دوفصلنامه علمی-پژوهشی هیدروفیزیک
دورهٔ سوم، شمارهٔ دوم (پاییز و زمستان ۱۳۹۶)

پایش شاخص‌های فیزیکو ریختی سواحل جنوب غرب استان خوزستان به‌منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر بهبود خصوصیات رسوبات ساحلی

علی مقومی[۱]، مرتضی بختیاری[۲*]، مجید حیدری[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر mr.alimaghomi@gmail.com
[۲*] نویسنده مسئول، استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر mortezabakhtiari@yahoo.com
[۳] کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، پژوهشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر heidari.majid006@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۷/۷/۷ **تاریخ پذیرش:** ۹۷/۸/۲۶

چکیده

پژوهش حاضر به مطالعهٔ شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی، ریخت‌شناسی و دانه‌بندی به‌عنوان پارامترهای مؤثر در شاخص‌های مکانیکال-عمرانی در سواحل جنوب غرب خوزستان به‌ویژه منطقهٔ آزاد اروند پرداخته است. بدین منظور درمجموع ۲۰ نمونه از رسوبات سه منطقه خرمشهر، آبادان (چوئبده) و ماهشهر برداشت و افزون بر تعیین شاخص‌های فیزیکوشیمیایی مانند EC و PH، با روش‌های پراش پرتوایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و دانه‌بندی لیزری (LPSA) مورد آنالیز قرار گرفتند. EC نمونه‌های مورد مطالعه در محدودهٔ ۵/۱۵ -۳۱/۸ قرار می‌گیرد که کمترین میزان EC متعلق به خرمشهر و بیشترین میزان نیز به رسوبات برداشتی از سواحل آبادان تعلق دارد. با توجه به رابطهٔ معکوس EC با افزایش خوردگی سازه‌های بتنی، بنابراین در تثبیت رسوبات ساحلی آبادان با روش‌های حاوی ترکیبات سیمانی، باید از سیمان ضدسولفاته بهره گرفت. بر اساس داده‌های XRD نیز کانی‌های کلسیت و گاهی دولومیت پراکنش بسیار بالایی در سواحل مورد مطالعه داشته که حضور این ترکیبات کربناته نیز لزوم بهره‌گیری از روش‌های تثبیت آهک‌پایه مانند سیمان-آهک، سیمان-آهک-سیلیس را نشان می‌دهد. همچنین وجود کانی‌های تبخیری مانند هالیت و ژیپس لزوم استفاده از روش‌های تثبیت ضد خوردگی را افزایش می‌دهد. بر اساس داده‌های SEM، ریخت‌شناسی کروی، شکل غالب بر سواحل مورد مطالعه را شامل می‌شود که در کنار میکرومورفولوژی صفحه‌ای ناشی از وفور کانی‌های کلسیت، جورشدگی مناسبی را در عمل تثبیت سواحل ایجاد می‌نماید. بررسی میانگین Q10-Q50-Q90% در رسوبات نشان‌دهندهٔ دانه‌بندی غالب در بازهٔ ۱ تا ۲۱ میکرومتر است. غالب بودن ترکیبات ریزدانه مبنی بر فراوانی بالای ذرات سیلت و رس در رسوبات ساحلی در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد که به‌کارگیری مواد با دانه‌بندی بزرگ‌تر نیز می‌تواند در افزایش باربری سواحل مؤثر باشد.

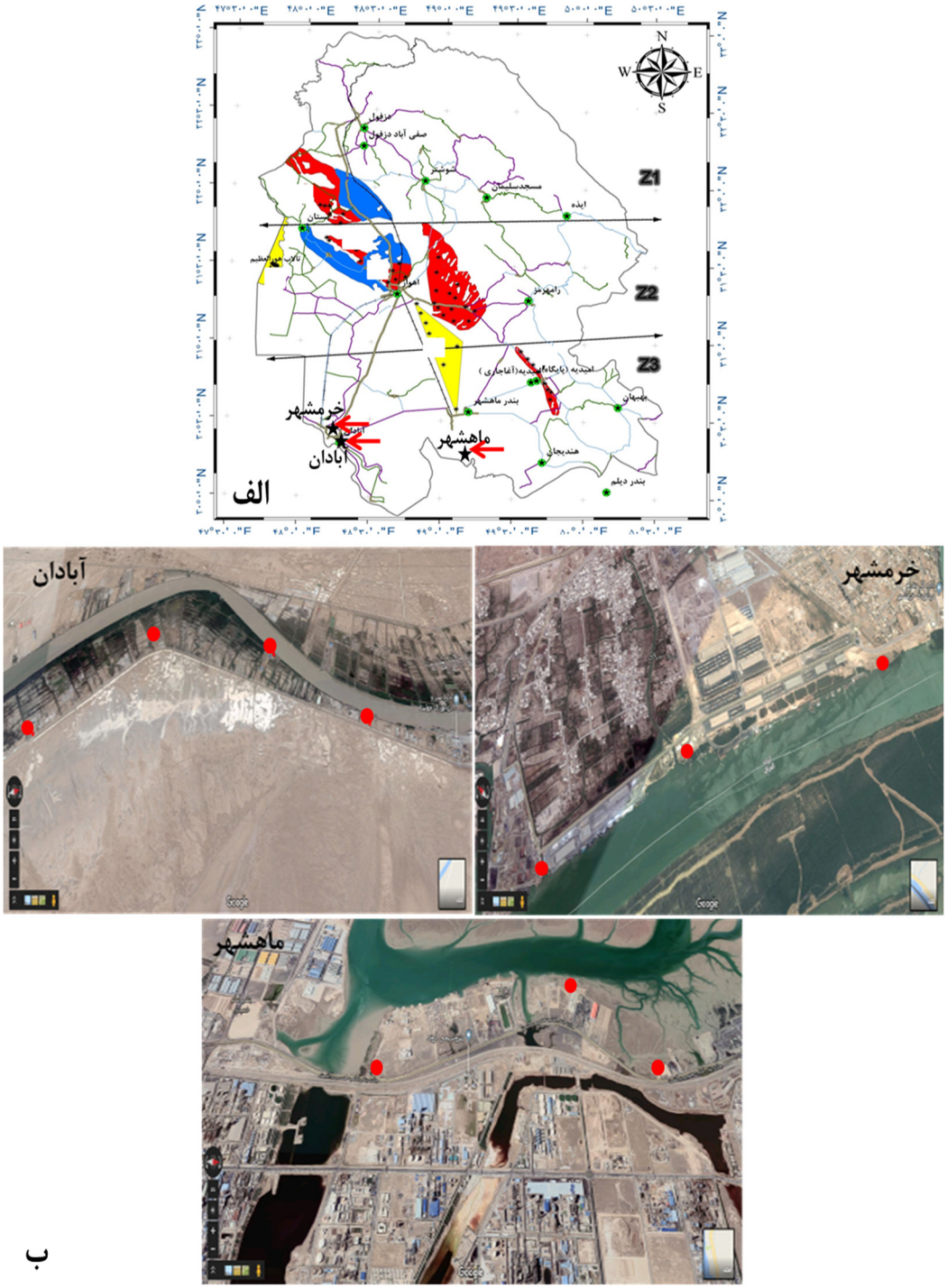
واژه‌های کلیدی: شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی، ریخت‌شناسی، روش پراش پرتوایکس.

۱. مقدمه

استفاده از روش تثبیت برای بهسازی خاک و رسوبات در پروژه‌های عمرانی سابقه‌ای نزدیک به ۱۰۰ سال دارد. این روش در بیشتر موارد در پروژه‌های عمرانی به‌منظور اصلاح خاک و رسوب نرم و کم‌مقاومت، بهبود مشخصات فنی، ایجاد لایه‌های اساس و زیر اساس با قابلیت باربری زیاد، بازسازی روسازی‌های فرسوده با استفاده از مصالح موجود و کاهش گردوخاک یا رطوبت مورد استفاده قرار گرفته است [۱ و ۲]. بنابراین عملیات تثبیت به اصلاح و بهبود خواص فیزیکی و مهندسی رسوب یا خاک برای تأمین یک رشته اهداف از پیش تعیین‌شده اطلاق می‌شود [۳] تثبیت خاک‌ها به روش‌های گوناگونی مانند مکانیکی، شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیک (رویاندن گیاه) و... امکان‌پذیر است [۴]. انتخاب نوع ماده تثبیت‌کننده به عوامل زیادی از قبیل جنس خاک و رسوبات ساحلی، شرایط جوی منطقه، میزان آمدوشد، هدف از انجام تثبیت خاک و هزینهٔ عملیات بستگی دارد. با توجه به این موارد، انجام آزمایش‌ها و بررسی‌های دقیق رسوبات و خاک منطقهٔ موردنظر ضروری است. در بسیاری از موارد انتخاب نادرست روش تثبیت نتایج نامناسب و افزایش هزینه‌های بلندمدت عمرانی را در بر داشته است [۳]. در حقیقت مفهوم خاک مسلح در اضافه نمودن عناصر مقاوم به رسوب و خاک برای بهبود خواص مکانیکی آن خلاصه می‌شود. البته این عناصر برای بالا بردن باربری خاک و رسوب لازم است خود از مقاومت کششی بسیار بالا، کرنش کم و دوام زیاد در محیط خاک برخوردار باشند. درنهایت، هدف از افزودن این عناصر، ایجاد خاکی چسبنده و دارای دانه‌های پیوسته است که بتواند با قرار گرفتن در زیر سازه، مقاومت باربری کل آن را افزایش دهد [۵]. برای عملیات تثبیت از مواد تثبیت‌کنندهٔ مختلفی مانند سیمان، آهک، قیر وکلروکلسیم استفاده می‌شود [۶-۱۰]. امروزه برای تثبیت خاک و رسوبات، افزون بر تثبیت‌کننده‌های سنتی، از تثبیت‌کننده‌هایی در ابعاد نانو نیز استفاده می‌شود. با استفاده از فنّاوری نانو مانند مواد نانو پلیمر نیز می‌توان ویژگی‌های مهندسی این نوع خاک را تغییر داد؛ زیرا ماده نانو پلیمر باعث کاهش قدرت جذب آب در خاک رس دار می‌شود [۱۱]. رزین، پلیمرها و نانو پلیمرها نیز موجب بهسازی خواص خاک‌ها و سواحل رسی-سیلتی می‌شود که با عنوان روش‌های شیمیایی غیرمتعارف شناخته می‌شوند [۱۲] در همین راستا برخی مطالعات انجام شده، نشان داد که مسلح سازی خاک با دو نوع الیاف مصنوعی به خاک در افزایش شیب هیدرولیکی بحرانی و مقاومت در مقابل رگاب و کاهش سرعت نشست مؤثر است[۱۳]. درنهایت، هدف از افزودن این افزودنی‌ها به رسوبات یا خاک یک منطقه، حصول اساس مناسب و چسبنده و دارای دانه‌های پیوسته است که بتواند با قرارگرفتن سازه روی آن، مقاومت باربری خوب و مناسبی داشته باشد[۴]. در این راستا، با توجه به گسترش روزافزون بندرها، اسکله‌ها، شهرهای ساحلی و اهمیت بسیار زیاد مسائل اقتصادی، نظامی، اجتماعی و... در سواحل رودخانه‌های متصل به آب‌های آزاد و دریاها و به‌تبع اجرای سازه‌ها و پروژه‌های ساحلی و همچنین پیشروی آب در سواحل آب‌های مرزی به داخل کشور و محافظت از سواحل به نظر می‌رسد که تثبیت این سواحل با مواد افزودنی (با توجه به صرف هزینه و زمان کمتر) نسبت تعویض خاک (با توجه به صرف هزینه و زمان زیاد) و آسیب نرساندن به محیط‌زیست در روش تثبیت نسبت به تعویض خاک از اهمیت ویژه و بسیار زیادی برخوردار است. در این میان، بررسی کیفیت مکانیک- عمرانی سواحل منطقهٔ آزاد اروند نیز با توجه به گسترش روزافزون بندرها، اسکله‌ها و سازه‌های ساحلی، ساحل‌سازی و لزوم گسترش سازه‌های عمرانی با کاربری مختلف در سواحل رودخانهٔ اروند متصل به آب‌های آزاد، بسیار مهم است. بنابراین هدف از پژوهش حاضر، پایش شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی، ریخت‌شناسی و دانه‌بندی سواحل منطقهٔ آزاد اروند و مقایسهٔ نتایج حاصل با رسوبات ساحلی ماهشهر است.

۲. مواد و روش‌ها

استان خوزستان با وسعتی معادل ۶۳۶۳۳/۶ کیلومترمربع بین ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقهٔ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجهٔ عرض شمالی از خط استوا در جنوب غربی ایران واقع شده است. از دیدگاه زمین‌شناختی و رسوب‌شناسی نیز منطقهٔ مورد مطالعه در زمرهٔ نهشته‌های جوان کواترنر شامل رسوبات مخروط‌افکنه‌ای، آبرفتی و بادرفتی است (شکل ۱).



شکل ۱. (الف) نمایی کلی از استان خوزستان و شهرهای ساحلی مورد مطالعه؛ (ب) محل نمونه‌برداری از رسوبات سواحل آبادان، خرمشهر و ماهشهر

نهشته‌های حوضهٔ نئوژن گروه فارس که سازندهای اولیهٔ رسوبات ساحلی جنوب غرب خوزستان را تشکیل می‌دهند، شامل سازندهای بیشتر تبخیری گچساران، میشان، آغاجاری، لهبری و بختیاری هستند[۱۴].

پس از تکمیل بانک اطلاعاتی موردنیاز، در مرحلهٔ دوم، پژوهش وارد فصل تازه‌ای مشتمل بر انجام پایش‌های میدانی برای انجام نمونه‌برداری در محدودهٔ آبادان-خرمشهر-ماهشهر شد. نکتهٔ مهم در این باب اینکه، در انجام نمونه‌برداری بدین مهم توجه شد که بانک نمونه کاملی برای

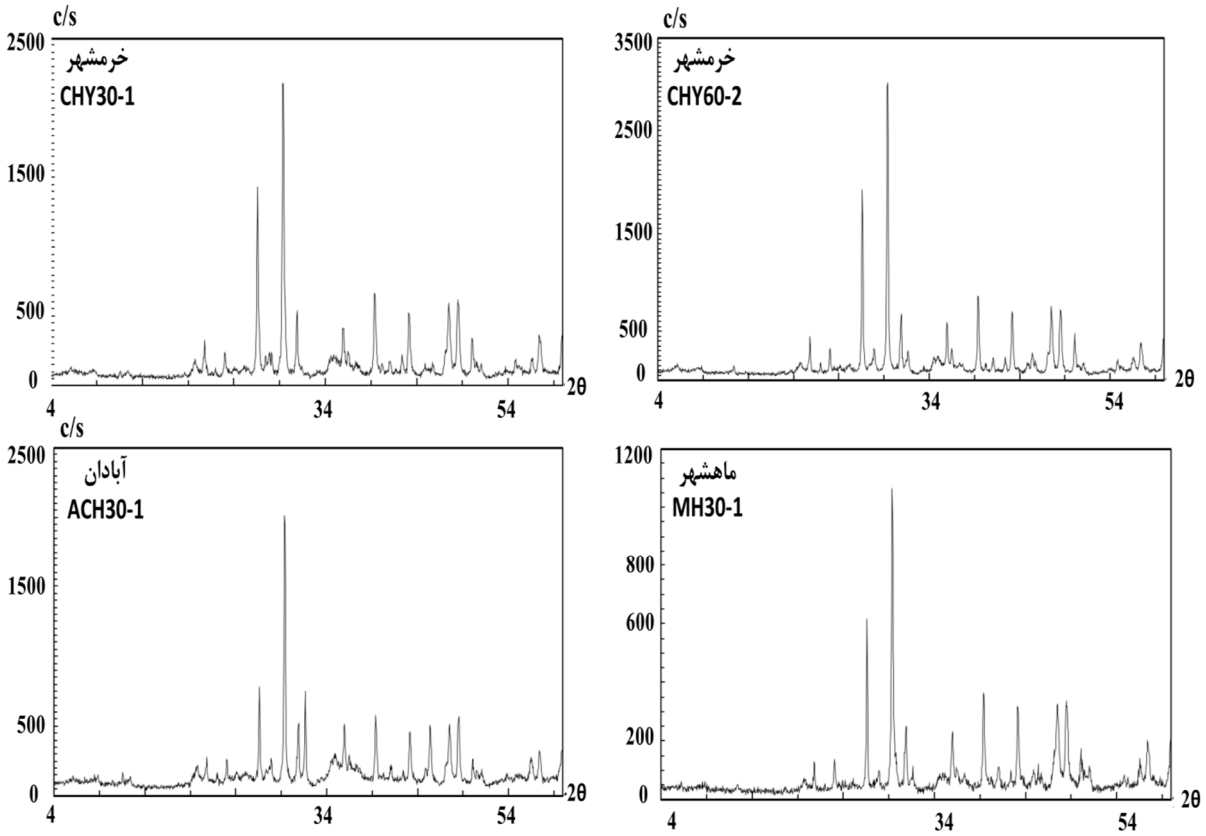
انجام مطالعات مختلفی مانند بررسی‌های زمین‌شیمی، کانی‌شناسی، ریخت‌شناسی و... تهیه شد. درنهایت تعداد ۲۰ نمونه برای بررسی شاخص‌های فیزیکوشیمیایی و سایر شاخص‌ها، از رسوبات ساحلی سه منطقهٔ خرمشهر، آبادان و ماهشهر برداشت شد. به‌منظور مقایسهٔ کامل و صحیح شاخص‌های مختلف مدنظر در رسوبات ساحلی مورد پایش، نمونه‌برداری از اعماق مختلف صورت پذیرفت (جدول ۱). در این راستا نمونه‌ها از دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری از سواحل گردآوری شد. در ادامه و پس از آماده‌سازی نمونه‌ها و به‌منظور بررسی‌های آزمایشگاهی در مجموع ۴۰ آنالیز مختلف انجام گرفت. ازاین‌رو در مطالعه‌ی فعلی تعداد ۱۰ نمونه رسوب برای آزمایش پراش پرتوایکس[1] به آزمایشگاه مرکزی شرکت کانساران بینالود ارسال شد و با استفاده از دستگاه فیلیپس مدل ۳۰۴۰ مورد آزمایش قرار گرفتند. علاوه براین، برای شناسایی ویژگی‌های ظاهری و ریخت‌شناسی ترکیبات مختلف به‌منظور تعیین کانی‌های غالب نیز از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی[2] استفاده شد[۱۵]. میکروسکوپ الکترونی روبشی ابزار مفیدی در رابطه با درک ویژگی‌های طبیعی مواد و متعاقب آن تعیین شکل، اندازه و ریخت‌شناسی ترکیبات کانیایی گوناگون، محسوب می‌شود [۱۶ و ۱۷]. بدین منظور ۱۰ نمونه رسوب از سه منطقهٔ مورد مطالعه در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز با میکروسکوپ الکترونی روبشی لئو (مدل VP۱۴۵۵) مورد آنالیز قرار گرفتند. همچنین ۱۰ نمونه رسوب برداشتی نیز با دستگاه دانه‌بندی لیزری[3] در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز، مورد آنالیز دانه‌بندی قرار گرفتند. در نهایت همهٔ نمونه‌های گردآوری‌شده، از منظر EC و PH آزمایش شد.

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های رسوب گردآوری شده از سواحل خرمشهر، آبادان و ماهشهر
(موقعیت نمونه‌ها در قالب سیستم مختصات جغرافیایی است)

محل نمونه‌برداری	مختصات گمانه		علامت اختصاری گمانه	علامت اختصاری نمونه	
	طول (شرقی)	عرض (شمالی)			
ماهشهر	۴۹۱۷۱۹	۳۰۴۶۰۳	MH-1	1-30	MH
				1-60	
ماهشهر	۴۹۱۶۷۰	۳۰۴۶۱۳	MH-2	2-30	MH
				2-60	
ماهشهر	۴۹۱۵۵۲	۳۰۴۶۲۱	MH-3	3-30	MH
				3-60	
خرمشهر	۴۸۱۰۴	۳۰۲۵۴۷	CHY-1	1-30	CHY
				1-60	
خرمشهر	۴۸۱۷۷۱	۳۰۴۳۰۴	CHY-2	2-30	CHY
				2-60	
خرمشهر	۴۸۱۶۵۳	۳۰۴۲۸۵	CHY-3	3-30	CHY
				3-60	
آبادان	۴۸۲۵۷۰	۳۰۳۸۲۹	ACH-1	1-30	ACH
				1-60	
آبادان	۴۸۲۷۹۵	۳۰۳۶۹۴	ACH-2	2-30	ACH
				2-60	
آبادان	۴۸۳۰۸۴	۳۰۳۴۹۸	ACH-3	3-30	ACH
				3-60	
آبادان	۴۸۳۰۷۵	۳۰۳۴۱۷	ACH-3	4-30	ACH

۳. نتایج و بحث

نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی نمونه‌های رسوب با استفاده از روش پراش پرتوایکس در جدول ۲ آورده شده است. داده‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که کانی‌های کلسیت و کوارتز در تمامی نمونه‌های مورد آزمایش به‌عنوان اجزا کانیایی اصلی حضور دارند. افزون بر این ترکیبات کانیایی آلبیت و موسکوویت-ایلیت نیز در ۹۰٪ نمونه‌های مورد آزمایش به‌عنوان فاز کانیایی اصلی قابل‌مشاهده هستند (شکل ۲).



شکل ۲. الگوی پراش پرتوایکس نمونه‌های رسوب مورد مطالعه

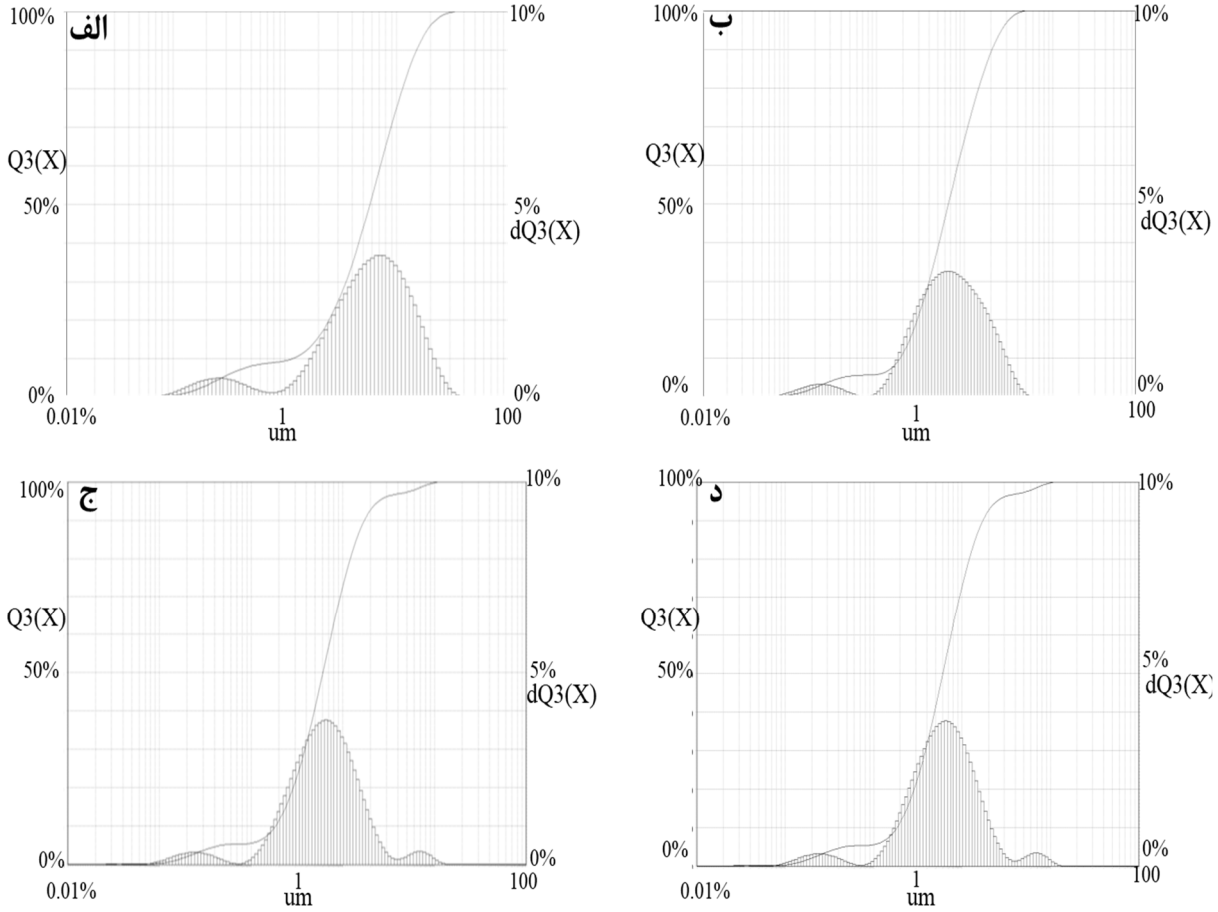
همچنین کانی‌هایی مانند دولومیت، در مبحث پایش‌های مکانیک خاک بسیار مؤثر است در فاز اصلی کانی‌شناسی رسوبات برداشتی، وجود دارد. کانی مسکوویت نیز که در تمامی فازهای اصلی وجود دارد، در ۹۰٪ نمونه‌های مورد مطالعه در فاز فرعی حاضر است (جدول ۲).

نتایج حاصل از آنالیز دانه‌بندی لیزری ۱۰ نمونه از رسوبات موجود در سه ساحل مورد مطالعه به روش لیزری، نیز در جدول ۳ آورده شده است (شکل ۳). نمونه‌ها با استفاده از دستگاه تجزیهٔ اندازهٔ ذرات برحسب میکرومتر (۵۳/۱-۰/۰۱ میکرومتر) آنالیز و بر اساس سه استاندارد Q10-Q90% Q50 تعریف شده و اندازهٔ ذرات مشخص شده است. نتایج ارائه‌شده نشان می‌دهد که پراکنش ذرات رسوبی در مراکز مورد مطالعه با وجود تفاوت نسبی در شرایط محیطی-جغرافیایی، میانگین اندازه‌ای تقریباً مشابهی دارند که این اندازه نیز فراوانی بالای ذرات رس و سیلت را نشان می‌دهد. البته پراکنش رس‌ها در نمونه‌ها نیز دیده می‌شود که این حضور در قریب به اتفاق نمونه‌ها به‌وضوح قابل‌مشاهده است. نکتهٔ دیگر اینکه؛ مهم‌ترین تمایز در پراکنش دانه‌بندی در سواحل را می‌توان در تغییر اندازه در دانه‌هایی برشمرد که دامنه‌ای در حدود ۱ تا ۲۱ میکرومتر را در بر می‌گیرند (شکل ۳).

جدول ۲. کانی‌شناسی نمونه‌های رسوب‌های برداشت‌شده از سواحل استان خوزستان

ردیف	شمارهٔ نمونه	فاز کانیایی اصلی	فاز کانیایی فرعی	فاز کانیایی کمیاب
1	CHY1-30	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، ارتوکلاز، کلریت	ژیپس
2	CHY2-60	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، ارتوکلاز، کلریت، هالیت	-
3	CHY3-30	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، ارتوکلاز، کلریت	ژیپس و هماتیت
4	ACH1-30	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، ارتوکلاز، کلریت، هالیت	ژیپس

ردیف	شمارهٔ نمونه	فاز کانیایی اصلی	فاز کانیایی فرعی	فاز کانیایی کمیاب
5	ACH2-60	کلسیت، کوارتز، موسکوویت-ایلیت	آلبیت، دولومیت، کلریت، ارتوکلاز	-
6	ACH3-30	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، هالیت، کلریت، ارتوکلاز	-
7	ACH4-60	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، هالیت، کلریت، ارتوکلاز	-
8	MH1-30	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، هالیت، کلریت، ارتوکلاز	-
9	MH2-60	کلسیت، کوارتز، آلبیت، موسکوویت-ایلیت	دولومیت، هالیت، کلریت، ارتوکلاز	-
10	MH3-30	کلسیت، کوارتز، آلبیت و دولومیت	موسکوویت، هالیت، ارتوکلاز	کلریت



شکل ۳. نمودار تجمعی اندازهٔ رسوبات برداشتی از محدوده‌های ساحلی آبادان (الف)، خرمشهر (ب)، و ماهشهر (ج و د)

در ادامه نیز شاخص‌های فیزیکوشیمیایی مانند EC و pH برای ۱۰ نمونه رسوب برداشت‌شده از سواحل جنوب غربی استان خوزستان، تعیین شد. این شاخص‌های فیزیکوشیمیایی، به‌صورت جزئی‌تر برای ۳ نمونه رسوب خرمشهر، ۴ نمونه رسوب ساحل آبادان (چوئبده) و ۳ نمونه رسوب سواحل ماهشهر محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۳. نتایج آنالیز اندازهٔ رسوبات ساحلی در خرمشهر، آبادان و ماهشهر

شمارهٔ نمونه	منطقهٔ مورد مطالعه	اندازهٔ ذرات (۵۳/۱-۰/۰۱ میکرومتر)		
		Q10%	Q50%	Q90%
CHY۳۰-۱	خرمشهر	۱/۴۱۷	۵/۷۲۳	۱۹/۸۱۴
CHY۶۰-۲	خرمشهر	۱/۸۵۹	۶/۵۷۱	۲۰/۶۶۸
CHY۳۰-۳	خرمشهر	۱/۲۳۱	۶/۰۵۳	۱۷/۱۱

شمارهٔ نمونه	منطقهٔ مورد مطالعه	اندازهٔ ذرات (۵۳/۱-۰/۰۱ میکرومتر)		
		Q10%	Q50%	Q90%
ACH۳۰-۱	آبادان	۱/۶۰۸	۵/۴۸۲	۱۷/۵۲۷
ACH۶۰-۲	آبادان	۱/۹۰۵	۶/۲۹۵	۱۸/۵۱۹
ACH۳۰-۳	آبادان	۱/۵۳۶	۶/۴۷۳	۲۰/۱۶۴
ACH۶۰-۴	آبادان	۱/۱۶۱	۵/۷۵۶	۱۵/۰۸۱
MH۳۰-۱	ماهشهر	۱/۷۳۵	۶/۱۶۹	۱۶/۳۳۶
MH۶۰-۲	ماهشهر	۱/۸۳۹	۶/۰۶۷	۱۷/۲۷۹
MH۳۰-۳	ماهشهر	۱/۸۰۴	۶/۳۹۵	۱۹/۰۸۳

جدول ۴. میزان شاخص‌های فیزیکوشیمیایی برای رسوبات ساحلی مورد مطالعه (لازم به توضیح است که pH واحد ندارد)

Sample	منطقه	EC (µmho/cm)	pH
CHY۳۰-۱	خرمشهر	۵/۱۵	۶/۹
CHY۶۰-۲	خرمشهر	۱۲/۲	۶/۳
CHY۳۰-۳	خرمشهر	۱۹/۴۴	۷/۴
ACH۳۰-۱	آبادان	۱۴/۱۳	۶/۹
ACH۶۰-۲	آبادان	۱۴/۱۳	۶/۲
ACH۳۰-۳	آبادان	۱۹/۹	۷
ACH۶۰-۴	آبادان	۲۳/۸	۷/۴
MH۳۰-۱	ماهشهر	۱۳/۳۵	۷/۴
MH۶۰-۲	ماهشهر	۱۳/۵۹	۷/۶
MH۳۰-۳	ماهشهر	۱۵/۰۵	۷/۳

هدایت الکتریکی آب[۴] یا کنداکتیویتهٔ آب، معرف قدرت یونی یک محلول برای انتقال جریان برق است. واحد هدایت الکتریکی آب موس بر سانتی‌متر[۵] است. برای بزرگ‌تر شدن و ملموس شدن بهتر این عدد از واحد میکرو موس بر سانتی‌متر[۶] استفاده می‌شود. هدایت الکتریکی آب خالص در دمای ۲۵ درجهٔ سلسیوس برابر با ۰/۰۵۶ میکروموس بر سانتی‌متر است. هدایت الکتریکی آب نشان‌دهندهٔ میزان املاح هادی موجود در آب است. واحد هدایت الکتریکی که آن را با EC نیز نمایش می‌دهند و واحد هدایت الکتریکی ویژهٔ آب میکرو موس بر سانتی‌متر است که در سیستم SI با میکرو زیمنس بر سانتی‌متر[۷] نمایش داده می‌شود. اغلب وقتی از واژهٔ "هدایت الکتریکی آب" استفاده می‌شود، منظور همان "هدایت الکتریکی ویژهٔ آب" است. با توجه به این که هدایت الکتریکی رابطهٔ مستقیمی با TDS و نمک‌های محلول در آب دارد، پس اندازه‌گیری آن به‌منظور کنترل کیفیت آب از اهمیت زیادی برخوردار است. اهمیت پارامتر یادشده در این است که سرعت خورندگی آب در شرایط یکسان با افزایش EC افزایش می‌یابد و با افزایش هدایت الکتریکی آب، درجهٔ یونیزاسیون نمک‌های آب کاهش می‌یابد.

یکی از راه‌های سادهٔ تعیین غلظت املاح محلول در آب، اندازه‌گیری هدایت الکتریکی است. آب مقطر یا آب خالص تقریباً هادی جریان الکتریسیته نیست؛ ولی اگر در آب‌نمک‌های محلول وجود داشته باشد، آب را هادی جریان الکتریسیته می‌کند. هر چه مقدار املاح حل‌شده در آب بیشتر باشد، قابلیت هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد.

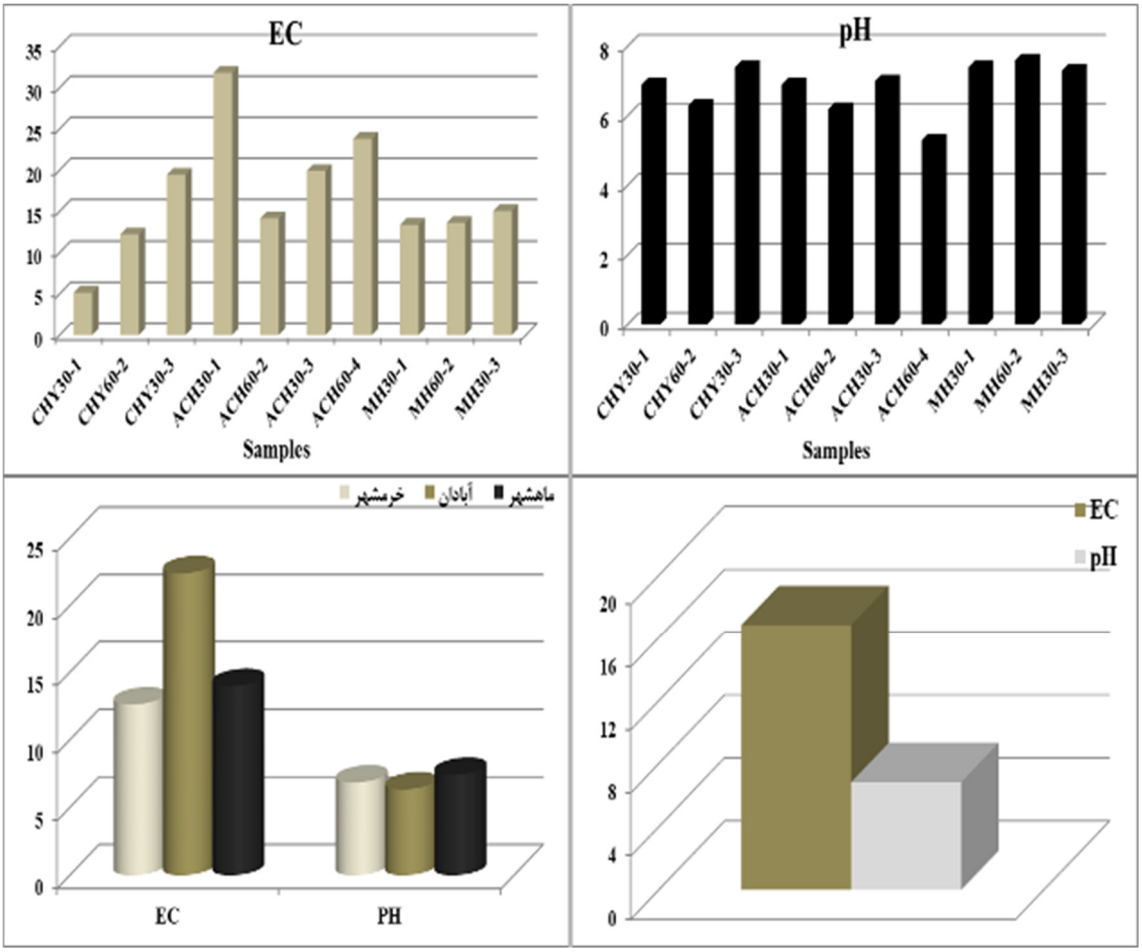
واحدهای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در سیستم متریک عبارت‌اند از:

- ✓ موس بر سانتی‌متر که به‌صورت EC نشان داده می‌شود؛
- ✓ میلی موس بر سانتی‌متر که به‌صورت ECx۱۰-۳ نشان داده می‌شود؛

- میکرو موس بر سانتی‌متر که به‌صورت ۶–۱۰ ECx نشان داده می‌شود.

در رابطه با سواحل مورد مطالعه نیز بررسی و تجزیه داده‌های حاصل نشان می‌دهد که EC در نمونه‌های مورد مطالعه در محدودهٔ ۵/۱۵ –۳۱/۸ قرار می‌گیرند (جدول ۴) که کمترین میزان EC متعلق به خرمشهر و بیشترین میزان نیز به رسوبات برداشتی از سواحل آبادان تعلق دارد (شکل ۴).

بررسی شاخص pH برای رسوبات مورد پایش نیز نشان از این واقعیت دارد که تمامی رسوبات مطالعه شده دارای pH ۶–۷/۲ هستند که حد نرمالی از اسیدیته را نشان می‌دهد (شکل ۴). بررسی میانگین شاخص‌های مورد مطالعه نیز به‌خوبی تأیید می‌کند که میانگین اسیدیته و هدایت الکتریکی رسوبات در سه ساحل بررسی شده به‌ترتیب کمتر از ۸ و ۲۰ است. درنهایت بررسی میزان شاخص‌های اندازه‌گیری شده تأیید می‌کند که رسوب متعلق به ساحل آبادان بیشترین میانگین EC را در میان رسوبات مطالعه شده نشان می‌دهد (شکل ۴). بالا بودن EC در برخی سواحل مورد مطالعه مانند سواحل آبادان نشان می‌دهد که سازندهای منشأ رسوبات مناطق یادشده، از نوع سازندهای تبخیری- نمکی با تمایل سولفاته هستند. اغلب ترکیب شیمیایی تبخیری در این سواحل احتمال افزایش خوردگی سازه‌های عمرانی را افزایش داده و لزوم بهره‌گیری از مواد تثبیت‌کننده با بنیان ضدسولفاته را دوچندان می‌نماید.

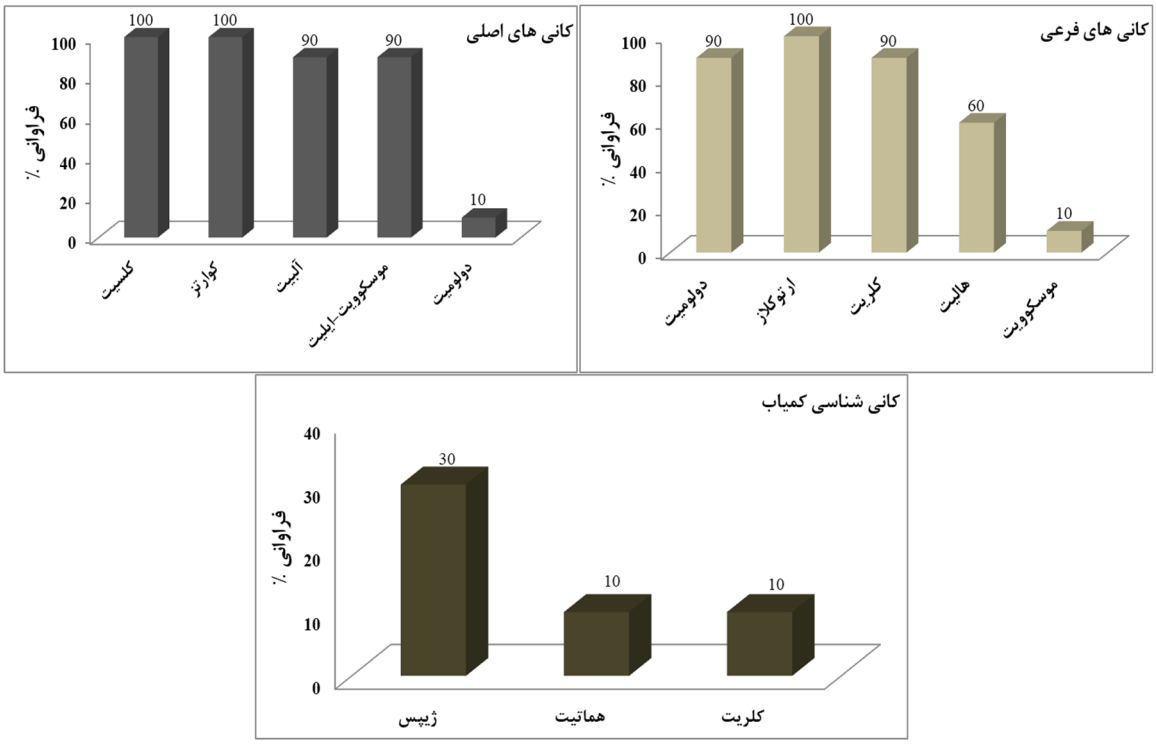


شکل ۴. EC و pH رسوبات مورد مطالعه (بالا)، میانگین EC و pH نمونه‌های رسوب به تفکیک مناطق مختلف نمونه‌برداری (پایین)

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های کانی‌شناسی رسوباتی که از سواحل مناطق مختلف گردآوری‌شده‌اند، می‌توان چنین استنباط نمود که کانی‌شناسی این سواحل به‌طور کلی در سه گروه عمدهٔ زیر جای می‌گیرند (شکل ۵):

* **گروه کانیایی کربنات**: کربنات‌ها با دو نماینده اغلب کلسیت و گاهی دولومیت در تمامی نمونه‌های آنالیز شده در فاز اصلی کانیایی حضور دارند که البته این حضور بیشتر به‌وسیلهٔ کلسیت نمایان شده است. فراوانی کانی‌های کربناته مانند کلسیت به‌طور عمده از ترکیب چینه‌شناسی رسوبات، سازندهای بالادستی و بستر رودخانهٔ کارون در مناطق مرکزی خوزستان ناشی می‌شود.

* **گروه کانیایی سیلیکات**: این دسته کانیایی که اغلب در قریب به اتفاق رخدادهای گردوغبار در گوشه و کنار جهان به‌عنوان یکی از اجزاء اصلی و جدایی‌ناپذیر رسوبات ساحلی همواره حضور داشته، در نمونه‌های آزمایش‌شده نیز با حضور کانی کوارتز در ۱۰۰ نمونه نمود یافته است.



شکل ۵. کانی‌شناسی فازهای اصلی، فرعی و کمیاب در سواحل مورد مطالعه

* **گروه کانی‌های رسی**: گروه کانیایی رس‌ها ازجمله اجزایی از رسوبات ساحلی هستند که بیشتر به‌صورت ترکیب غالب در فاز اصلی کانی‌شناسی مناطق مطالعه شده قابل‌مشاهده بوده‌اند. البته در پژوهش حاضر ترکیبات رسی که کانی ایلیت-موسکوویت و آلبیت نمایندگی آن‌ها را در فازهای اصلی کانیایی بر عهده دارد، در مجموع در ۱۰۰ درصد نمونه‌ها قابل‌مشاهده هستند. البته باید توجه داشت که تقسیم‌بندی کانی‌های موسکوویت و آلبیت در زمرهٔ ترکیبات رسی، در قالب تقسیمات مکانیک خاک انجام گرفته است. بدین صورت که تقسیم ذرات در مباحث مهندسی و مکانیک خاک بر اساس اندازه بوده و ذرات کوچک‌تر از ۲ میکرومتر را در گروه رس‌ها جای می‌دهد و بیشتر رفتارهای مکانیکال مشابهی نیز نشان می‌دهند. نکتهٔ دیگری که در این پژوهش در رابطه با کانی‌شناسی رسوبات، بدان پرداخته شد، پراکنش کانیایی در مکان‌های مختلف است. در این خصوص نیز پایش نتایج آزمایش‌های کانی‌شناسی نشان داد که پراکنش کانی‌های فاز اصلی و فرعی در رسوبات برداشت‌شده از سواحل شهرهای خرمشهر، آبادان و ماهشهر مشابهت بسیار بالا و تقریباً کاملی را نشان می‌دهد. با عنایت به پراکنش ۱۰۰٪ کانی‌های کربناته مانند کلسیت و دولومیت در رسوبات مورد مطالعه و با توجه به فراوانی بالای کانی هالیت و ژیپس که به‌طور میانگین، در ۶۰٪ فاز اصلی کانیایی رسوبات مورد آنالیز حضور دارند، بنابراین، به‌مانند نتایج تعیین EC، داده‌های حاصل از بررسی‌های کانیایی نیز تأیید می‌نماید که

در نظر داشتن افزایش احتمال خوردگی در سازه‌های عمرانی مستقر در سواحل، از الزامات است. افزون بر سازندهای تبخیری نظیر گچساران که به‌عنوان یکی از منشأهای رسوبات پایین‌دستی در سواحل جنوب و جنوب‌غربی خوزستان موردتوجه است، به احتمال فراوان، ترکیبات تبخیری موجود در آب دریا که با رسوبات ساحلی در تماس هستند را می‌توان از دلایل افزایش فراوانی کانی‌هایی نظیر ژیپس و هالیت در رسوبات دانست. در این راستا می‌توان به‌منظور کاهش پتانسیل خورندگی و تخریب بتن با ترکیبات تبخیری-سولفاته موجود در رسوبات، از روش‌های تثبیت و بهبود کیفیت با اساس سیمان-آهک یا سیمان-سیلیس بهره گرفت. در رابطه با ترکیب سیمان مورداستفاده نیز می‌توان سیمان ضد سولفاته یا سیمان آهنی را پیشنهاد نمود. همچنین بهره‌گیری از افزودنی‌هایی مانند میکروسیلیس نیز اثرگذار خواهد بود.

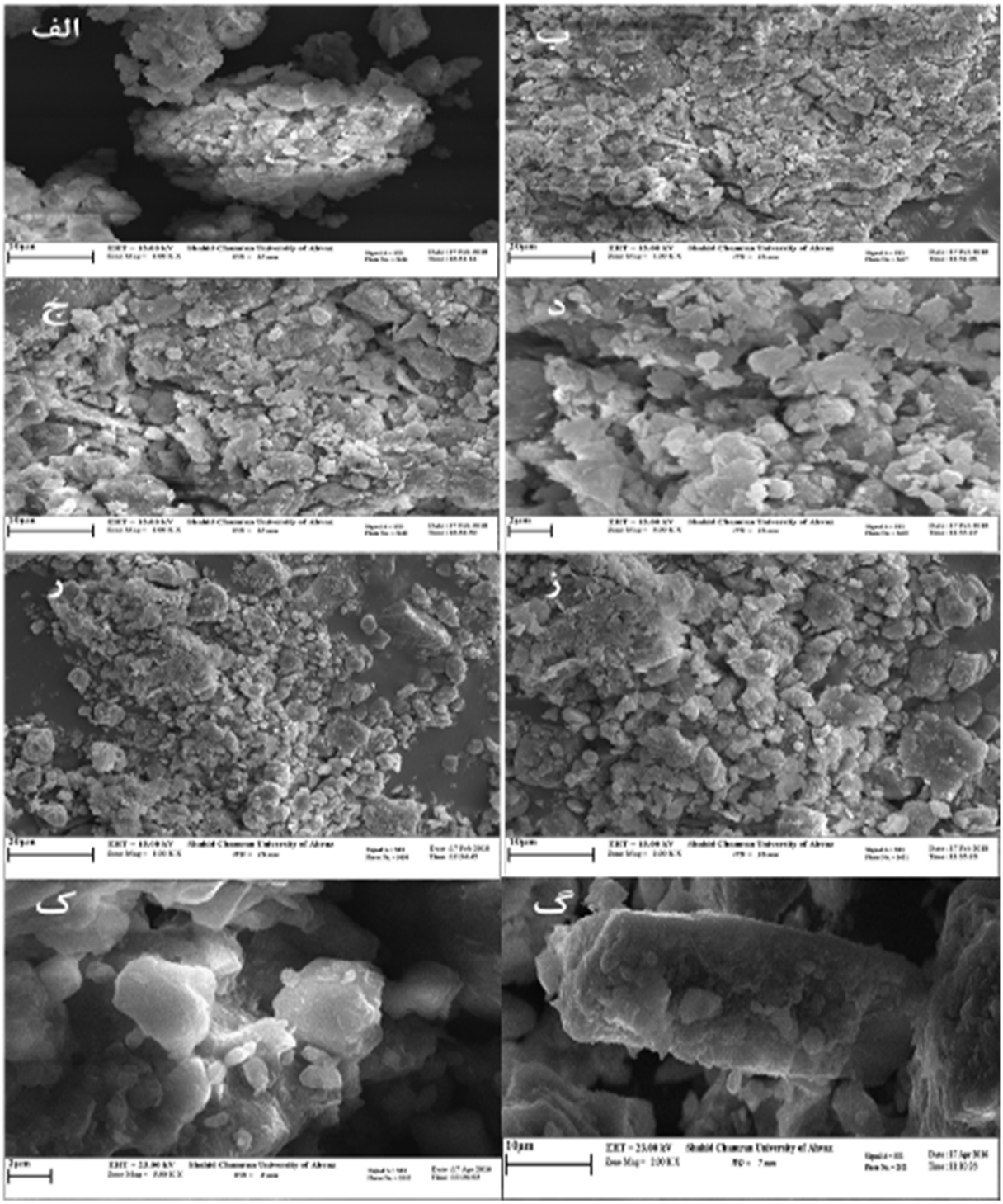
افزون بر بررسی‌های پراش پرتوایکس که به‌منظور مطالعهٔ کانی‌شناسی رسوبات ساحلی گردآوری‌شده، انجام گرفت، ریزریخت‌شناسی سواحل مورد مطالعه در شهرهای خرمشهر، آبادان و ماهشهر نیز با روش میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شد. نکته‌ی قابل‌توجهی که به هنگام پایش شاخص‌های فیزیکی رسوبات باید بدان توجه داشت، این مهم است که ترکیب کانی‌شناسی و تا حدودی ریخت‌شناسی رسوبات، متأثر از زمین‌شناسی مناطق مورد پایش است.

بر اساس پایش‌های آزمایشگاهی انجام پذیرفته در این باب، رسوبات مورد مطالعه از منظر ریخت‌شناسی طیف متنوعی از اشکال و رنگ‌ها را در بر می‌گیرند. در رابطه با ریخت‌شناسی رسوبات در نواحی مورد پایش، باید بدین مهم توجه داشت که در غبارات با کانی‌شناسی غالب کلسیت، کوارتز و هالیت، اغلب اشکال کروی و بلوری غالب هستند (شکل ۶).

بر اساس بررسی‌های انجام شده با میکروسکوپ الکترونی روبشی، کانی‌های کلسیت دارای فراوانی بالایی هستند. با توجه به احتمال منشأ بیولوژیک کلسیت در رسوبات ساحلی، اما تصاویری از خرده‌های اسکیت جانداران آبزی در میان رسوبات مورد مطالعه شده یافت نشد. شایان توجه است که در مطالعات میدانی و آماده‌سازی نمونه‌ها نیز خرده‌های اسکلتی مانند صدف در مقیاس قابل‌توجه یافت نشد.

در این راستا، نتایج کانی‌شناسی بررسی‌شده در مطالعهٔ [۱۸]، نشان داد که کانی‌های آواری سازنده رسوبات، شامل کوارتز، فلدسپار، مسکوویت، پیروکسن و کانی‌های رسی کائولینیت، کلریت، مونتموریلونیت، ایلیت، پالیگورسکیت است. کانی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی بیشتر شامل کلسیت، دولومیت و آراگونیت است. مقایسهٔ داده‌های حاصل از پژوهش حاضر با مطالعهٔ [۱۸]، نشان داد که کانی کلسیت و کانی‌های رسی را می‌توان از کانی‌های غالب در سواحل دانست. در طرف مقابل، فراوانی بالای کانی‌های سیلیکاته مانند کوارتز در مقایسه با رسوبات ساحلی خرمشهر، آبادان و ماهشهر با سواحل خلیج‌فارس[۱۸] را می‌توان ناشی از میزان بالای سیلیکات‌ها در سازندهای بالادست و ماهیت رودخانه‌ای سواحل مورد مطالعه دانست.

در این راستا باید توجه داشت که عواملی از قبیل شاخص‌های مورفولوژیکی، اقلیمی و اقیانوس شناختی تعیین‌کنندهٔ رسوب‌گذاری و تخریب آواری رسوبات در خلیج‌فارس و سواحل تابعه هستند[۱۹]؛ بنابراین تا حدود زیادی ویژگی‌های رسوب‌شناختی در سواحل خلیج‌فارس متفاوت‌تر از سواحل حوضه‌های رودخانه‌ای است. البته تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های جمع‌آوری‌شده، نشان‌دهندهٔ فراوانی رسوبات با ریخت‌شناسی کوچک است. البته افزون بر اشکال بیان‌شده، اشکال متنوع دیگری از قبیل ساختارهای غیرکروی، نامنظم، منشوری و لوزی شکل، از مهم‌ترین ریخت‌شناسی‌های موجود در رسوبات مورد مطالعه هستند. همچنین در این باب می‌توان تجمعات آگرگاتی و صفحه‌ای (شاخص کائولینیت) را به کانی‌های رسی، اشکال صفحه‌ای را به بلورهای کلسیت (شکل ۶) و ریخت‌شناسی منشوری-لوزی را به کانی‌های تبخیری نسبت داد (شکل ۶).

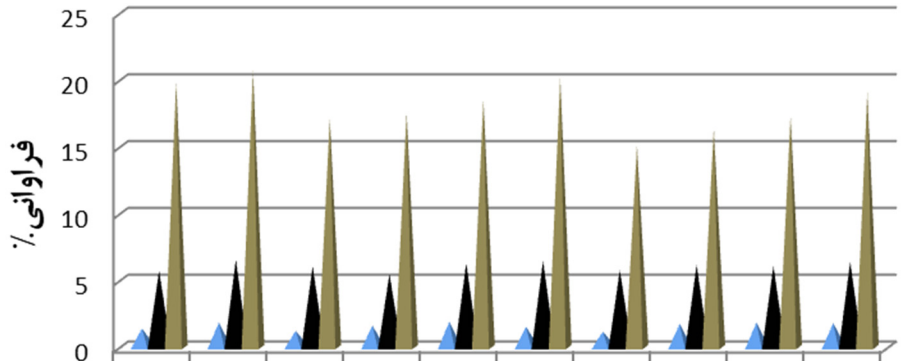


شکل ۶. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از بلورهای رسوبات (الف، ب، ج و د)؛ بلورهای رسی (ر، ز)؛ کلسیت (ک) و تبخیری (گ)

غالبیت دانه‌بندی کروی که ناشی از وفور ریخت‌شناسی کانی‌های رسی است، نشان‌دهندهٔ جورشدگی مناسب سواحل مورد مطالعه در بحث بهره‌گیری از روش‌های تثبیت است. همچنین ریزمورفولوژی کروی در این مناطق، اختلاط رسوبات ساحلی با مواد تثبیت‌کننده را تسهیل می‌کند، که این امر سبب افزایش بازدهی روش‌های تثبیت می‌شود. افزون براین مورفولوژی صفحه‌ای کانی‌های کلسیت نیز موجب افزایش بهره‌وری از ریخت‌شناسی کروی رس‌ها در مقولهٔ تثبیت سواحل شده است.

دانه‌بندی یکی از اساسی‌ترین و مهم‌ترین ویژگی ذرات رسوبی است که در فرسایش و تثبیت سواحل مؤثر است. تحلیل اندازهٔ دانه، ابزار مهمی برای طبقه‌بندی محیط‌های رسوبی است. محاسبهٔ آماری در این زمینه می‌تواند قابل‌توجه باشند اما فرایند آن دشوار است. بنابراین عرضه کردن تحلیل اندازهٔ دانه نشانهٔ مهمی در منشأ رسوب، تاریخچهٔ انتقال و شرایط فرسایش است[۲۰ و ۲۱].

از طرفی، دانه‌بندی رسوبات نیز از شاخص‌هایی است که نقش مهمی در بهبود شاخص‌های عمرانی- مکانیکال سواحل دارد، بنابراین بررسی این پارامتر نیز اهمیت زیادی دارد. به‌منظور بررسی دانه‌بندی رسوبات سه استاندارد Q10-Q50-Q90% مدنظر است. در این سه استاندارد Q10% بیانگر مد بوده که به معنای میزان ذراتی است که کوچک‌تر از ۱۰٪ (زیرخط Q10%) است و Q50% بیانگر میانه بوده و بیانگر ذرات کوچک‌تر از ۵۰٪ و Q90% مبین توزیع ذرات کوچک‌تر از ۹۰٪ است[۲۲]. نتایج ارائه‌شده نشان می‌دهد که پراکنش ذرات رسوبی در مراکز پایش شده با وجود تفاوت نسبی در شرایط محیطی- جغرافیایی، دارای میانگین اندازه‌ای تقریباً مشابهی هستند که این اندازه نیز فراوانی بالای ذرات رس و سیلت را نشان می‌دهد. البته پراکنش رس‌ها در نمونه‌ها نیز دیده می‌شود که این حضور در قریب به اتفاق نمونه‌ها به‌وضوح قابل‌مشاهده است. نکتهٔ دیگر اینکه مهم‌ترین تمایز در پراکنش دانه‌بندی منطقه را می‌توان در تغییر اندازهٔ دانه-هایی برشمرد که دامنه‌ای در حدود ۱ تا ۲۱ میکرومتر را در بر می‌گیرند (شکل‌های ۷).

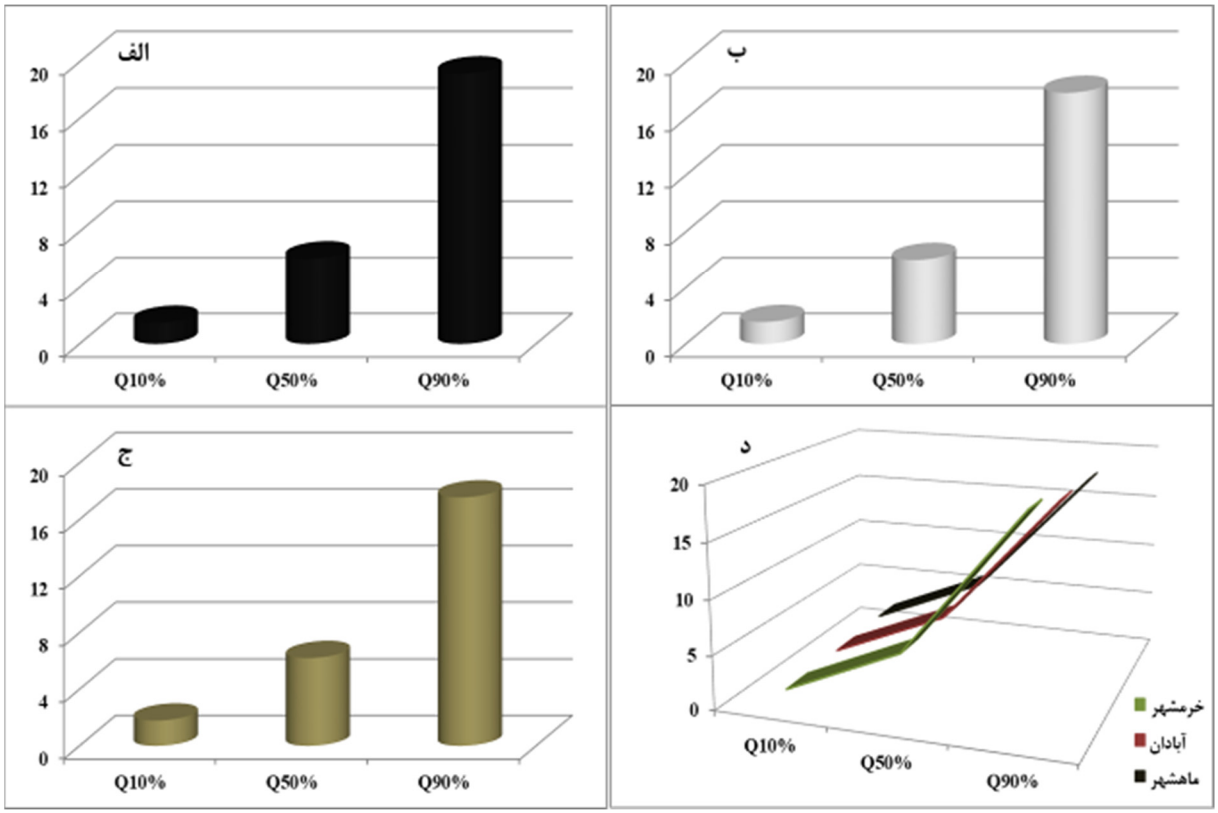


	CHY 30-1	CHY 60-2	CHY 30-3	ACH 30-1	ACH 60-2	ACH 30-3	ACH 60-4	MH3 0-1	MH6 0-2	MH3 0-3
Q10%	1.417	1.859	1.231	1.608	1.905	1.536	1.161	1.735	1.839	1.804
Q50%	5.723	6.571	6.053	5.482	6.295	6.473	5.756	6.169	6.067	6.395
Q90%	19.81	20.67	17.11	17.53	18.52	20.16	15.08	16.34	17.28	19.08

شکل ۷. نمودار Q10-Q50-Q90% در رسوبات مورد مطالعه

بررسی نتایج آنالیز دانه‌بندی نشان می‌دهد که میانگین اندازه و پراکنش رسوبات ساحلی در سه منطقهٔ مورد مطالعه، الگوی مشابهی را نشان می‌دهد (شکل ۸). همچنین بررسی میانگین Q10-Q50-Q90% در رسوبات مورد مطالعه نشان می‌دهد که میانگین دانه‌بندی در مناطق مختلف بسیار مشابه است و روند تقریباً یکسان را از Q10 تا Q90 نمایش می‌دهند (شکل ۸). البته به‌صورت جزئی‌تر و به‌منظور تفکیک سواحل از منظر منشأ دانه‌بندی رسوبات، بررسی میانگین حداکثری رسوبات (Q90%) نشان می‌دهد که رسوبات سواحل خرمشهر و آبادان با میانگین تقریبی ۱۹ میکرومتر، پراکنش دانه‌بندی یکسانی را نشان می‌دهند. بر اساس[۲۳]، منشأ رسوبات ساحلی این مناطق را اغلب سازندهای آهکی‌تبخیری و ماسه‌های کوارتزی مرکز و شمال خوزستان تشکیل می‌دهند؛ بنابراین دلیل اصلی شباهت دانه‌بندی در سواحل خرمشهر و آبادان را می‌توان ناشی از مسافت مشابه انتقال رسوبات، دبی و سرعت جریان مشابه در رودخانه دانست. از سوی دیگر میانگین حداکثری دانه‌بندی در سواحل ماهشهر با میانگین اندازهٔ تقریبی ۱۷ میکرومتر، مبین ریزدانه بودن رسوبات در سواحل این منطقه

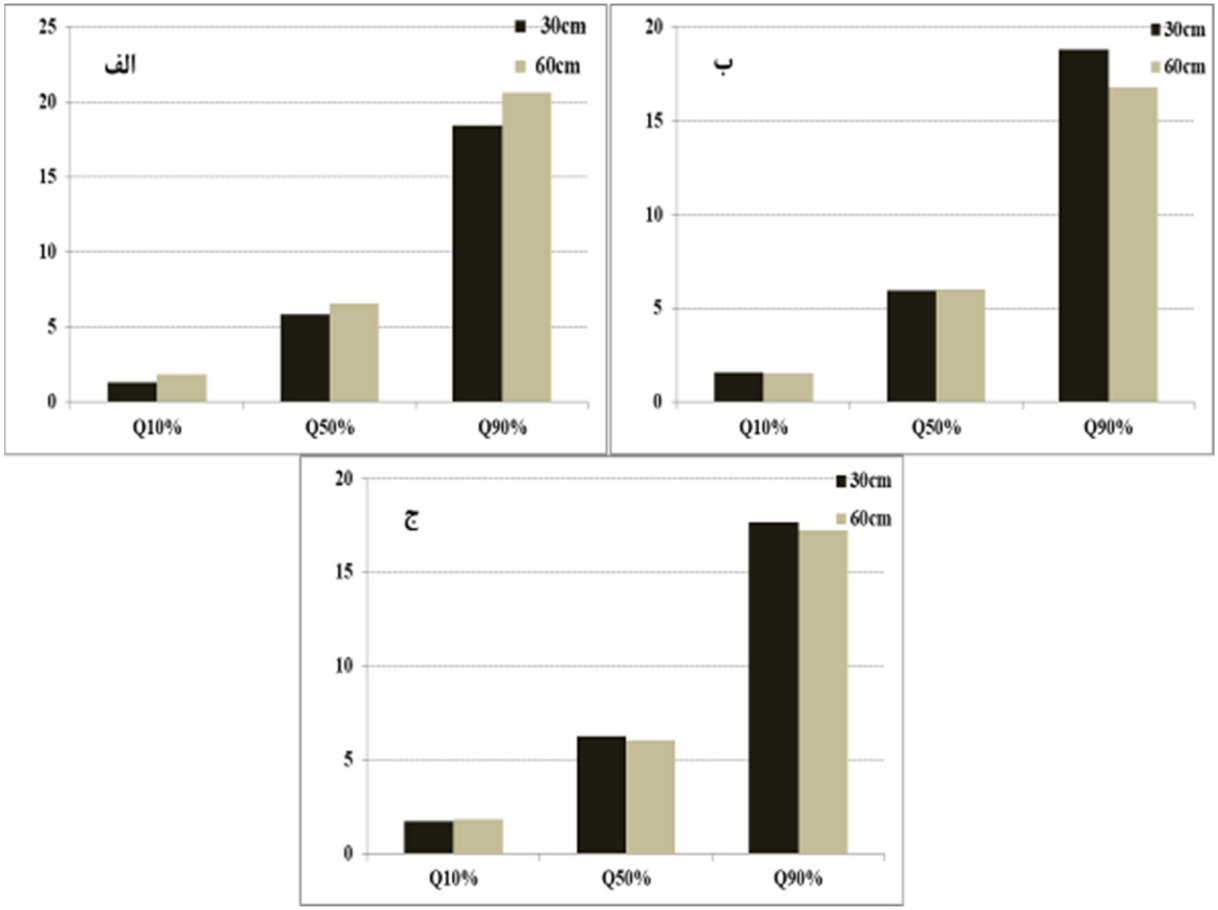
است که این امر را می‌توان ناشی از مسافت طولانی انتقال رسوبات و غالبیت ذرات ریزدانه، گستردگی بستر رودخانه در مصب خلیج‌فارس، ته‌نشینی ذرات درشت و متوسط دانه در مسیر جریان دانست.



شکل ۸ نمودار میانگین Q10-Q50-Q90% به تفکیک در رسوبات خرمشهر (الف)، آبادان (ب) و ماهشهر (ج). مقایسهٔ میانگین Q10-Q50-Q90% در سواحل خرمشهر، آبادان و ماهشهر (د)

درنهایت با توجه به اهمیت مطالعهٔ عمقی رسوبات ساحلی در نیمرخ‌های عمودی به‌منظور بررسی تغییرات شاخص‌های فیزیکوشیمیایی در سواحل مورد پایش، دانه‌بندی رسوبات در سه ساحل خرمشهر، آبادان و ماهشهر در دو عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری با یکدیگر مقایسه شدند. بررسی‌های انجام‌شده نشان از این واقعیت دارند که محدودهٔ دانه‌بندی رسوبات مورد مطالعه، در اعماق مختلف مشابهت بسیار بالایی با یکدیگر دارند (شکل ۹).

در کل بررسی محدودهٔ غالب دانه‌بندی رسوبات در سه منطقهٔ خرمشهر، آبادان و ماهشهر تأیید می‌کند که رسوبات در نواحی مورد پایش در بازهٔ کوچک‌تر از ماسه ریزدانه قرار می‌گیرند که این امر نشان می‌دهد که بهره‌گیری از مواد تثبیت‌کننده با دانه‌بندی متوسط و درشت به احتمال فراوان بازده بهتری را داشته باشد. همچنین یکسان بودن تقریبی رنج دانه‌بندی در سواحل موردبررسی، نشان از جورشدگی بالای رسوبات با مواد تثبیت‌کننده‌ای نظیر میکروسیلیس و سیمان-آهک دارد.



شکل ۹. میانگین Q10-Q50-Q90% در رسوبات متعلق به اعماق مختلف در سواحل خرمشهر (الف)، آبادان (ب) و ماهشهر (ج)

٤. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه نمود:

- ✓ EC در نمونه‌های مورد مطالعه در محدودهٔ ۵/۱۵ -۳۱/۸ قرار می‌گیرند که کمترین میزان EC متعلق به خرمشهر و بیشترین میزان نیز به رسوبات برداشتی از سواحل آبادان تعلق دارد؛
- ✓ بالا بودن EC در برخی سواحل مورد مطالعه مانند سواحل آبادان نشان می‌دهد که سازندهای منشأ رسوبات مناطق یادشده، از نوع سازندهای تبخیری- نمکی با تمایل سولفاته هستند که احتمال افزایش خوردگی سازه‌های عمرانی را افزایش می‌دهد؛
- ✓ کانی‌شناسی سواحل به‌صورت کلی در سه گروه عمدهٔ کربنات، سیلیکات و رسی جای می‌گیرند؛
- ✓ پراکنش ۱۰۰٪ کانی‌های کربناته مانند کلسیت و دولومیت، فراوانی بالای کانی هالیت و ژیپس، همچنین بالا بودن میزان EC، احتمال خوردگی در سازه‌های عمرانی را افزایش می‌دهد. در این راستا می‌توان به‌منظور کاهش پتانسیل خورندگی و تخریب بتن با ترکیبات تبخیری- سولفاته موجود در رسوبات، از روش‌های تثبیت و بهبود کیفیت با اساس سیمان-آهک یا سیمان-سیلیس، همچنین سیمان ضدسولفاته یا سیمان آهنی بهره گرفت؛
- ✓ ریزمورفولوژی کروی در این مناطق، اختلاط رسوبات ساحلی با مواد تثبیت‌کننده را تسهیل می‌کند که این امر سبب افزایش بازدهی روش‌های تثبیت می‌شود. افزون براین مورفولوژی صفحه‌ای کانی‌های کلسیت نیز موجب افزایش بهره‌وری از ریخت‌شناسی کروی رس‌ها در مقولهٔ تثبیت سواحل شده است.

- در کل بررسی محدودهٔ غالب دانه‌بندی رسوبات در سه منطقهٔ خرمشهر، آبادان و ماهشهر تأیید می‌کند که رسوبات در نواحی مورد پایش در بازهٔ کوچک‌تر از ماسه ریزدانه و به‌صورت جزئی‌تر در زیرگروه رس و سیلت قرار می‌گیرند که این امر نشان می‌دهد که بهره‌گیری از مواد تثبیت‌کننده با دانه‌بندی متوسط و درشت به احتمال فراوان بازده بهتری را داشته باشد. افزایش دانه‌بندی ریز در رسوبات ساحلی در خوزستان را می‌توان به غالب بودن ترکیبات تبخیری و کربناته و مقاومت کمتر این کانی‌ها در برابر خردشدگی و کاهش اندازه نسبت داد.

مراجع

[1] Bhattacharja SA, Bhatty JI, Todres HA. Stabilization of clay soils by Portland cement or lime–a critical review of literature. PCA R&D Serial. 2003; 60(1):124-33.

[2] Moh ZC. Reactions of soil minerals with cement and chemicals. Highway Research Record. 1965; 86(1): 1-13.

[۳] مقدس‌نژاد فریدون، مدرس امیر. تثبیت خاک با استفاده از سیمان آب‌زدا جهت استفاده در پروژه‌های راه‌سازی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر. ۱۳۸۹؛ ۴۲(۱): ۵۵-۶۳.

[۴] طاهر خانی حسن، سلامی حامد. مقایسهٔ تثبیت‌کننده‌های آهک و سیمان و PLUS CBR برای خاک رس.[یادداشت پژوهشی] مهندسی حمل‌ونقل. ۱۳۹۲؛ ۵(۲):۲۷۴-۲۶۳.

[۵] اوحدی وحیدرضا، امیری محمد. حمیدی صلاح‌الدین. بهسازی خاک‌های واگرا با آهک با نگرش ویژه به کاهش شدت قله‌های اصلی کانی‌های رسی در پردازش پرتوایکس. مجلهٔ علمی– پژوهشی عمران مدرس. ۱۳۹۳؛ ۱۴(۲):۱۳-۲۵.

[۶] باقر نادری سید محمدباقر، بازیار محمدحسین، روشن‌ضمیر محمدعلی. بررسی الیاف و چسب‌های پلیمری روی خواص مکانیکی خاک. ارائه شده در: اولین کنگرهٔ ملی مهندسی عمران؛ ۱۳۹۳اردیبهشت ۶ - ۷؛ سمنان، ایران.

[۷] روح‌بخشان آرمین،کلانتری بهزاد. تثبیت خاک رس با آهک و پودر ضایعات سنگی. نشریهٔ علمی پژوهشی امیرکبیر، مهندسی عمران و محیط‌زیست. ۱۳۹۵؛۴۸ (۴): ۴۲۹ -۴۳۸.

[۸] سلطان نژاد خالد، رئیسی استبرق علی، عبدالهی بیک جمال، امیدی محمدحسین. بهسازی خاک در برابر رگاب با استفاده از الیاف مصنوعی. تحقیقات آب‌وخاک ایران. ۱۳۹۲؛ ۴۴ (۳): ۳۶۳- ۳۶۹.

[۹] عاطفی‌فر مسعود، خیری مسعود، داودی سعید، آزاد فلاح علی، بهنیا سعید. مروری اجمالی بر مهم‌ترین روش‌های بهسازی و تثبیت خاک‌های مختلف. ارائه شده در: دومین کنفرانس و همایش بین‌المللی مهندسی عمران، معماری، برنامه‌ریزی شهری و محیط پایدار؛ ۱۳۹۵ خرداد ۱۳؛ ترکیه، استانبول.

[۱۰] قاسمی اسفندیار، سلطانی امیر، رئیسی استبرق علی. امیدی محمدحسن. بررسی آمار و آزمایشگاهی بهسازی یک خاک رس با استفاده از افزودنی شیمیایی. تحقیقات آب‌وخاک ایران. ۱۳۹۵؛ ۴۷ (۱): ۱۱۹-۱۲۸.

[۱۱] مرندی سیدمحمد، صفاپور پرویز. تثبیت لایهٔ اساس با استفاده از تکنولوژی نوین سیمان و امولسیون (مطالعات موردی احداث راه اصلی دوغارون - هرات افغانستان). پژوهشنامهٔ حمل‌ونقل.۱۳۹۲؛ ۳ (۲): ۱۲۳-۱۴۰.

[۱۲] تیموری اسمعیل، تیموریان سری موسی. تثبیت خاک و مصالح شنی با آهک در طرح روسازی. ماهنامهٔ بین‌المللی راه و ساختمان. ۱۳۹۳؛ ۹۷ (۱):۱۲-۱۹.

[۱۳] طاهرخانی حسن. بررسی و مقایسهٔ مقاومت فشاری خاک‌های رسی تثبیت‌شده با سیمان، آهک و نانوپلیمر CBRPL US. مجلهٔ علمی -پژوهشی عمران مدرس. ۱۳۹۵؛ ۱۶ (۴):۱۶۱-۱۷۳.

[14] Zarasvandi A, Carranza EJ, Moore F, Rastmanesh F. Spatio-temporal occurrences and mineralogical–geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran). Journal of geochemical exploration. 2011; 111(3):138-51.

[15] Fandrich R, Gu Y, Burrows D, Moeller K. Modern SEM-based mineral liberation analysis. International Journal of Mineral Processing. 2007; 84(1-4):310-20.

[16] Ersoy O. Surface area and volume measurements of volcanic ash particles by SEM stereoscopic imaging. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2010;190 (3-4):290-6.

[17] Yao N, Wang ZL, editors. Handbook of microscopy for nanotechnology. 2nd ed. Boston: Kluwer academic publishers; 2005. p. 119-62.

[۱۸] لک راضیه، تقی‌زاده مجتبی. بررسی رخساره‌های رسوبی هولوسن و تعیین نرخ رسوب‌گذاری در شمال خاور خلیج‌فارس (مطالعهٔ موردی: جنوب بندرعباس). مجلهٔ علمی‌پژوهشی علوم زمین. ۱۳۹۳؛۹۴(۳):۱۸۳-۱۹۲.

[19] Purser B.H. The Persian Gulf: Holocene Carbonate Sedimentation and Diagenesis in a Shallow Epicontinental Sea. 1st edition. Tehran: geosience publishers; 1973. p. 351-427.

[20] Ward WC. Brazos River bar: A study in the significance of grain-size parameters. Journal of Sedimentary Research. 1957; 27(1):3-26.

[21] Bui EN, Mazzullo JM, Wilding LP. Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between Aeolian and fluvial deposits in the Dallol Bosso of Niger (West Africa). Earth Surface Processes and Landforms. 1989;14(2):157-66.

[22] Ghiasi khalaf R. Distribution and geochemical source of street dust in Asaluyeh petrochemical complex (one of the petrochemical complex in Asaluyeh) [disseration]. Ahvaz: Shahid Chamran University of Ahvaz; 2016.

[۲۳] زراسوندی علیرضا. ارزیابی زیست‌محیطی پدیدهٔ گردوغبار در استان خوزستان- فاز اول. اهواز: سازمان محیط‌زیست استان خوزستان؛ ۱۳۸۸بهمن‌ماه. ۳۵۰ صفحه.

پی‌نوشت

1. X Ray Diffraction (XRD)
2. Scanning Electron Microscope (SEM)
3. Laser Particle Sizer (LPSA)
4. Electrical conductivity
5. mho/cm
6. µmho/cm
7. µSiemens/cm