

تغییرات تراز آب دریای خزر در حدود ۲۶۰۰ پیش و دوره سرد کوتاه (Little Ice Age) و اثرهای آن بر سواحل ایران

عطا عبداللهی کاکرودی* - دانشکده جغرافیا، گروه سنجش از راه دور و جی ای اس

پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۰۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۸/۰۶

چکیده

از ویژگی‌های منحصربه‌فرد دریای خزر تغییرات سریع تراز آن نسبت به تراز دریاهای آزاد است. این تغییرات سریع بین سال‌های ۱۹۲۹-۱۹۹۵ به وسیله ایستگاه‌های اندازه‌گیری تراز آب و از سال ۱۹۹۲ به وسیله داده‌های آلتی‌متری با دامنه در حدود سه متر به ثبت رسیده و اثرهای درخور توجهی در مورفولوژی ساحل داشته است. با وجود این، آثار تغییرات تراز پیش از ثبت تراز آب مبهم است و نتایج گوناگونی ارائه شده است. بنابراین، پیش‌بینی تراز بسیار پیچیده و اغلب با اشتباه توأم است. بر اساس داده‌های رادیو کربن به‌دست‌آمده از مناطق مختلف دریای خزر، دو دوره را می‌توان در اواخر هولوسن تفکیک کرد که در مورفولوژی دریای خزر اثرهای بسیار مهمی به‌جا گذاشته‌اند. این دو دوره تقریباً منطبق بر دوره‌های سردند و به عنوان دوره‌های سرد ۲۶۰۰ سال پیش و دوره سرد کوتاه در اروپای شمالی شناخته می‌شوند. در این مطالعه سعی شده است اثرهای دو دوره با استفاده از داده‌های میدانی، عکس‌های هوایی، و نتایج رادیو کربن از مناطق مختلف دریای خزر بررسی شود. نتایج نشان می‌دهد سواحل شرقی به دلیل شرایط توپوگرافی و مورفولوژی بیشتری تأثیر را در برابر افزایش تراز در دو دوره سرد هولوسن داشته است.

کلیدواژه‌ها: پیشروی و پسروی، تغییرات سریع دریای خزر، دریای خزر، دلتای سفیدرود.

مقدمه

دریای خزر، به لحاظ مورفولوژی و عمق، به سه بخش شمالی، میانی، و جنوبی تقسیم می‌شود (شکل ۱). دریای خزر از گذشته دور تا کنون تغییرات بسیار زیادی به لحاظ وسعت و گسترش داشته است. در سواحل داغستان در دوره خوالین دو فاز پیشروی با ارتفاع مطلق بین ۰ و ۵۰ متر شناسایی شده است (کرونبرگ و همکاران، ۱۹۹۷). بنابراین، بیشتر جلگه ساحلی کنونی تحت سیطره تراز این دوره قرار داشت. در حالی که کاهش شدید تراز آب بین هولوسن و پلیوستوسین تا ۱۱۰- گزارش شده است؛ این موضوع می‌تواند سبب گسترش جلگه ساحلی شود (کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۵). چنین تغییرات حیرت‌انگیزی توجه بسیاری از محققان جهانی را به خود جلب کرده است؛ به همین سبب، از آن به «تغییرات

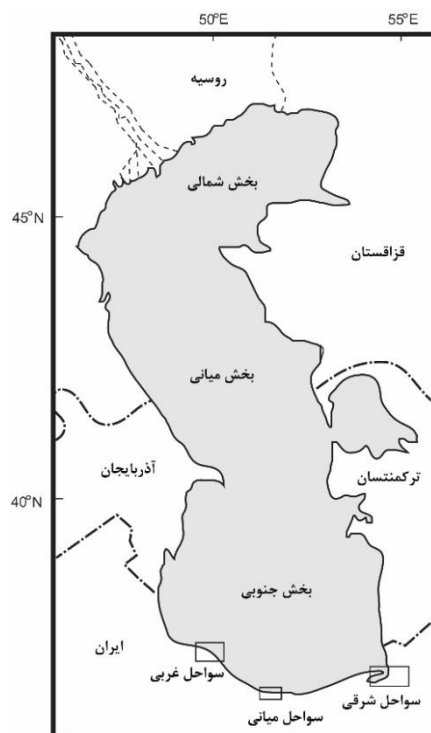
* E-mail: a.a.kakroodi@ut.ac.ir

خیالی تراز آب» نام برده‌اند (کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۷). تغییرات اخیر تراز دریای خزر نیز همه را غافل‌گیر کرد. در حالی که بر اساس اندازه‌گیری تایید^۱ گیج باکو بین سال‌های ۱۸۵۰ و ۱۹۲۹ میلادی تراز دریا در حدود ۲۵- قرار داشت تا سال ۱۹۷۷ در حدود سه متر کاهش نشان می‌دهد و در حالی که همه محققان نگران افت نسبتاً شدید تراز آب بودند و پیامدهای سنگینی- از جمله بر تأسیسات صنعتی و بندری- تحمیل کرد، ناگهان و طی مدت هجده سال تراز آب افزایش در حدود سه‌متری را تجربه کرد و خسارت سنگینی به‌ویژه در مناطق کم‌شیب تحمیل نمود (کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۵).

تغییرات تراز گذشته دریای خزر بسیار پیچیده و مبهم است. مطالعات تراز آب در بخش‌های مختلف از طریق نمونه‌برداری از دریای خزر هم در بخش ساحل هم در بخش عمیق دریای خزر نوسانات شدید تراز آب را نشان می‌دهد (بومر و همکاران، ۲۰۰۵؛ کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ لروی و همکاران، ۲۰۱۴؛ کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۵).

پنج چرخه و نوسان تراز آب در اواخر هولوسن از حدود ۳۶۰۰ سال پیش در سواحل شرقی شناسایی شده‌اند که ماکزیمم تراز آن در حدود ۲۲- پایین تراز آب‌های آزاد قرار دارد (کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۵).

گذشته دریای خزر به سبب ماهیت تعیین سن مطلق (میزان خطا) و مشکلاتی که در تصحیحات آن وجود دارد نتایج قطعی ارائه نمی‌دهد (زبابکف و برزنکف، ۱۹۹۰؛ ریچاکف، ۱۹۷۷، ۱۹۹۷) و اغلب با نتایج متفاوت گزارش شده است. با وجود این، مطالعات و مقالات منتشرشده اخیر در بخش‌های مختلف دریای خزر تصویر بهتری از دریای خزر و تغییرات تراز آن ارائه می‌دهد (لاهیجانی و همکاران، ۲۰۰۹؛ لروی و همکاران، ۲۰۱۳؛ نادری و همکاران، ۲۰۱۳؛ کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۴(a,b)؛ رضانی و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۱. دریای خزر در سه بخش شمالی، میانی، و جنوبی و مناطق مورد مطالعه: سواحل شرقی، میانی، و غربی

در پژوهش حاضر تلاش شده به دو تغییرات تراز دریای خزر در هولوسن- که تأثیرات عمده‌ای در سواحل ایران داشته است- پرداخته شود. در بخش سواحل روسیه ناحیه داغستان تأثیر این دو تراز بررسی شده است (کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۷). زمان آغاز این تراز در حدود ۲۶۰۰ سال پیش و تا حدود ۲۳۰۰ سال پیش ادامه داشته است. اما در بخش سواحل ایرانی مطالعه‌ی جامعی تاکنون انجام نشده است. مطالعات انجام‌گرفته کنونی در سواحل ایران به دلیل کمبود داده‌های مربوط به تعیین سن هنوز کامل نیست، با وجود این، تلاش‌هایی برای رفع این مشکل انجام گرفته است (کاکرودی، ۲۰۱۲a).

مواد و روش‌ها

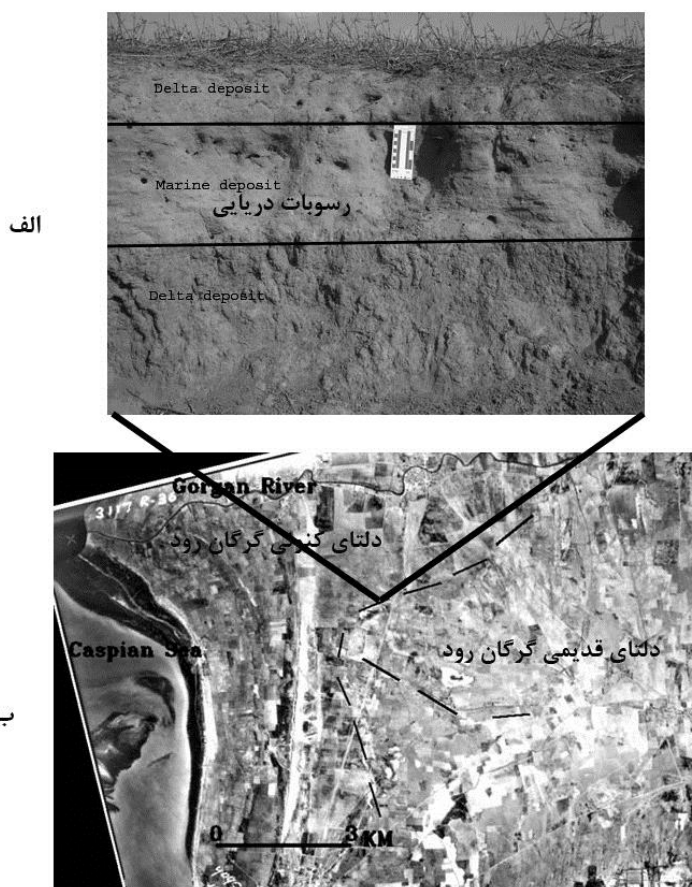
در این تحقیق از نتایج تعیین سن مطلق به روش کربن ۱۴، عکس‌های هوایی، و داده‌های میدانی استفاده شده است. تقریباً در همه بخش‌های مختلف جنوب دریای خزر نمونه‌برداری و تعیین سن هرچند به صورت محدود انجام گرفته است. اگرچه هنوز داده‌های بیشتری مورد نیاز است تا تصویر دقیق‌تری ارائه شود. یکی از موارد بسیار حیاتی و مهم برای تعیین سن، نمونه‌برداری از محیط‌های دریایی است که تحت شرایط محیط نابر جا قرار نداشته باشد؛ در غیر این صورت نتایج بسیار گمراه‌کننده خواهد بود. محیط‌هایی که از تأثیر مستقیم امواج به دورند و شرایط محیطی آرامی را برای موجودات فراهم می‌کنند نمونه‌برداری و نتایج سن‌سنجی آن‌ها نتایج معتبری را فراهم می‌سازد. از طرف دیگر، اندازه‌گیری ارتفاع تراز سواحل قدیمی نیز ممکن است به شیوه‌های مختلف از جمله نقشه‌های توپوگرافی، دوربین‌های ترازبایی، GPS، و DGPS انجام گیرد. استفاده از تراز ارتفاعی مطلق و یکسان قضاوت کلی در بازسازی تراز دریای خزر را امکان‌پذیر می‌سازد. اندازه‌گیری ارتفاعی در این تحقیق به وسیله DGPS انجام گرفته است؛ در غیر این صورت نحوه اندازه‌گیری ذکر می‌شود. جدول ۱ نتایج سن‌سنجی با ارتفاع مطلق آن‌ها را در سه بخش - سواحل شرقی، میانی، و غربی ایران- نشان می‌دهد.

جدول ۱. تعیین سن مطلق در بخش‌های مختلف دریای خزر

Sample ID and reference	Elavation	Depth (m)	d13C (&)	¹⁴ C age (BP)
Co 11, ۲۰۱۲ا کاکرودی،	۲۲/۶	۱/۶		2380± 35
Gm 6, ۲۰۱۲ا کاکرودی، سواحل شرقی	-۲۰/۶۱	۲/۶	-	۶۵۰ ± ۳۰
Agh 4, ۲۰۱۲ا کاکرودی،	-۲۳/۰۲	۲/۱	-۸/۰۱	۲۳۰۳ ± ۳۰
Cho 7, ۲۰۱۲ا کاکرودی،	-۲۴/۱۶	۳/۳۴	-۰/۶۹	۹۵۶ ± ۲۴
LR, ۲۰۰۹، همکاران، لاهیجانی و همکاران،	-۲۲	۳	-۰/۶	۲۳۸۰± ۵۰
Poz-30614, ۲۰۱۶، همکاران، رضانی و همکاران، سواحل میانی	-۲۲	۰/۳	-	۴۸۴±۵۳۷
Poz-26377, ۲۰۱۶، همکاران، رضانی و همکاران،	۱۹-	۳/۶	-	۲۵۳۵
AK, ۲۰۰۹، همکاران، لاهیجانی و همکاران، سواحل غربی	-۲۴	۰/۲	۰/۳	۴۹۱ ± ۳۵
HCGLO4, ۲۰۱۱، همکاران، لروی و همکاران،	-	۱	-۲۳	۳۷۹±۲۵
Kiagab-05, ۲۰۱۳، همکاران، نادری و همکاران،	-	۲/۶	-	۴۳۶-۵۴۲
Sang-N-07., ۲۰۱۳، همکاران، نادری و همکاران،	-	۳/۸	-	۴۰۳-۵۰۹
Sang-N-05., ۲۰۱۳، همکاران، نادری و همکاران،	-	۳/۴	-	۵۰۵-۶۳۹

دریا و خشکی کامل پیش رفت و بر عرض اسپیت میانکاله افزوده شد (کاکرودی، ۲۰۱۴a). دو خلیج در شمال گمیشان کاملاً خشک شدند و خط ساحلی در حدود ۴ کیلومتر به سمت دریا عقب‌نشینی کرد. همین طور دلتای گرگان‌رود به سرعت به سمت ساحل پیشروی کرد. در زمان افزایش تراز آب بین سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۷۷ نیز مورفولوژی ساحل تغییر کرد (کاکرودی، ۲۰۱۲ a).

داده‌های میدانی نشان می‌دهد که تقریباً دو ساحل قدیمی به صورت سیستم تالاب-سد ماسه‌ای، اسپیت، و دلتایی به ترتیب در ارتفاع ۲۲- و ۲۴- در این بخش وجود دارند. به دلیل تغییرات شدید و بهره‌برداری از سواحل قدیمی، در حال حاضر، چهره این دو ساحل تقریباً از بین رفته است، اما عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ به خوبی این سواحل قدیمی را نشان می‌دهد (شکل‌های ۳ و ۴). مطالعات میدانی نشان می‌دهد که دلتای فعلی گرگان‌رود در تراز بالاتری در حدود ۲۴- قرار داشته است (شکل ۳ ب). رخساره میانی و دریایی (پیشانی دلتا) که به وسیله فونای دریای خزر مشخص می‌شود- به وسیله دو رخساره دلتایی فاقد فونای دریای خزر در بر گرفته شده است (شکل ۳ الف).
شکل ۳ دلتای قدیمی گرگان‌رود را نشان می‌دهد که در ارتفاع تقریبی ۲۴- قرار دارد.



شکل ۳. رخنمون دلتای قدیمی گرگان‌رود زمانی که دریای خزر در حدود تراز منفی ۲۴- قرار داشت (الف)؛ عکس هوایی ۱۳۳۴ و مورفولوژی دلتای قدیمی (ب)

بخش‌های عمده سواحل قدیمی در بخش شرقی خلیج زیر رسوبات دو رودخانه مهم گرگان‌رود و قره‌سو مدفون شده‌اند. بخش‌هایی که شواهد آن‌ها در سطح زمین وجود دارند به صورت خط‌های ساحلی منقطع در حاشیه رودهای گرگان‌رود و قره‌سو دیده می‌شوند (شکل ۴). مورفولوژی ساحلی کنونی در سواحل شرقی به صورت محیط‌های دلتایی (دلتای گرگان‌رود) و اسپیت-تالاب (تالاب گمیشان و اسپیت میانکاله) است (کاکرودی، ۱۳۹۲). شواهد رسوبی در مجاورت و امتداد اسپیت میانکاله در بخش رسوبات دریایی باقوکناره نشان می‌دهد که در حدود ۲۴۰۰-۲۶۰۰ سال پیش اسپیت میانکاله و خلیج گرگان در موقعیت کنونی نبوده‌اند و احتمالاً اسپیت در تراز ۲۲- قرار داشت (شکل‌های ۴ و ۵).



شکل ۴. ترازهای مهم دریای خزر در ارتفاع مطلق حدوداً ۲۴- و ۲۲- در اواخر هولوسن

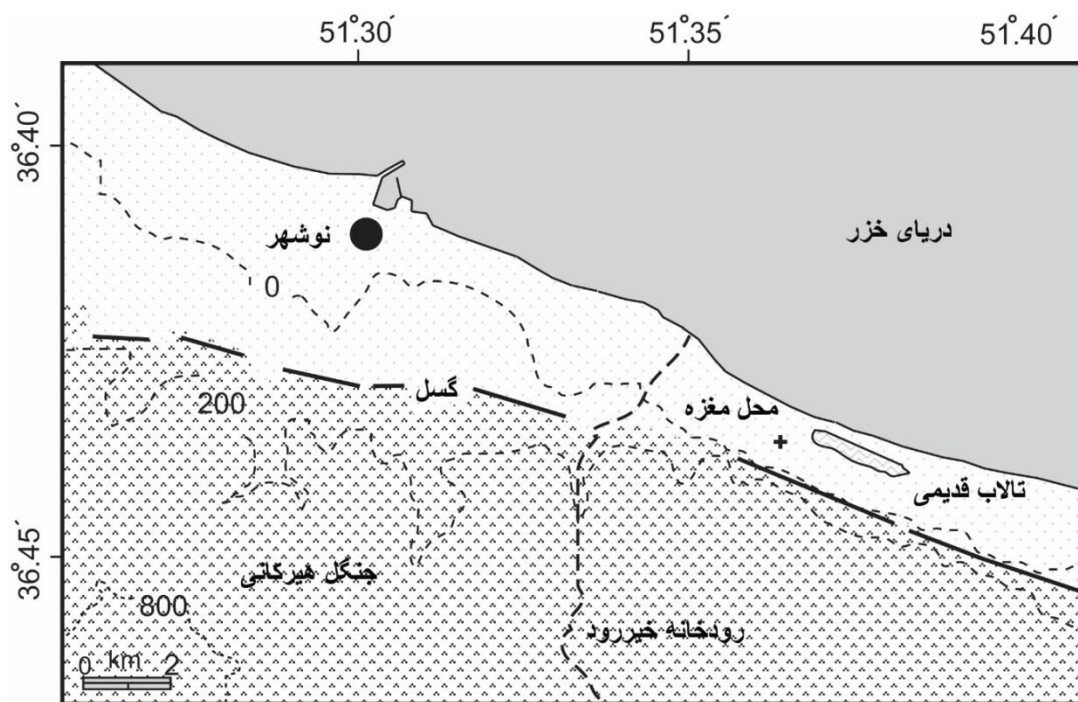


شکل ۵. رخنمون ساحل ۲۴۰۰ سال پیش و به احتمال زیاد اسپیت باقوکناره شامل ماسه متوسط‌دانه و به همراه لایه‌هایی از فونای دریای خزر. محل رخنمون با دایره قرمز در شکل ۴ مشخص شده است.

سواحل میانی دریای خزر

شیب عمومی این بخش از سواحل، به سبب فاصله بسیار کوتاه کوه‌های البرز و دریا، بسیار زیاد است و به دلیل عمق زیاد آب در برابر تراز آب تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد (کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۴b).

به سبب انرژی زیاد، امواج در این بخش سواحل بیشتر فرسایشی است و رسوبات آن عمداً قلوه‌سنگ و درشت‌دانه است. با وجود این، آثار قدیمی محیط‌های تالابی (لاگون) به صورت نواری کشیده در موازات ساحل قابل مشاهده است. همچنین، در فاصله دورتر و در پای کوه مطالعه مغزه‌رسوبی در فاصله ۱۱ کیلومتری نوشهر محیط تالابی را نشان می‌دهد که به وسیله رسوبات آبرفتی و مردابی پوشیده شده است. در بخش بالای مغزه- که متأثر از افزایش تراز آب دوره سرد است (Little Ice Age)- در حدود ۵۱۲ سال پیش تخمین زده شده است (رضانی و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۶. بخش میانی دریای خزر و محل نمونه‌گیری

با یک دوربین ترازاب ارتفاع اولین زبانه ماسه‌ای در حدود ۲۴- و تراز بعدی در حدود ۱۹- اندازه‌گیری شد. به احتمال زیاد، سیستم سد ماسه‌ای (هم‌اکنون مسیر جاده بر روی این سد ساحلی قرار دارد) و تالاب قدیمی نزدیک به خط ساحلی (شکل ۶) مربوط به زمان دوره سرد کوتاه و در زمان بالآمدگی تراز آب بوده، اما به سبب محدودبودن فضای بین کوه و دریا این سیستم به صورت کشیده و باریک بوده و نتوانسته است همانند مناطق شرقی گسترش یابد. دو سیستم تالاب را می‌توان با یکی از دوره‌های سرد تطبیق داد: تالاب قدیمی دوره سرد کوتاه که هم‌اکنون به صورت نوار کشیده (شکل ۵) در امتداد ساحل وجود دارد (جهت دقت بیشتر به نتایج سن‌سنجی دارد)؛ و نیز تالاب مدفون شده که به وسیله مغزه در منطقه مورد مطالعه شناسایی شده‌اند.

ارتفاع مطلق این تالاب‌ها نیز به ترتیب در ارتفاع در حدود ۲۴- و ۱۹- قابل تمایز است. با استفاده از تعیین سن مطلق از نمونه‌های باقی‌مانده حاوی چوب در محیط تالابی مغزه بررسی شده، در عمق ۳،۶۰ متری تراز در حدود ۲۵۳۵ سال پیش را نشان می‌دهد (رمضانی و همکاران، ۲۰۱۶).

سواحل غربی و محدوده شرقی دلتایی سفیدرود

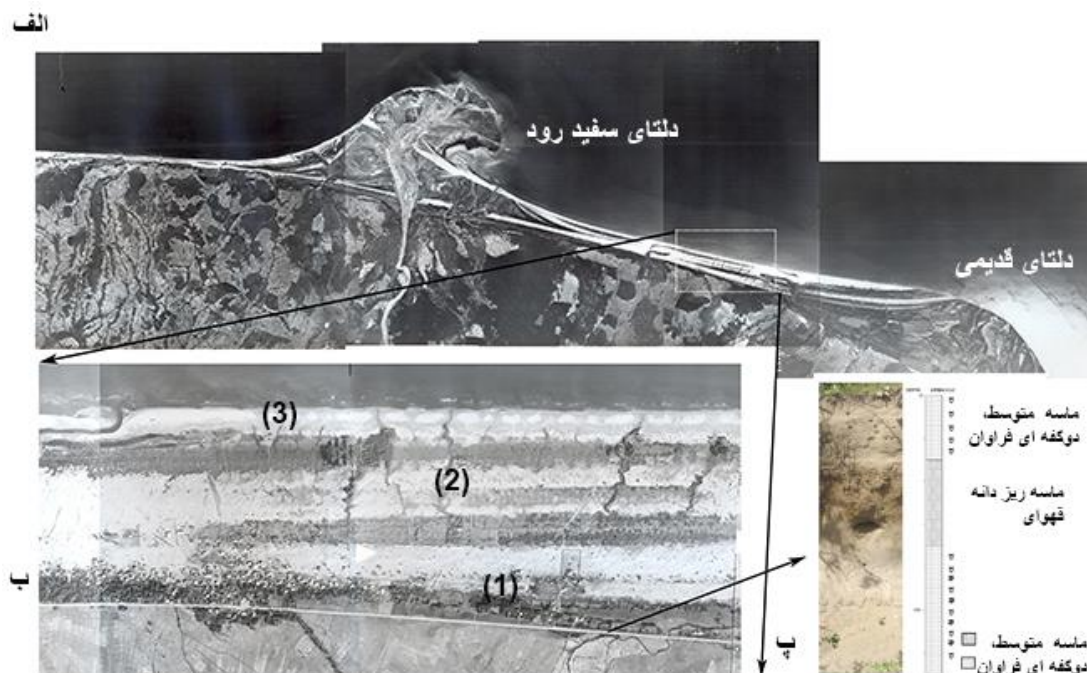
تغییرات این بخش ساحلی یکی از جالب‌ترین تغییرات خط ساحلی دریای خزر به‌شمار می‌رود. سفیدرود یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های دریای خزر در سواحل ایران به‌شمار می‌رود که بیشترین آب و بار رسوبی را وارد دریای خزر می‌کند. این رودخانه هم به لحاظ وسعت حوضه آبخیز هم به لحاظ حجم و بار رسوبی که وارد دریای خزر می‌کند مهم‌ترین رودخانه حوضه جنوبی دریای خزر به‌شمار می‌رود. حوضه آبخیز دریای خزر از کوه‌های زاگرس شروع می‌شود و پس از قطع کوه‌های البرز بار رسوبی ناحیه ایران مرکزی را وارد دریای خزر می‌کند (کوزنسی و گلبابازاده، ۲۰۱۳). در حدود ۷۰ درصد از بار رسوبی منتقل شده در بخش سواحل جنوبی ایران به دریای خزر را سفیدرود تأمین می‌کند (لاهیجانی و همکاران، ۲۰۰۹).

به دلیل بار رسوبی نسبتاً بالای سفیدرود، تغییرات خط ساحلی حاصل تراز آب از یک رابطه خطی پیروی نمی‌کند و خط ساحلی حاصل برآیند میزان ورود بار رسوبی و تغییرات تراز آب است. باید توجه کرد که جابه‌جایی خط ساحلی در یک نیمرخ عمودی و در نظر گرفتن همه عوامل دخیل مطالعه و بررسی می‌شود. مثلاً، انتقال رسوب به موازی خط ساحل، شیب توپوگرافی، و فضای رسوب‌گذاری^۲ نیز در میزان تغییر خط ساحلی مؤثرند. اندازه‌گیری تغییرات ساحلی با داده‌های سنجش از راه دور بین سال‌های ۱۹۷۷ و ۲۰۰۱ نشان می‌دهد که به‌رغم افزایش در حدود سه‌متری تراز آب، خط ساحلی تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد و در پاره‌ای موارد به دلیل بار رسوبی زیاد خط ساحلی به سمت دریا حرکت کرده است و فضای رسوبی ایجادشده به وسیله افزایش تراز آب توسط بار رسوبی جبران شده است (کاکرودی و همکاران، ۲۰۱۴b). مطالعات انجام‌گرفته بر روی دلتای سفیدرود با روش‌های مختلف سطحی و زیرسطحی نشان می‌دهد که دلتای سفیدرود تحت تأثیر تغییرات تراز آب تحولات زیادی را تجربه کرده است (لروی و همکاران، ۲۰۱۴؛ نادری و همکاران، ۲۰۱۳؛ کوزنسی و گلبابازاده، ۲۰۱۳، حقانی و همکاران، ۲۰۱۵).

تقریباً همه نتایج سن‌سنجی نشان‌دهنده تغییرات زیاد مورفولوژی ساحل در دوره سرد کوتاه^۳ بر روی دلتای سفیدرود است؛ اگرچه هنوز گزارشی از تغییرات تراز آب در زمان تراز ۲۶۰۰ سال پیش گزارش نشده است. شواهد این تغییرات در رخنمون‌ها، مغزه‌های مطالعه‌شده، داده‌های زیرسطحی (GPR) در انزلی و بخش شرقی دلتای سفیدرود، مرداب انزلی، و مرداب امیرکلا گزارش شده است (نگاه کنید به منابع اشاره‌شده در بالا).

1. Long shore current
2. Space accommodation
3. Little Ice Age

سیستم ماسه-تالاب^۱ در هنگام افزایش تراز آب گسترش می‌یابد و این به‌ویژه در ارتباط با گسترش تالاب‌هاست (کرونبرگ و همکاران، ۲۰۰۷). در حالی که شدت گسترش نوار ساحلی و ماسه‌ای هنگام کاهش تراز آب رخ می‌دهد. این سیستم به وسیله مطالعات زیرسطحی GPR نیز دیده شده است (نادری و همکاران، ۲۰۱۳). ناحیه شرقی دلتای سفیدرود به لحاظ گسترش سیستم سد ماسه-تالاب بسیار فعال بوده و عکس‌های هوایی این سیستم ساحلی را به صورت متوالی و طولی به سمت ساحل نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۷. مورفولوژی بخش شرقی دریای خزر در دلتای قدیمی و کنونی سفیدرود (الف)؛ سیستم تالاب-سد ماسه‌ای (ب)؛ لاگ تهیه‌شده از آخرین سد-ماسه‌ای (پ).

قدیمی‌ترین نوار ساحلی از مورفولوژی هولوسن را می‌توان بر روی عکس‌های هوایی ۱۳۳۴ و ۱۳۶۷ در امتداد جاده ساحلی مشاهده کرد (شکل ۷ شماره ۱). بر اساس نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری، ارتفاع این نوار ساحلی بین ۲۱- و ۲۴- قرار دارد. این دو تراز تقریباً منطبق بر ترازهای ۲۶۰۰ سال پیش و دوره سرد کوتاه است. به سبب میزان رسوب‌گذاری متفاوت و تأثیرات تکتونیک و فرونشینی نمی‌توان فقط به ارتفاع مطلق تأکید کرد و اینکه این نوارهای ساحلی متعلق به تراز ۲۶۰۰-۲۴۰۰ سال پیش یا دوره سرد کوتاه باشد چندان دقیق نیست و نیاز به تعیین سن مطلق دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات سریع تراز آب و پاسخ ساحلی آن مورد توجه بسیاری از محققان دنیاست. دریای خزر به سبب داشتن چنین

شرایطی می‌تواند الگوی مناسبی باشد برای پیش‌بینی تغییرات خط ساحلی دریای آزاد- که افزایش در حد میلی‌متری را تجربه می‌کند. تراز دریای خزر تغییرات بسیاری را در هولوسن تجربه کرده است، اما دو تراز بسیار اثرگذار آن در اواخر هولوسن- که شواهد آن در امتداد سواحل وجود دارد- با دو دوره سرد آب و هوایی شمالی عرض‌های بالا مطابقت دارد. تقریباً در همه سواحل این دو تراز به شکل‌های مختلف همانند گسترش اسپیت، سد ساحلی، و تالاب و دیگر اشکال مورفولوژی با توجه به خصوصیات مورفولوژی منطقه ظاهر شده است. تراز ۲۶۰۰ سال پیش و دوره سرد کوتاه به‌ترتیب ترازهایی در حدود ۲۲ - ۲۴- را تجربه کرده‌اند. بنابراین، با توجه به تراز فعلی تراز خزر در حدود ۲۷,۵- می‌توان نتیجه گرفت که بخش بزرگی از سواحل جنوبی دریای خزر تحت سیطره این دو تراز قرار داشت. مدل‌های ارائه‌شده در دریای خزر بدون توجه به این تغییرات شدید مدل‌های ناقص خواهد بود. به چنین تغییرات شدیدی همواره باید در برنامه‌ریزی‌های ساحلی توجه شود و کاهش تراز آب- که هم‌اکنون با آن مواجهیم- نباید گمراه‌کننده باشد.

منابع

- کاکروودی، ع. (۱۳۹۲). نوسانات دریای خزر و تأثیر آن بر سواحل جنوب شرقی خزر دریای، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ش ۳.
- Boomer, I.; Von Grafenstein, U.; Guichard, F. and Bieda, S. (2005). Modern and Holocene sublittoral ostracod assemblages (Crustacea) from the Caspian Sea: a unique brackish, deep-water environment, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 225: 173-186.
- Kakroodi, A. (2012a). Rapid Caspian Sea-level Change and Its Impact on Iranian Coasts. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Kakroodi, A. (2012b). Sea-level change and its impact on south-East of the Caspian Sea, *Quantitative Geomorphology*, 3: 33-44.
- Kakroodi, A.A.; Kroonenberg, S.B.; Naderi Beni, A. and Noehgar, N. (2014a). Short- and longterm development of the Miankaleh Spit, Southeast Caspian Sea, Iran, *Journal of Coastal Research*, 30(6): 1236-1242.
- Kakroodi, A.A.; Kroonenberg, S.B.; Goorabi, A. and Yamani, M. (2014b). Shoreline response to rapid 20th century sea-level change along the Iranian Caspian coast, *Journal of Coastal Research*, 30(6): 1243-1250.
- Kakroodi, A.A.; Kroonenberg, S.B.; Hoogendoorn, R.M.; Mohammadkhani, H.; Yamani, M.; Ghassemi, M.R. and Lahijani, H.A.K. (2012). Rapid Holocene sea-level changes along the Iranian Caspian coast, *Quaternary International*, 263(93H.A).
- Kakroodi, A.A.; Leroy, S.A.G.; Kroonenberg, S.B.; Lahijani, H.A.K.; Alimohammadian, H.; Boomer, I. and Goorabi, A. (2015). Late Pleistocene and Holocene sea-level change and coastal palaeoenvironment evolution along the Iranian Caspian shore, *Marine Geology*, 361: 111-125.
- Kazanci, N. and Gulbabazadeh, T. (2013). Sefidrud delta and Quaternary evolution of the southern Caspian lowland, *Marine and Petroleum Geology*, 44: 120-139.
- Kazanci, N.; Gulbabazadeh, T.; Leroy, S.A.G. and Ileri, O. (2004). Sedimentary and environmental characteristics of the Gilan-Mazenderan plain, Northern Iran: influence of long- and short-term Caspian water level fluctuations on geomorphology, *Journal of Marine Systems*, 46: 145-168.
- Kroonenberg, S.B.; Abdurakhmanov, G.M.; Badyukovac, K.; Van der Borg, E.N.; Kalashnikov, A.; Kasimov, N.S.; Rychagov, G.I.; Svitoch, A.A.; Vönhof, H.B. and Wesselingh, F.P. (2007). Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian Sea, *Quaternary International*, 173-174: 137-143.
- Kroonenberg, S.B.; Rusakov, G.V. and Svitoch, A.A. (1997). The wandering of the Volga delta: a response to rapid Caspian Sea-level changes, *Sedimentary Geology*, 107: 189-209.

- Lahijani, H.A.K.; RahimpoureBonab, H.; Tavakoli, V. and Hosseindoost, M. (2009). Evidence for late Holocene highstands in Central Gilane-East Mazanderan, South Caspian coast, Iran, *Quaternary International*, 197(1): 55-71.
- Leroy, S., Lahijani, H., Reyss, J., Chali_e, F., Haghani, S., ShaheHosseini, M., Shahkarami, S., Tudryn, A., Arpe, K., Habibi, P., 2013. A two-step expansion of the dinocyst *Lingulodinium machaerophorum* in the Caspian Sea: the role of changing environment. *Quaternary Science Reviews* 77, 31-45.
- Leroy, S.A.G.; López-Merino, L. and Tudryn, A. (2014). Late Pleistocene and Holocene palaeoenvironments in and around the middle Caspian basin as reconstructed from a deep-sea core, *Quaternary Science Reviews*, 101: 91-110.
- Leroy, S.A.G.; Tavakoli, V.; Habibi, P.; Naderi Beni, M.; Lahijani, H.A.K.; Djamali, M.; Naqinezhad, A.; Moghadam, M.V.; Arpe, K.; ShaheHosseini, M.; Hosseindoust, M. and Miller, C.S. (2011). Late Little Ice Age palaeoenvironmental records from the Anzali and Amirkola Lagoons (south Caspian Sea): vegetation and sea level changes, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302(3): 415-434.
- Naderi Beni, A.; Lahijani, H.; Harami, R.M.; Leroy, S.A.G.; ShaheHosseini, M.; Kabiri, K. and Tavakoli, V. (2013). Development of spitelagoon complexes in response to Little Ice Age rapid sea-level changes in the central Gilan coast, South Caspian Sea, Iran, *Geomorphology*, 187: 11-26.
- Ramzenai, E.; Mrotzek, A.; Mohadjer, M.; Kakroodi, A.A.; Kroonenberg, S.B. and Joosten, H. (2016). Between the mountains and the sea: Late Holocene Caspian Sea level fluctuations and vegetation history of the lowland forests of northern Iran, *Quaternary International*, 1-13.
- Rychagov, G.I. (1977). The Pleistocene History of the Caspian Sea. D.Sc. Thesis, Moscow State University (252 pp. Autoreferate 62 pp. (in Russian).
- Rychagov, G.L. (1997). Holocene oscillation of the Caspian Sea, and forecast based on the Caspian Sea and forecast based on paleogeographical reconstructions, *Quaternary International*, 41(42): 167-172.
- Zubakov, V.A. and Borzenkova, I.I. (1990). *Global Paleoclimate of the Late Cenozoic*, Elsevier, Amsterdam, p. 456.