

## تغییرات محیطی دلتای رودخانه کرخه با استفاده از ژئوشیمی رسوبات

فاضل ایرانمنش\*؛ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

مهران مقصودی، ابراهیم مقیمی، مجتبی یمانی؛ دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا

امیرحسین چرخابی؛ پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش ۹۴/۸/۱۲

دریافت ۹۳/۴/۱۴

### چکیده

دلتاها از مهم‌ترین واحدهای ریخت‌شناسی محسوب می‌شوند که تأثیر زیادی در فعالیت‌های کشاورزی، استخراج معادن، مدیریت سواحل و نظایر آن دارند. علی‌رغم وجود منابع آب و خاک مناسب در دلتاها، پدیده‌های محیطی گوناگونی مانند تغییرات آب و هوایی و تغییرات سطح اساس دریاها آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اثر این تغییرات بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی رسوبات ظاهر می‌شود. بنابراین این پژوهش با هدف تحلیل محیط‌های رسوب‌گذاری دلتای رودخانه کرخه بر اساس ویژگی‌های شیمیایی رسوبات دیرینه انجام شد. بدین‌منظور پس از پردازش داده‌های رقومی، تهیه نقشه ژئومورفولوژی و بازدید اولیه از منطقه، محیط‌های رسوب‌گذاری و محل‌های مغزه‌گیری مشخص شدند. مغزه‌گیری با یک دستگاه ماشین حفاری دورانی و به‌صورت پیوسته، تا عمق ده متری در دو محل رفیع و جفیر انجام شد. از میان مغزه‌ها، تعداد ۲۰ نمونه برای انجام آزمایش‌های کانی‌شناسی و شیمیایی انتخاب شدند. تفاوت در ویژگی‌های شیمیایی و کانی‌شناسی نشان داد حداقل سه مرزگسستگی عمده بین لایه‌های رسوبی تا عمق ۱۰ متری وجود دارد. علاوه بر این ضخامت و نوع رسوبات در بین گسستگی‌ها شرایط یکسانی نداشته و تغییرات آن تابع پایداری محیط‌های رسوب‌گذاری است. بر این اساس به‌دلیل سیر افزایشی شاخص  $Mg/Ca$ ، منیزیم، درصد شوری و همچنین کاهش درصد ذرات رسی، مشخص شد روند تغییرات محیط‌های رسوبی از عمق ۱۰ تا ۵ متری به‌سمت شرایط خشک و محیط‌های پرانرژی است. در حالی‌که از عمق ۵ تا ۴ و ۳ تا ۰ متری این روند به‌سمت شرایط اقلیمی مرطوب‌تر و محیط‌های کم‌انرژی است. براین اساس نتیجه‌گیری می‌شود که شرایط محیط‌های رسوب‌گذاری دلتای رودخانه کرخه حداقل در هولوسن بالایی ثابت نیست و این مسئله منجر به تغییراتی در دلتای رودخانه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** تغییرات آب و هوایی، رسوب‌گذاری، شیمی رسوبات، دلتای کرخه.

### مقدمه

دلتاها به‌عنوان محیط‌های رسوبی خاص در مجاورت دریاها به دلیل وجود منابع معدنی و نفتی مهم مانند ذخایری مانند سولفید نابرگا، مخازن نفت و گاز و اراضی مستعد کشاورزی، محیط‌های مناسبی را برای توسعه فعالیت‌های اقتصادی ایجاد می‌کنند که این مزیت به‌همراه وجود منابع آب کافی و مناسب برای انجام فعالیت‌های کشاورزی، زمینه‌های استقرار سکونت‌گاه‌های متعدد انسانی را نیز فراهم می‌کند. علی‌رغم وجود منابع آب و خاک مناسب در دلتاها، پدیده‌های متعددی مانند سیلاب‌های مخرب، تغییرات اقلیمی، تغییرات سطح اساس آب دریاها، آن‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد که بررسی ویژگی‌ها و شیوه‌های بهره‌برداری و مدیریت بهینه این مناطق را براساس اصول علمی

می‌طلبد. رسوبات موجود در منطقه دلتایی از فرسایش سنگ‌های موجود در حوضه آبریز تشکیل می‌شوند و در بررسی‌های ژئوشیمیایی اکتشافی، نقطه شروع مناسبی است.

دلتای رودخانه کرخه در محدوده دشت آزادگان در غرب استان خوزستان با ۷۵۰۰ کیلومتر مربع وسعت، نه تنها حاصل مواد به‌دست آمده از آبرفت و بادرفت دوران کواترنری است، بلکه رخ داده‌های محیط‌شناسی مانند تغییرات آب و هوایی، که بر توالی و خصوصیات رسوب‌شناسی تأثیر می‌گذارد، را نیز با خود به‌همراه دارد. تاریخچه رسوبات خلیج فارس در اواخر پلیستوسن و اوایل هولوسن نشان می‌دهد بخش‌های عمده‌ای از خلیج فارس رسوبات غیربومی مربوط به ۷۰۰۰ تا ۱۳۰۰۰ سال قبل را دریافت کرده‌اند. این رسوبات بیش‌تر مربوط به مناطق کم‌عمق هستند، در این زمان، خلیج فارس خشک بوده است و رودخانه‌هایی مانند اروند در حدود ۶۵ تا ۱۰۰ متر عمق داشته‌اند [۲۱]. در اواخر پلیستوسن، سه وقفه در پیش‌روی آب، در اعماق ۶۱ تا ۶۴، ۳۵ تا ۴۰ و ۳۰ متر قابل مشاهده است، در این زمان، شرایط اقلیمی، خشک‌تر از زمان حاضر و شبکه زه‌کشی در زاگرس، به‌صورت چشم‌گیری کم بوده است. تغییرات اقلیمی اواخر کواترنر، نقش مهمی در شکل‌گیری محیط‌های این نواحی ایفا کرده است [۷]، [۲۲]. گرچه جنوب بین‌النهرین، در حوزه فرونشینی رسوبی، تحت تأثیر تکتونیک قرار گرفته است، ولی تأثیر آن در مقایسه با تحولات دوران‌های یخچالی در ۱۵۰۰۰ سال گذشته تقریباً ناچیز است [۴]، [۷]، [۱۳]، [۱۸]. شرایط محیطی، در اواخر پلیستوسن تا اواسط هولوسن، متفاوت‌تر از شرایط امروزی خلیج فارس و بین‌النهرین بوده است. حدود ۱۵۰۰۰ سال پیش، سطح آب‌های آزاد، هنوز ۱۰۰ متر پایین‌تر از امروز برآورد شده است [۹]. آخرین پیش‌روی دریا در کواترنر همراه با یخ‌زدایی، فقط با ورود از طریق تنگه باریک هرمز آغاز شد [۱۶]. ذرات رسوبی آهکی موجود در تپه‌های ماسه‌ای (در کشور امارات متحده عربی)، به‌وسیله باد از سطح خشک خلیج فارس، در اواخر پلیستوسن (۱۲ تا ۱۰ هزار سال پیش به این کشور حمل شده‌اند [۲۲]. در آن دوره دجله، فرات و کارون بر سطح خلیج فارس جریان داشتند. بعد از این زمان، پیش‌روی دریا در خلیج فارس شکل گرفت. افزایش سطح آب دریا در طی این دوره بسیار متغیر بود. اما به‌طور متوسط یک سانتی‌متر در سال تا ۹۰۰۰ سال پیش گزارش شده است و پس از آن افزایش، کاهش پیدا کرد [۹]، [۱۹]. بررسی تحولات رسوبی هولوسن و خط ساحلی قدیمی در پایین دشت خوزستان (جنوب عراق) نشان می‌دهد که، تحولات ساحل اروند تابعی از تغییرات سطح آب‌های آزاد است. بر اساس این پژوهش چهار محیط رسوبی شامل پهنه‌های جزر و مدی، سبخا، مرداب و دشت‌های آبرفتی قابل تشخیص هستند. در هولوسن تحتانی به‌دلیل بالا آمدن سطح آب‌های آزاد خط ساحلی تا فلات قاره گسترش داشته، اما با کاهش سطح آب در حدود ۵۵۰۰ سال قبل به‌همراه شرایط خشکی، فعالیت‌های رودخانه‌ای دلتای کارون توسعه پیدا کرده و جابه‌جایی‌هایی نیز در بستر رودخانه‌های کرخه و جراحی پدیدار می‌شود. در این ارتباط چهار مسیر قدیمی را تشخیص داده است [۱۴].

این‌گونه تغییرات ضمن تأثیر بر عمل‌کرد آب‌های جاری، ویژگی‌های شیمیایی، کانی‌شناسی رسوبات و محیط‌های رسوب‌گذاری را نیز متأثر کرده است. از میان عناصر، منیزیم و کلسیم و برخی متغیرهای دیگر مانند شوری (هدایت-الکتریکی) و میزان رس، شاخص‌های خوبی برای تشخیص شرایط محیط‌های رسوبی و ویژگی‌های آن‌ها هستند. منیزیم و کلسیم و نسبت بین آن‌ها اهمیت ویژه‌ای در تعیین درجه حرارت دیرینه آب دریا و اقیانوس‌ها دارد. نسبت منیزیم به کلسیم<sup>۱</sup> در روزنه‌داران کلسیتی شاخص بسیار مناسبی برای تعیین تغییرات درجه حرارت دیرینه آب دریاها است [۵].

1. Mg/Ca

البته وابستگی بین درجه حرارت و نسبت منیزیم به کلسیم در مواد غیرآلی، پیش‌تر مشخص شده بود [۲۰]. معمولاً مقادیر زیاد این نسبت، نشان‌دهنده افزایش منیزیم و زیاد بودن درجه حرارت است. عوامل متعددی مانند ریزش آب شیرین به داخل لایه‌های کربناته، هوازدگی و بیرون‌زدگی، تشکیل رس و آب‌شویی می‌توانند میزان منیزیم محیط را کنترل کنند. البته تبادل یونی رس با منیزیم تا حدود زیادی، تغییرات منیزیم را کنترل می‌کند [۱۲]. رخداد چنین شرایطی، در رس‌های کائولینیت با ناچیز بودن مقدار الکترولیت‌ها، اسیدیته و آب‌شویی یون‌های منیزیم، کلسیم و آهن همراه است [۱]. استفاده از نسبت منیزیم به کلسیم یک روش متداول بررسی درجه حرارت آب روی پلانکتون‌های G.Ruber است [۱۷]. بر اساس پژوهش‌های انجام شده حدود ۱/۷ درصد از کل منیزیم به مخزن دریاچه‌ها افزوده شده است [۱۸].

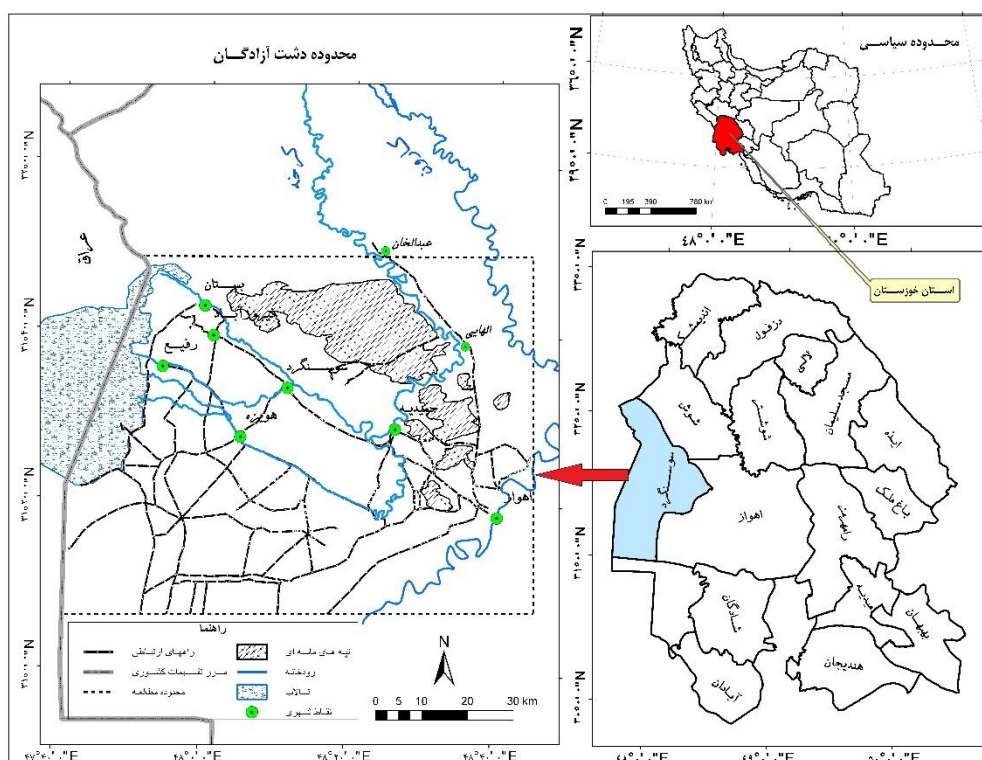
در مجموع می‌توان گفت، مورفودینامیک رودخانه‌ای و تغییرات دلتا در اثر تغییرات سطح اساس آب‌های آزاد، تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی مورد توجه بسیاری از محققان است، ولی آنچه مسلم است اثرات این‌گونه تغییرات روی محیط‌های رسوبی و ویژگی‌های آن‌ها می‌تواند کلید شناسایی محیط‌های گذشته باشد. بنابراین بررسی ویژگی‌های شیمی رسوبات دیرینه به‌منظور تحلیل محیط‌های رسوب‌گذاری دلتای رودخانه کرخه از اهداف اصلی این پژوهش به‌شمار می‌آید.

### موقعیت منطقه بررسی شده

رودخانه کرخه، از مناطق میانی و جنوب‌غربی رشته‌کوه‌های زاگرس، در نواحی غرب و شمال‌غرب کشور سرچشمه گرفته و پس از طی مسافتی در حدود ۹۰۰ کیلومتر در امتداد شمال به جنوب، سرانجام در مرز مشترک ایران و عراق به تالاب هویزه (هورالعظیم) می‌رسد. براساس تقسیم‌بندی تماب (مرکز تحقیقات منابع آب)، بخش‌هایی از استان‌های همدان، کرمانشاه، کردستان، ایلام، لرستان و خوزستان در حوضه رودخانه کرخه قرار می‌گیرند. الگوی جریان رودخانه کرخه در مناطق کوهستانی تابع چین‌خوردگی‌های زاگرس میانی است، ولی در محدوده دشت آزادگان، از محل پل عبدالخان تا شهرستان حمیدیه، قوس‌ها و پیچ و خم‌های رودخانه بسیار زیاد و مشتمل بر قوس‌های کوچک و بزرگی است که مرتباً به‌صورت محلی فرسایش داشته و بر قوس‌های بزرگ‌تر افزوده می‌شود. این رودخانه، در ادامه مسیر، بعد از گذر از شهرستان حمیدیه، به دو شاخه، یکی به سمت جنوب و دیگری به سمت غرب تقسیم می‌شود. در پایین‌دست شهر حمیدیه و به سمت جنوب، رودخانه کرخه در مسیری امتداد داشته که امروزه به نام کرخه کور معروف است. اما در شاخه غربی، پس از عبور از شهرستان حمیدیه، در محدوده غرب روستای سبحانیه (واقع در دو کیلومتری شرق سوسنگرد)، وارد زمین‌های کم‌شیب شده و به دو رودخانه هوفل و نیسان تقسیم می‌شود، در حقیقت این اولین انشعاب در رودخانه کرخه است و هر کدام از این شاخه‌ها به چندین شاخه تقسیم و نهایتاً به تالاب هویزه وصل می‌شوند (شکل ۱).

### مواد و روش‌ها

روش پژوهش شامل سه مرحله، مشتمل بر پردازش داده‌های رقومی، روش‌های میدانی و روش‌های آزمایشگاهی است. تصاویر ماهواره‌ای، بر اساس عاری بودن آن‌ها از خطاهای هندسی و رادیومتریک، نبود ابر و سایه و هم‌چنین در



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دلتای رودخانه کرخه در دشت آزادگان

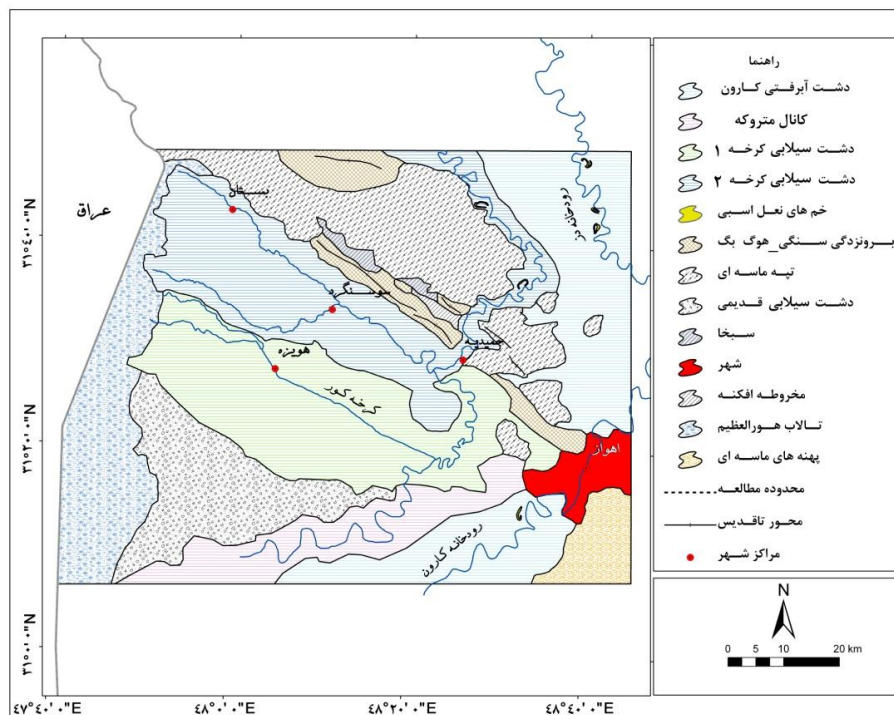
دسترس بودن انتخاب شدند. این تصاویر شامل تصاویر ماهواره لندست مربوط به گذرهای ۳۸-۱۶۵ و ۳۸-۱۶۶ در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۳، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۲ و تصاویر سنجنده لیس<sup>۱</sup> از ماهواره IRS هند مربوط به سال ۲۰۰۶ میلادی است. همچنین از نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نیروهای مسلح و سازمان نقشه‌برداری برای تدقیق و تطبیق عوارض با واقعیت زمینی و تصاویر استفاده شد (جدول ۱). پس از جمع‌آوری داده‌ها، تلفیق لایه‌های مکانی و توصیفی و ایجاد زیرساخت داده‌ها در نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس<sup>۲</sup>، و تفسیر داده‌های رقومی ماهواره‌ای در نرم‌افزار ان‌وی<sup>۳</sup> و الویس<sup>۴</sup> انجام شد. پس از این مرحله، با استفاده از نقشه ژئومورفولوژی (شکل ۲) منطقه، محیط‌های رسوبی، اعم از محیط‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری روی نقشه مشخص شدند. روش‌های میدانی نیز شامل بازدید اولیه و کنترل اطلاعات به‌دست آمده از مرحله قبل همراه عملیات مغزه‌گیری بود. در عملیات مغزه‌گیری از رسوبات به‌دلیل مشکلاتی، مانند بالا بودن سطح آب‌زیرزمینی در محل‌های نمونه‌برداری (سطح آب‌زیرزمینی در منطقه رفیع ۲/۶۵ و در منطقه جفیر ۴/۳ متر)، وجود رسوبات با بافت‌های سنگین، صرف هزینه زیاد حفر چاه و زمان بیش‌تر، نمونه‌برداری با یک دستگاه ماشین حفاری دورانی مدل ایگر<sup>۵</sup> و به‌صورت مغزه‌گیری پیوسته<sup>۶</sup>، تا عمق ده متر انجام شد. از بین نمونه‌ها و مغزه‌های حفاری‌شده، تعداد ۲۰ نمونه برای انجام آزمایش‌های کانی‌شناسی (پراش اشعه X) و فیزیکی-شیمیایی به‌ترتیب در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های کاربردی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

1. Liss
2. ArcGIS
3. ENVI
4. ILWIS
5. Acker
6. Continuous Coring

و آزمایشگاه خاک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انتخاب شدند. دانه‌بندی ذرات براساس روش آمریکایی (USDA)<sup>۱</sup> و برای تجزیه و تحلیل اندازه دانه‌ها، بافت خاک و رسم نمودارها به ترتیب از نرم افزارهای گراداست<sup>۲</sup> و محاسبه گر ویژگی‌های هیدرولیکی<sup>۳</sup> و راک ورک<sup>۴</sup> استفاده شد.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

ردیف	سنجنده	ماهواره	گذر	قدرت تفکیک مکانی (متر)	تاریخ
۱	TM	لندست ۵	۱۶۶-۳۸	۲۸/۵	۱۹۹۰
۲	TM	لندست ۵	۱۶۶-۳۸	۲۸/۵	۱۹۹۳
۳	TM	لندست ۵	۱۶۵-۳۸	۲۸/۵	۱۹۹۸
۴	ETM+	لندست ۷	۱۶۵-۳۸	باندها ۲۸/۵ و سایر باندها ۱۵ متر	۲۰۰۲
۵	ETM+	لندست ۷	۱۶۶-۳۸	باندها ۲۸/۵ و سایر باندها ۱۵ متر	۲۰۰۲
۶	Liss	IRS	۴۸-۶۷	باندها ۲۳ و سایر باندها ۸/۵ متر	۲۰۰۶



شکل ۲. نقشه ژئومورفولوژی دشت آزادگان

## یافته‌ها و بحث

باتوجه به اهمیت محیط‌های رسوب‌گذاری برای استفاده در بررسی محیط‌های رسوبی قدیمی و براساس اطلاعات به‌دست آمده از مراحل پیشین، سه محیط رسوب‌گذاری رودخانه‌ای، دریاچه‌ای (تالاب هویزه-رفیع) و بادی در منطقه بررسی شده تشخیص داده شد (شکل ۳). محیط رودخانه‌ای، به دلیل ماندری بودن دارای زیرمحیط‌هایی مانند دشت‌های

1. United State Department of Agriculture
2. Gradistat
3. American Hydraulic Properties Calculator
4. Rock Work

سیلابی، کانال‌های رودخانه‌ای و کانال متروکه است. نتایج نشان داد رودخانه کرخه به دلیل جابه‌جایی و تحرک بسیار زیاد [۳] و بار معلق بیش از ۱۷۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه حمیدیه [۲]، دارای دشت‌های سیلابی متعددی است که با ذرات ریزدانه در حد سیلت پوشیده شده است. به همین علت، دشت‌های سیلابی بیش‌ترین وسعت را نسبت به سایر محیط‌های رسوب‌گذاری اشغال کرده است. برخلاف محیط رودخانه‌ای، نتایج بررسی لاگ<sup>۱</sup> رسوبی تالاب هویزه در منطقه رفیع از آثار خرده‌های فسیلی شامل دو کفه‌ای‌ها به همراه افزایش ذرات رسی از عمق نه متری تا هفت متری نشان داشت، هم‌چنین همبری زیرین و بالایی آن فرسایشی و بدون هرگونه فسیل است. همبری بالایی، نشان از انقطاع رسوب‌گذاری دریاچه‌ای دارد و به‌وضوح پس‌روی دریاچه و استقرار شرایط اکسیدی سطحی مشخص است که طی آن، رسوب از بالادست روی رسوبات دریاچه‌ای نهشته شده است (شکل ۴). وجود چنین تفاوت‌هایی در ستون چینه‌ای، ضرورت تحلیل و کشف روابط بین متغیرهای فیزیکی شیمیایی رسوبات با محیط‌های رسوب‌گذاری را تقویت می‌کند. بنابراین در ذیل، ضمن تحلیل نتایج حاصل از آزمایش‌های شیمیایی، شرح روابط بین درصد ذرات رس، میزان منیزیم، شوری و نسبت منیزیم به کلسیم نیز آمده است.

### نتایج آزمایش‌های شیمیایی مغزه‌ها

رسوبات شیمیایی و زیستی به وضعیت آب و هوایی، شیمی آب و طرح آب‌گیری منطقه بستگی دارند [۶]. عمده‌ترین رسوبات دریاچه‌هایی که در نواحی خشک قرار دارند رسوبات شیمیایی هستند. به‌طور کلی، با افزایش درجه حرارت، میزان تبخیر و درجه شوری آب زیاد می‌شود. با افزایش درجه شوری، به‌ترتیب کربنات‌ها، سولفات‌ها (ژپس و اندریت) و نمک (هالیت) تشکیل می‌شود. در مغزه رفیع میزان اسیدیتته بین ۸/۰۶ تا ۸/۴۸ (جدول ۲) است که نشان‌دهنده محیط قلیایی است، ولی تغییرات آن نسبت به عمق روند افزایشی دارد. به‌نظر می‌رسد عوامل قلیایی‌زای این محدوده، مانند میزان تبخیر زیاد و تعرق در مقابل میزان بارندگی و سدیم، بیش‌تر به چشم می‌خورد. نتایج هم‌چنین نشان از میزان زیاد سدیم در بین نمونه‌ها دارد، به‌گونه‌ای که میزان آن از ۱۷/۴ تا حدود ۶۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر تغییر می‌کند. با این تفاوت که روند تغییرات نسبت به عمق خطی نیست. مقدار هدایت الکتریکی یا شوری در رسوب‌ها بین ۳/۵۱ تا ۸/۸۹ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر (ms/cm) است و این نشان می‌دهد که رسوبات دارای شوری متغیر خیلی کم تا شوری بسیار زیاد هستند. تغییرات هدایت الکتریکی در مقایسه با اسیدیتته دامنه بیش‌تری دارد. هم‌چنین، ضریب هم‌بستگی بین هدایت الکتریکی در نمونه‌ها با تغییرات کلر در حدود ۰/۸۵ است. علاوه بر این، بین سایر کاتیون‌ها مانند کلسیم، منیزیم و سولفات نیز، ضریب هم‌بستگی زیادی در حدود ۰/۹۳ وجود دارد و روند تغییرات نسبت به عمق شبیه به یک‌دیگر هستند. اما در مغزه جفیر (کانال متروکه کرخه) برخی از متغیرهای شیمیایی مانند شوری و سدیم چندین برابر بیش‌تر از مغزه رفیع هستند (جدول ۳). اسیدیتته رسوبی بین ۸/۱۹ تا ۸/۵۸ است که نشان‌دهنده محیط قلیایی است و تغییرات آن نسبت به عمق با نوسان‌های کم، با روند افزایشی نشان می‌دهد. نتایج نشان از میزان بالای سدیم در بین نمونه‌ها دارد، به‌گونه‌ای که میزان آن از ۵۴ تا ۳۱۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر، در عمق ۷ تا ۸ متر تغییر می‌کند. میزان سدیم در منطقه جفیر در حدود ۳/۵ تا ۵ برابر بیش‌تر از منطقه رفیع است.

مقدار هدایت الکتریکی یا شوری رسوبها بین ۹/۱۱ تا ۳۵/۳ میلی زیمنس بر سانتی متر است و نشان از شوری زیاد تا خیلی زیاد رسوبها دارد. نتایج نشان می دهد که دامنه تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه جفیر ۳ تا ۴/۵ برابر بیش تر از مقدار آن در منطقه رفیع است. همچنین ضریب هم بستگی این عامل با تغییرات کلر در نمونه ها ۰/۹۸ است. مقایسه نتایج یون هایی مانند کلر و سدیم که به ترتیب بر هدایت الکتریکی و اسیدیته رسوبها تأثیر گذارند، رابطه مستقیمی با اندازه ذرات و بافت رسوبی دارد. که یکی از دلایل زیاد بودن مقادیر هدایت الکتریکی و اسیدیته نمونه های منطقه جفیر نسبت به منطقه رفیع است.

### جدول ۲. نتایج آزمایش های شیمیایی در مغزه رسوبی رفیع

ردیف	عمق	OC	TNV	K+	Na+	Mg++	Ca++	SO <sub>4</sub> --	Cl-	HCO <sub>3</sub> -	CO <sub>3</sub> --	pH	EC
---	---	%	%			میلی	اکی	والان	در	لیتر			mS/cm
۱	۰-۱	۰/۴۱۴	۳۷/۹۷	۰/۴۴	۲۲/۶	۲۲/۸	۲۸/۸	۵۰/۸۸	۲۱	۲/۲۵	۰/۵	۸/۰۶	۵/۴۳
۲	۱-۲	۰/۶۰۳	۳۹/۰۱	۱	۳۸/۵	۳۰	۳۵/۶	۵۳/۲	۴۷/۵	۴	۰/۵	۸/۱	۸/۰۵
۳	۲-۳	۱/۰۳۶	۴۰/۰۸	۱	۴۵/۲	۲۴/۷	۳۷/۶	۴۰/۸۳	۶۳/۵	۳/۲۵	۱	۸/۰۸	۸/۸۹
۴	۳-۴	۰/۳۷۷	۴۲/۷۵	۰/۶۴	۲۲/۵	۱۳/۲	۱۸	۲۵/۹	۲۷	۲/۷۵	۰/۵	۸/۳۹	۴/۴۹
۵	۴-۵	۰/۳۲	۴۱/۰۹	۰/۵۲	۱۷/۴	۱۱	۱۳/۶	۱۶/۵۱	۲۳	۲/۵	۰/۵	۸/۴۵	۳/۷
۶	۵-۶	۰/۲۶۴	۴۳/۹۹	۰/۶۲	۲۷	۲۰	۲۰/۴	۲۵/۷۸	۴۰	۱/۷۵	۰/۵	۸/۲۹	۵/۸۹
۷	۶-۷	۰/۳۰۱	۴۲/۷۵	۰/۴۴	۱۹/۱۴	۱۰	۱۰/۸	۱۴/۶۱	۲۳	۲/۲۵	۰/۵	۸/۳۸	۳/۵۱
۸	۷-۸	۰/۸۱	۵۱/۴۶	۰/۹۸	۴۹/۵۶	۱۶	۱۶/۴	۳۳/۴۲	۴۶/۲۵	۲/۷۵	۰/۵	۸/۳۲	۷/۲۶
۹	۸-۹	۰/۴۷۱	۴۷/۹۳	۱	۴۸/۶	۱۴	۱۳/۲	۲۸/۰۲	۴۵	۲/۷۵	۰/۵	۸/۴۸	۶/۹۲
۱۰	۹-۱۰	۰/۳۰۱	۴۷/۱	۱	۵۹/۵۶	۱۲/۸	۱۱/۲	۲۱/۳۲	۶۰	۲/۷۵	۰/۵	۸/۵۱	۷/۸۳

### جدول ۳. نتایج آزمایش های شیمیایی در مغزه رسوبی جفیر

ردیف	عمق	OC	TNV	K+	Na+	Mg++	Ca++	SO <sub>4</sub> --	Cl-	HCO <sub>3</sub> -	CO <sub>3</sub> --	pH	EC
---	---	%	%			میلی	اکی	والان	در	لیتر			mS/cm
۱	۰-۱	۰/۲۲۶	۴۴/۸۲	۰/۹۵	۵۴	۱۵/۲	۲۴	۵/۱۴	۸۶/۵	۲	۰/۵	۸/۱۹	۹/۱۱
۲	۱-۲	۰/۱۵۱	۵۰/۴۲	۰/۴۸	۲۰۰	۲۴/۴	۳۰/۴	۵۴/۲۲	۱۹۸/۵	۱/۵	۱	۸/۵۸	۲۲/۵
۳	۲-۳	۰/۱۸۸	۵۱/۰۵	۰/۳۹	۱۸۶/۹	۲۷/۶	۲۵/۲	۱۹/۸	۲۱۷	۲/۷۵	۰/۵	۸/۴۴	۲۲/۱
۴	۳-۴	۰/۱۵۱	۵۰/۸۳	۰/۵۵	۱۹۱	۲۶/۸	۳۳/۶	۴۹/۴	۲۰۰	۲/۲۵	۰/۵	۸/۱۸	۲۰/۶
۵	۴-۵	۰/۱۵۱	۵۰/۶۳	۰/۵۸	۲۰۶/۸	۳۱/۶	۴۰	۴۴/۲	۲۳۲/۵	۱/۷۵	۰/۵	۸/۲۳	۲۱/۹
۶	۵-۶	۰/۱۵۱	۴۹/۵۹	۰/۹۸	۲۵۲/۵	۴۵/۲	۴۶/۸	۱۷/۷۴	۳۲۵	۲/۲۵	۰/۵	۸/۲۲	۲۹
۷	۶-۷	۰/۱۳۲	۵۱/۴۶	۱	۳۱۳	۶۲/۸	۵۰/۴	۲۷/۴۹	۳۹۷/۵	۱/۷۵	۰/۵	۸/۲۱	۳۵/۳
۸	۷-۸	۰/۱۳۲	۵۱/۰۵	۱/۵	۲۸۷	۴۴/۶	۵۰	۲۳/۳۱	۲۶۲/۵	۱/۷۵	۰/۵	۸/۰۵	۳۱/۹
۹	۸-۹	۰/۱۳۲	۵۱/۰۵	۱/۲۵	۲۰۲/۵	۳۵/۲	۳۹/۶	۵/۶	۲۷۰	۲/۷۵	۰/۵	۸/۲۳	۲۴/۸
۱۰	۹-۱۰	۰/۰۹۴	۵۱/۴۶	۱/۵۲	۳۰۴/۳	۶۱/۶	۴۱/۶	۳۴/۲	۳۷۲/۵	۱/۷۵	۰/۵	۸/۲۵	۳۳/۹

### تجزیه و تحلیل روابط هم بستگی رس با منیزیم

اغلب کانی های منطقه رفیع و جفیر از دو گروه عمده کانی های ماگمایی و رسوبی تشکیل شده اند. کانی های رسوبی در منطقه نیز، از دو گروه عمده کانی های رسی و کربناتی تشکیل شده است. کانی های رسی، شامل کلرایت، کائولینیت و کانی های کربناتی، شامل کلسیت و دولومیت اند. نکته قابل توجه در مغزه رفیع، عدم وجود کائولینیت از سطح تا عمق سه متری، و وجود آن از عمق های چهار تا پنج متری و پنج تا ده متری است. در همین زمینه پژوهش های انجام شده

نشان می‌دهد کاتولینیت کانی رسی متداول مناطق گرم و مرطوب است و حاصل هوازدگی است [۸] و تبادل یونی رس با منیزیم تا حدود زیادی، تغییرات منیزیم را کنترل می‌کند [۱۲]. در این بررسی نتایج حاصل از دانه‌بندی ذرات رسوبی مغزه رفیع (جدول ۴) نیز مشخص کرد ضریب هم‌بستگی و ضریب تشخیص بین دو متغیر رس و منیزیم در مغزه رفیع به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸۶- و در مغزه جفیر ۰/۶۳ و ۰/۷۹- است. بنابراین شدت هم‌بستگی قوی و نوع آن معکوس و ناقص تشخیص داده شد (شکل ۵). هم‌چنین مقایسه تغییر رفتار ذرات رس و منیزیم نسبت به عمق (شکل ۶) این نتایج را به همراه دارد:

۱. کاهش تدریجی و ۲۲ درصدی ذرات رس و افزایش ۷/۲ واحدی منیزیم از عمق ۱۰ تا ۵ متری،
۲. افزایش شدید و ۲۰ درصدی ذرات رس و کاهش ۹ واحدی منیزیم از عمق پنج تا چهار متری،
۳. کاهش شدید و ۲۲ درصدی ذرات رس و افزایش ۲/۲ منیزیم از عمق ۴ تا ۳ متری،
۴. افزایش تدریجی و ۱۲ درصدی ذرات رس و کاهش منیزیم تا سطح زمین.

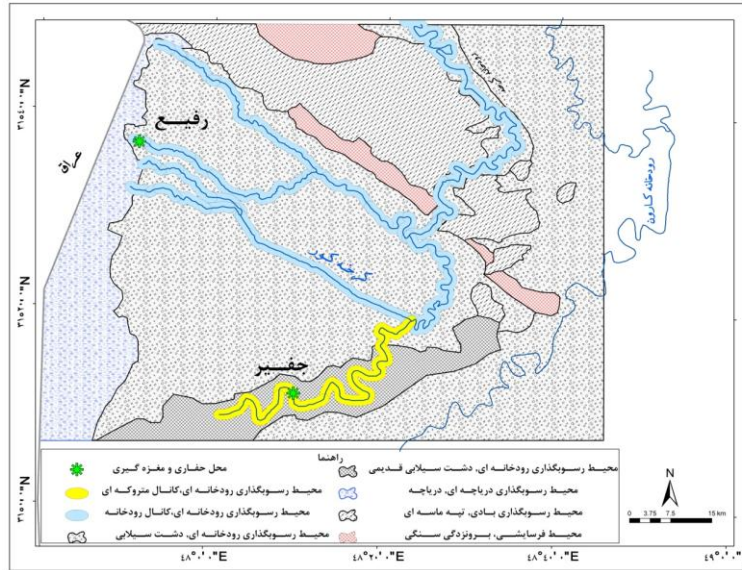
#### جدول ۴. نتایج آزمایش‌های فیزیکی رسوبات در مغزه رفیع

ردیف	عمق (متر)	درصد رس	درصد سیلت	درصد ماسه	بافت خاک
۱	۰-۱	۳۳	۶۶	۱	سیلتی رسی لوم
۲	۱-۲	۲۷	۶۴	۹	سیلتی لومی
۳	۲-۳	۲۵	۶۶	۹	سیلتی لومی
۴	۳-۴	۲۱	۵۴	۲۵	سیلتی لومی
۵	۴-۵	۴۳	۵۴	۳	سیلتی رسی
۶	۵-۶	۲۳	۶۶	۱۱	سیلتی لومی
۷	۶-۷	۳۷	۶۲	۱	سیلتی رسی لوم
۸	۷-۸	۳۷	۵۸	۵	سیلتی رسی لوم
۹	۸-۹	۴۳	۵۷	۰	سیلتی رسی
۱۰	۹-۱۰	۴۵	۵۵	۰	سیلتی رسی

#### تجزیه و تحلیل روابط هم‌بستگی شوری با منیزیم

شوری از دیگر عواملی است که میزان منیزیم و نسبت آن با کلسیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. شوری با نسبت منیزیم به کلسیم رابطه مستقیم [۱۱] و با آب‌شویی رابطه معکوس دارد [۱]. پژوهشی دیگر در شرق مدیترانه، میزان زیاد نسبت منیزیم به کلسیم در ارتباط با شوری غیرمعمول را در آن منطقه می‌داند [۱۰]. احتمالاً در شرایط شوری و درجه حرارت‌های بالاتر، منیزیم بیش‌تری تولید می‌شود. این پژوهش نیز نشان داد، میزان شوری با نسبت منیزیم به کلسیم در مغزه‌های رسوبی رابطه مستقیم داشته و تا حدودی، این رابطه در مغزه جفیر بیش‌تر از مغزه رسوبی رفیع است. براساس رابطه هم‌بستگی، ضریب تشخیص و ضریب هم‌بستگی بین این دو متغیر برای مغزه رسوبی جفیر، ۰/۸۷ و ۰/۹۳ و برای رفیع، ۰/۳۸ و ۰/۷۵ است (شکل ۷). از نظر توصیفی، شدت این هم‌بستگی در مغزه‌های رسوبی جفیر، قوی و در مغزه رسوبی رفیع، متوسط تشخیص داده شد، زیرا نه تنها دامنه تغییرات شوری در منطقه جفیر، ۳ تا ۴/۵ برابر بیش‌تر از مقدار آن در منطقه رفیع است، بلکه دامنه تغییرات منیزیم، نیز به‌طور متوسط دو برابر مغزه رفیع است.

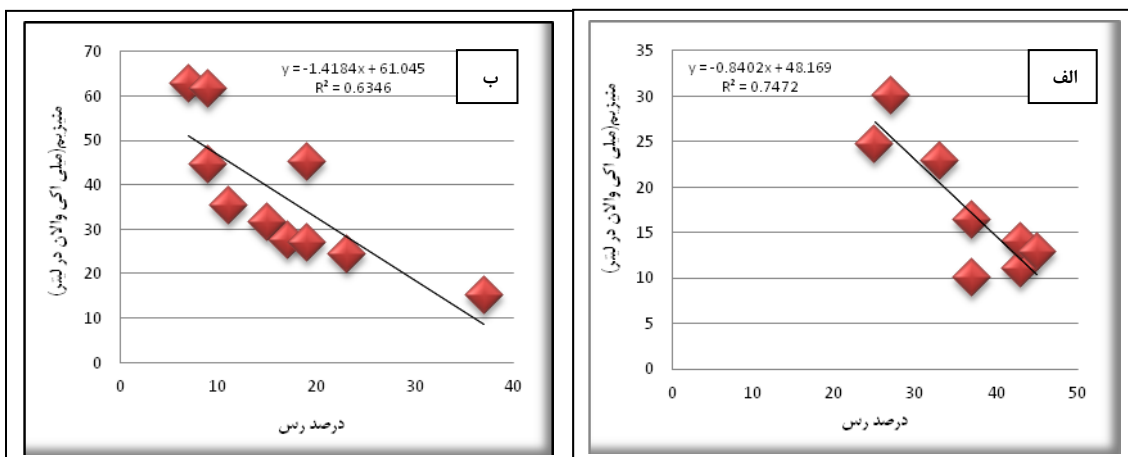




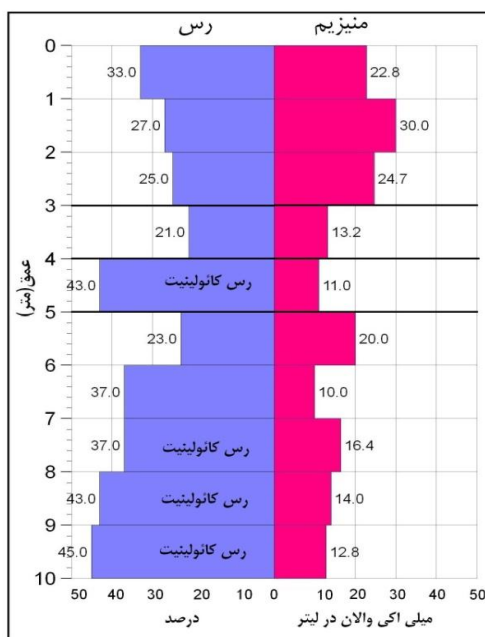
شکل ۳. محیط‌های فرسایشی و رسوب‌گذاری دلتای رودخانه کرخه در محدوده دشت آزادگان



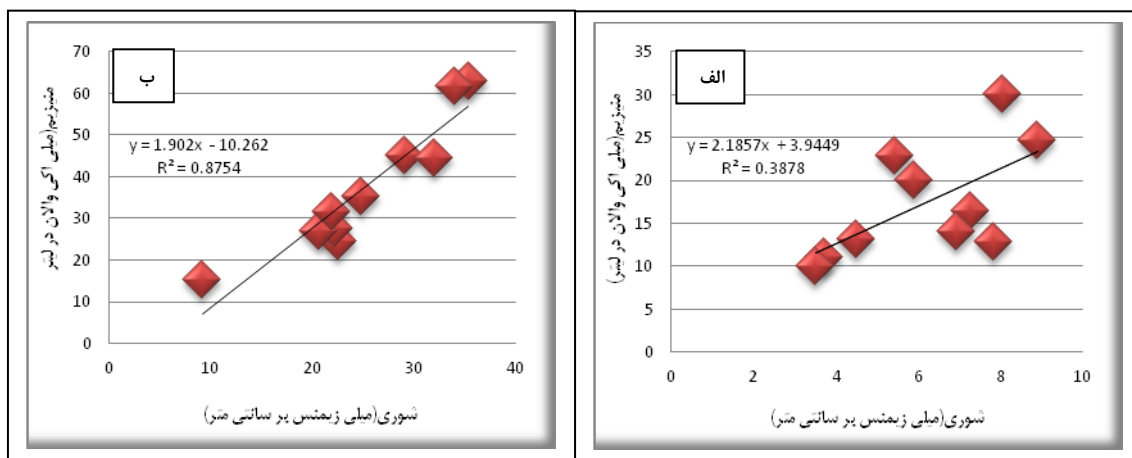
شکل ۴. آثار خرده‌های فسیلی شامل دو کفه‌ای‌ها از عمق ۷ تا ۹ متری، (ب) شرایط اکسیدی سطحی از عمق ۶ تا ۷ متری در مغزه رفیع



شکل ۵. نمودار و رابطه هم‌بستگی رس با عنصر منیزیم (الف) در مغزه رفیع و (ب) جفسیر



شکل ۶. روند تغییرات رفتار ذرات رس نسبت به منیزیم در مغزه رفیع



شکل ۷. نمودار و رابطه هم‌بستگی شوری با عنصر منیزیم (الف) در مغزه رفیع و (ب) جفیر

### نتیجه‌گیری

الگوها و روابط حاصل از بررسی‌های فیزیکی و شیمیایی و کانی‌شناسی رسوبات در مغزه‌های جفیر و رفیع، نشان داد دشت آزادگان در هولوسن پایانی، شرایط یک‌سانی را از نظر اقلیمی و شرایط رسوب‌گذاری پشت‌سر نگذاشته است. محیط‌های رسوب‌گذاری، به‌خصوص در دلتای رودخانه کرخه، در محل تالاب هویزه، به‌طورمتناوب، شرایط رودخانه‌ای-دلتایی، دریاچه‌ای و ساحلی را تجربه کرده و همین امر، باعث شده الگوی رفتاری ذرات رسوبی در مغزه‌های جفیر و رفیع، نسبت به عمق، تابع رابطه خطی نباشد. وجود حداقل سه مرز گسستگی بین مغزه‌های رسوبی جفیر و رفیع، نظم و آهنگ توالی رسوبی را دچار آشفتگی کرده است، بر همین اساس، می‌توان برای آن‌ها ویژگی‌هایی مانند شرایط رسوب‌گذاری، فراوانی گسستگی‌ها بین لایه‌های رسوبی و ضخامت لایه رسوبی را آن‌ها در نظر گرفت. بررسی برخی از ویژگی‌ها و شاخص‌های شیمیایی، مانند منیزیم، نسبت منیزیم به کلسیم و شاخص شوری، با خصوصیات فیزیکی

مغزه‌ها، مثل اندازه دانه‌ها نیز نشان داد، افزایش منیزیم در مغزه‌ها، با افزایش اندازه ذرات، افزایش شوری (هدایت الکتریکی)، شرایط اقلیمی خشک و محیط‌های پرانرژی همراه است، درحالی‌که، کاهش آن با کم شدن اندازه ذرات و شوری (هدایت الکتریکی)، شرایط اقلیمی مرطوب‌تر، محیط‌های کم‌انرژی و تشکیل رس‌های سیلیکاتی (کائولینیت) همراهی دارد. با توجه به تناوب و توالی رسوبات و نوسانات شاخص‌هایی، مانند نسب منیزیم به کلسیم و شوری در هر دو مغزه، می‌توان نتیجه گرفت رودخانه کرخه در دشت آزادگان، تغییرات اقلیمی را در هولوسن تجربه کرده است. شرایط اقلیمی خشک، با شروع عقب‌نشینی خط ساحلی خلیج فارس در هولوسن همراه است و در این زمان دلتای کارون و کرخه توسعه پیدا کرده و جابه‌جایی و تغییرمسیرهایی نیز در بستر این رودخانه‌ها پدیدار می‌شود. تغییرات مسیر رودخانه کرخه، از شهرستان حمیدیه تا تالاب هویزه و مناطق جنوبی‌تر را می‌توان با تغییرات اقلیمی و عقب‌نشینی خط ساحلی، در ۵۵۰۰ سال پیش مرتبط دانست. این شرایط با ناپایداری شرایط رسوب‌گذاری و ارتباط آن با تغییرات سطح اساس نسبی خلیج فارس نیز بی‌ارتباط نبوده است.

### تشکر و قدردانی

از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور که امکانات مالی و اجرایی این پژوهش را فراهم کردند، سپاس‌گزاری می‌شود.

### منابع

۱. بایوردی م.، فیزیک خاک، انتشارات دانشگاه تهران. چاپ پانزدهم (۱۳۷۲).
۲. خواجه‌ساهوتی غلامرضا، شفاعی بجستان محمود، بررسی صحرایی یکی از پیچان رودهای رودخانه کرخه، چهارمین کنفرانس مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز (۱۳۷۵) ۵۳۷-۵۵۲.
۳. رامشت محمدحسین، دریاچه‌های دوران چهارم بستر تبلور و گسترش مدنیت در ایران، نشریه علوم انسانی، دانشگاه اصفهان، شماره ۱۵ (۱۳۸۲) ۱۳-۳۸.
4. Aqrawi A.A.M., "Stratigraphic signatures of climatic change during the Holocene evolution of the Tigris-Euphrates delta lower Mesopotamia", *Global and Planetary Change*, 28 (2001) 267-283.
5. Barker S., Cacho I., Benway H., Tachikawa K., "Planktonic foraminiferal Mg/Ca as a proxy for past oceanic temperatures: a methodological overview and data compilation for the last glacial maximum", *Quat. Sci. Rev.* 24 (7-9) (2005) 821-834.
6. Collinson J.D., "Lakes: in H. G. Reading, ed., *Sedimentary environments and facies*", Elsevier, New York (1978) 61-79.
7. Cooke G.A., "Reconstruction of the Holocene coastline of Mesopotamia", *Geoarchaeology* 2 (1987) 15-28.
8. Dixon J.B., "Kaolin and Serpentine group minerals In: J. B. Dixon, and S. B. Weed (ed.) *Minerals in soil environments*", *Soil. Sci. Soc. Am. J. Madison, Wisconsin* (1989) 551-634.
9. Fairbanks R.G., "A 17,000-year glacioeustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation", *Nature* 342 (1989) 637-642.

10. Ferguson J.E., Henderson G.M., Kucera M., Rickaby R.E.M., "Systematic change of foraminiferal Mg/Ca ratios across a strong salinity gradient", *Earth and Planetary Science Letters* 265 (2008) 153-166.
11. Folk R.L., Land L.S., "Mg/Ca ratio and salinity, Two controls over crystallization of dolomite", *Amer., Assoc, Petrol Geol. Bull*, 59 (1975) 60-68.
12. Gieskes J. M., Lawrence J.R., "Alteration of volcanic matter in deep sea sediments-evidence from the chemical composition of interstitial waters from deep sea drilling cores, *Geochim*", *Cosmochim Acta*, 45 (1981) 1687-1703.
13. Gunatilaka A., "Kuwait and the Northern Arabian Gulf: A study in Quaternary sedimentation", *Episodes* 9 (1986) 223-231.
14. Heyvaert V. M.A., Baeteman C., "Holocene sedimentary evolution and Palaeocoastlines of the Lower Khuzestan plain (southwest Iran, Persian Gulf), XVII INQUA Congress, Cairns, Australia", *Quaternary International* (2007) 167-168.
15. Katz A., "The interaction of magnesium with calcite during crystal growth at 25-90°C and one atmosphere", *Geochim, Cosmochim,Acta* 37 (1973) 1563-1578.
16. Lambeck K., "Shoreline reconstruction for the Persian Gulf since the last glacial maximum the earth and planetary science Letters", 142 (1996) 43-57.
17. Lea D.W., Pak D.K., Spero H.J., "Climate impact of late Quaternary equatorial Pacific sea surface temperature variations", *Science*, 289 (2000) 1719-1724, doi: 10.1126/ science, 289.5485.1719.
18. Lemcke G., "Palaoklimarekonstruktion Am Van See (Ostanatolien, Turkei), Dissertation", Swiss Federal Institute of Technology (Zurich), no. 11786 (1996).
19. Lighty R. G., Macintyre I.G., Stuckenrath R., "Acropora palmata reef framework: A reliable indicator of sea level in the Western Atlantic for the past 10,000 years", *Coral Reefs* 1 (1982) 125-130.
20. Oomori T., Kaneshima H., Maezato Y., Kitano Y., "Distribution coefficient of Mg<sup>2+</sup> ions between calcite and solution at 10–50 °C. Mar", *Chem.* 20 (4) (1987) 327-336.
21. Sarnthein M., "Sediments and history of the postglacial transgression in the Persian Gulf and Northwest Gulf of Oman", *Marine Geology*, 12 (1972) 245-266.
22. Teller J., Glennie K.W., Lancaster N., Singhvi A.K., "Calcareous dunes of the United Arab Emirates and Noah's flood: The postglacial reflooding of the Persian (Arabian) Gulf", *Quaternary International* 68-71 (2000) 297-308.