). “Holocene climate changes over the desert/loess transition of north-central China”, *Earth and Planetary Science Letters*, 197(1-2), pp. 11-18.
- Zhou, D. Q. (2006). “Lacustrine sedimentary records and past global change”, *Bull Mineral Petrol Geochem* (in Chinese), 25(3), pp. 262-265.