Archive of SID

فصلنامهٔ کواترنری ایران (علمی ـ پژوهشی)، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸
ص ۲۳۷-۲۶۲

ژنز میکرولندفرم‌های پهنه‌های گلی و نمکی دریاچهٔ ارومیه

علی محمدی*؛ پژوهشگر رسوب‌ـ تکتونیک، پژوهشکدهٔ علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور
جواد درویشی خاتونی؛ کارشناس‌ارشد رسوب‌شناسی، مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی کشور
علی‌رضا صالحی‌پور میلانی؛ استادیار ژئومورفولوژی، دانشکدهٔ علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی
آمنه کاوه‌فیروز؛ پژوهشگر پست‌دکترای زمین‌شناسی، دانشگاه ETH Zurich، سوئیس
راضیه لک؛ دانشیار رسوب‌شناسی، پژوهشکدهٔ علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

چکیده

دریاچهٔ ارومیه در شمال باختر ایران یکی از دریاچه‌های بزرگ فوق‌اشباع نمک جهان است که به دلیل عوامل انسانی و طبیعی در معرض کاهش شدید تراز آب و خشک شدن قرار دارد. کاهش شدید تراز آب در دو دههٔ اخیر و رخنمون یافتن بستر دریاچه به صورت پهنه‌های گلی، گلی‌ـ نمکی، و نمکی در بخش‌های بزرگی از دریاچه به تغییر محیط رسوبی، از یک محیط دریاچه‌ای دائمی به یک محیط رسوبی پلایایی، تحت تاثیر تغییرات فصلی، منجر شده است. ظهور و گسترش میکرولندفرم‌های محیط‌های پلایایی در بستر خشک‌شدهٔ دریاچه مؤید تغییر محیط رسوبی دریاچه و روند رسوب‌گذاری است. مهم‌ترین میکرولندفرم‌های پهنه‌های گلی دریاچه شامل ترک‌های گلی و زمین‌های پف‌کرده با ساخت تی‌پی و دیاپیرهای گلی هستند. میکرولندفرم‌ها در پهنه‌های نمکی گسترش و تنوع بیشتری دارند و شامل ساخت‌های انحلالی نمک در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی، رشد بلورهای هالیت و سیلویت در اشکال و اندازه‌های مختلف، هالیت‌های شعاعی، ریپل‌های نامتقارن نمکی، پلی‌گون‌های نمکی، قارچ‌های نمکی، پشته‌های نمکی، سواحل و سدهای نمکی، ساخت‌های نعل‌اسبی نمکی، حفره‌ها و غارهای نمکی، پهنه‌های گسیختگی نمک، و فرش‌های جلبکی هستند. رخنمون یافتن پهنه‌های نمکی در بخش‌های بزرگی از بستر دریاچه و نیز برداشت نمک برای استفاده‌های صنعتی می‌تواند به حمل ذرات منفصل نمک به مناطق مسکونی و کشاورزی، در زمان طوفان‌های بادی و گرد و غبار، منجر شود و برای ساکنان اطراف دریاچه عوارض زیست‌محیطی به همراه داشته باشد.

کلیدواژگان: پهنه‌های گلی و نمکی، تغییرات تراز آب دریاچه، دریاچهٔ ارومیه، سواحل ماسه‌ای، میکرولندفرم.

مقدمه

لندفرم‌های ژئومورفیک نشان‌دهندهٔ شرایط طبیعی گذشته‌اند. میکروژئوفرم‌ها بیشتر از لندفرم‌های با ابعاد بزرگ‌تر می‌توانند تغییرات محیطی را ثبت کنند (زمردیان ۱۳۹۱). در برخی موارد، مداخلات انسانی و تغییرات اقلیمی سبب تحول شکل‌زایی میکروژئوفرم‌ها می‌شود. میکروژئوفرم‌ها از پدیده‌هایی هستند که تغییرات کوتاه‌مدت ناشی از دخالت‌های انسانی را ثبت می‌کنند و به آن واکنش نشان می‌دهند (قهرودی تالی و علی‌نوری ۱۳۹۳). بدین سبب با بررسی

* یارانامهٔ نویسندهٔ مسئول: Mohammadi.a79@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

میکروژئوفرم‌ها در سطح پلایاها، که به شرایط محیطی حساس‌اند، می‌توان تغییرات ناگهانی و انسان‌ساز محیطی را مطالعه کرد (قاسم‌زادهٔ گنجه‌ای و همکاران ۱۳۹۵). پلایاها یکی از محیط‌های رسوبی طبیعی‌اند که تغییرات کوتاه‌مدت میکروژئوفرم‌ها و میکرولندفرم‌ها را نشان می‌دهد. پلایاها باقی‌ماندهٔ دریاچه‌های پلیئستوسن هستند که طی دوره‌های بین‌یخچالی توأم با خشکی محیط به شکل کنونی درآمده‌اند و عمدتاً از محیط‌های اشباع و فوق‌اشباع به حساب می‌آیند (کلتس و شهرابی ۱۹۸۶؛ شینچی و همکاران ۲۰۰۸). بیشتر پلایاها و تالاب‌های ایران در قلمرو خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارندگی کم‌اند و تداوم حیات آن‌ها از طریق رودها و مسیل‌های وارد به آن‌هاست (شهرابی ۱۳۷۲). در حال حاضر به دلیل دخالت انسان در برداشت منابع معدنی و تخریب پلایاها و همچنین بی‌نظمی در آب ورودی به آن‌ها تحول جدیدی بر آن‌ها حاکم شده است. این تحول جدید تغییراتی در میکرولندفرم‌های آن‌ها ایجاد کرده است که شاهدی بر بی‌نظمی یا آشوب در سیستم شکل‌زایی حاضر و گذر آن به سیستمی دیگر است (قهرودی تالی و علی‌نوری ۱۳۹۳).

دریاچهٔ ارومیه- یکی از دریاچه‌های بزرگ فوق‌اشباع جهان و نیز بزرگ‌ترین دریاچهٔ داخلی ایران- یک محیط رسوبی درون‌قاره‌ای با منشأ تکتونیکی در شمال باختر ایران است (افتخارنژاد و همکاران ۱۳۷۱؛ شهرابی و همکاران ۱۳۷۲). کاهش تراز آب دریاچهٔ ارومیه طی دوره‌های پلیئستوسن و هولوسن در مغزه‌های رسوبی تهیه‌شده از بستر دریاچه (کلتس و شهرابی ۱۹۸۶؛ جمالی و همکاران ۲۰۱۰؛ استیونس و همکاران ۲۰۱۲؛ امینی و همکاران ۱۳۸۸؛ درویشی خاتونی و محمدی ۱۳۹۰a؛ شاه‌حسینی ۱۳۸۲؛ لک و همکاران ۱۳۹۲؛ محمدی ۱۳۸۴) و نیز پادگانه‌ها و خطوط ساحلی قدیمی در اطراف دریاچه ثبت شده است (صالحی‌پور میلانی ۱۳۹۰). روند کاهشی تراز آب دریاچه و نیز ورود مداوم املاح معدنی از طریق رودخانهٔ آجی‌چای و سایر منابع به دریاچه منجر به فوق‌اشباع شدن این دریاچه از نمک در طول زمان شده است (امینی و همکاران ۱۳۸۸؛ طلوعی ۱۳۷۵؛ درویشی خاتونی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱؛ درویشی و همکاران ۱۳۹۴؛ مهاجر باوقار ۱۳۷۶؛ محمدی ۱۳۸۴). کاهش تراز آب دریاچه در دو دههٔ اخیر با دخالت انسان از طریق کاهش منابع تأمین‌کنندهٔ آب دریاچه به دنبال ساخت سدها و گسترش بی‌رویهٔ کشاورزی سرعت بسیار بالایی گرفته و به خشک شدن بیش از ۸۰ درصد دریاچه منجر شده است (صالحی‌پور میلانی و همکاران ۱۳۹۰؛ لک و همکاران ۱۳۹۰؛ درویشی خاتونی و محمدی ۱۳۹۰b). خشک شدن دریاچهٔ ارومیه منجر به رخنمون یافتن بخش بزرگی از بستر دریاچه به صورت پهنه‌های گلی، گلی- نمکی، و نمکی در سواحل دریاچه شده است. بخش بسیار بزرگی از دریاچه در بخش جنوبی به دلیل شیب بسیار ملایم بستر، عمق کم آب، و شدت بالای تبخیر در فصل تابستان به پهنهٔ خشک گلی و نمکی تبدیل شده است و در بخش شمالی دریاچه پهنه‌های گلی و نمکی در سواحل رخنمون یافته‌اند. خشک شدن دریاچهٔ ارومیه در دو دههٔ اخیر به تغییر در میکرولندفرم‌های این سیستم دریاچه‌ای انجامیده است؛ به گونه‌ای که امروزه خود را به صورت میکرولندفرم‌های محیط‌های پلایایی نشان می‌دهند. هدف از این مطالعه معرفی و بررسی ژنز و فرایندهای کنترل‌کنندهٔ تشکیل و تخریب میکرولندفرم‌های دریاچهٔ ارومیه بود.

دریاچهٔ ارومیه

دریاچهٔ ارومیه بزرگ‌ترین و شورترین دریاچهٔ دائمی ایران و یکی از دریاچه‌های بزرگ فوق‌اشباع نمک در جهان است که

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

در شمال غرب ایران در منطقهٔ آذربایجان واقع شده است (شهرابی ۱۳۷۲). این دریاچه منشأ تکتونیکی دارد و عملکرد گسل‌های تبریز و زرینه‌رود منجر به تشکیل آن در پست‌ترین (۱۲۷۰ متر از سطح دریاهای آزاد) منطقهٔ فلات ایران ـ آناتولی شده است (شهرابی ۱۳۷۲). اطراف دریاچهٔ ارومیه محدود به کوه‌های مرتفع با ارتفاع بیش از ۲۰۰۰ متر است که در سوی شمال خاور به مجموعهٔ آتشفشانی سبلان با ارتفاع بیش از ۴۸۰۰ متر می‌رسد. این دریاچه با حوضهٔ آبریز ۵۱۸۸۰ کیلومتر مربع و مساحت ۵۵۰۰ کیلومتر مربع، با میانگین بارش سالیانهٔ ۳۳۰ میلی‌متر، یک دریاچهٔ درون‌قاره‌ای است که از طریق ۲۸ رودخانهٔ دائمی و فصلی و نیز نزولات جوّی تغذیه می‌شود (لک و همکاران ۱۳۹۲؛ محمدی ۱۳۸۴). از رودخانه‌های مهم دائمی دریاچه می‌توان به جیغاتی (زرینه‌رود)، تاتائو (سیمینه‌رود)، آجی‌چای، سویوق‌بولاق‌چای (مهابادچای)، گادارچای، باراندوزچای، شهرچای، نازلوچای، زولاچای، صوفی‌چای، لیلان‌چای، و موردوچای اشاره کرد (شهرابی ۱۳۷۲). حضور سنگ‌های متنوع آذرین درونی و آتشفشانی، دگرگونی، رسوبی، و نیز رسوبات نرم کواترنری در حوضهٔ آبریز دریاچه با سن‌های متنوع، از پرکامبرین تا کواترنری، یکی از ویژگی‌های بارز این دریاچه است که به تنوع بار رسوبی و املاح وارده به دریاچه توسط رودخانه‌ها منجر شده است (محمدی ۱۳۸۴). فرسایش و حمل رسوبات تبخیری ـ قاره‌ای میوسن در خاور و شمال باختر دریاچه به صورت بار محلول توسط رودخانهٔ آجی‌چای و رودخانه‌های فصلی منشأ اصلی نمک در دریاچهٔ ارومیه است (امینی و همکاران ۱۳۸۸). عدم مدیریت صحیح منابع آب، برنامهٔ سدسازی گسترده بر همهٔ رودخانه‌های دریاچه، و گسترش بی‌رویهٔ زمین‌های کشاورزی در اطراف دریاچه به کاهش شدید حق‌آبهٔ دریاچه انجامیده است؛ به گونه‌ای که از سال ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۷ بیش از ۸ متر سطح آب دریاچه کاهش یافته و تراز آب از ۱۲۷۸/۴ متر به ۱۲۷۰/۳۰متر رسیده است. این وضعیت باعث خشک شدن کامل بخش جنوبی دریاچه و خشک شدن قسمت‌های وسیعی از بخش شمالی دریاچه شده و مساحت دریاچه از ۵۵۰۰ کیلومتر مربع به کمتر از ۱۰۰ کیلومتر مربع کاهش پیدا کرده است (صالحی‌پور میلانی و همکاران ۱۳۹۰). البته بارندگی‌های اخیر (زمستان و بهار سال ۱۳۹۸) تراز آب دریاچه را تا حدی بالا برده است (۱۲۷۱/۶۰ متر). اما، کاهش میزان آب دریاچه، نسبت به قبل، ترکیب شیمیایی و تیپ شورابهٔ دریاچه را تغییر داده و تیپ شورابه از Na-Mg-Cl به Mg-Na-Cl تبدیل شده است. در نتیجه کانی‌های تبخیری تشکیل‌شده در دریاچه نیز در حال تغییر است (درویشی خاتونی و همکاران ۱۳۹۴). امروزه بخش‌های وسیعی از دریاچه فقط هنگام بارش‌های جوّی به زیر آب می‌رود و در فصول خشک سال کاملاً خشک می‌شود و حالت کاملاً پلایایی پیدا می‌کند.

مواد و روش‌ها

این مطالعه بر پایهٔ چندین دوره مطالعات میدانی بر دریاچهٔ ارومیه طی سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۷، و ۱۳۹۸ صورت گرفت. بازدیدهای میدانی از بخش‌های مختلف پهنهٔ آبی و خشک‌شدهٔ دریاچهٔ ارومیه، طی فصول مختلف، در دوره‌های پرآبی و کم‌آبی دریاچه و شرایط مختلف آب‌وهوایی، شرایط مساعد را برای بررسی تأثیر فاکتورهای محیطی و فیزیکی ـ از قبیل میزان آب‌های ورودی، تبخیر، دما، رطوبت، سرعت و جهت باد ـ بر انحلال و رسوب نمک و ساخت‌های رسوبی و نیز ویژگی‌های بافتی پهنه‌های گلی و نمکی فراهم آورده است. در طول مطالعات میدانی انواع لندفرم‌های موجود بر پهنه‌های گلی و نمکی دریاچه و نیز عوامل کنترل‌کنندهٔ تشکیل و تخریب لندفرم‌ها بررسی شد.

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

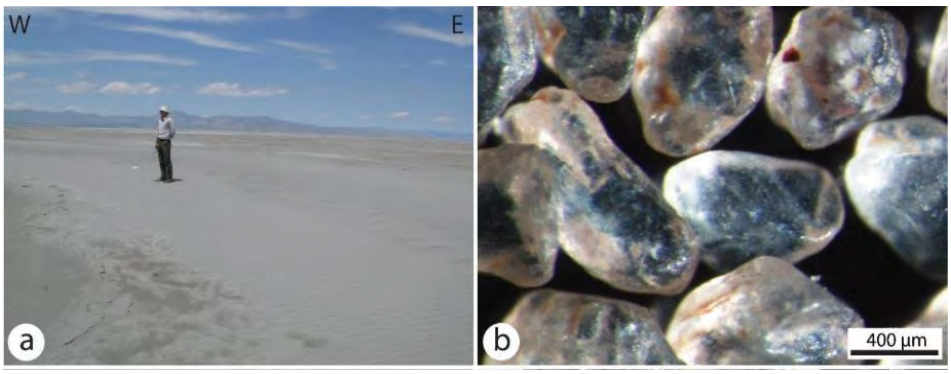
یافته‌های پژوهش

یافته‌های این پژوهش شامل شناسایی و تعیین ژنز انواع میکرولندفرم‌های سواحل ماسه‌ای، پهنه‌های گلی، ترک‌های گلی، زمین‌های پف‌کرده با ساخت تی‌پی، دیاپیرهای گلی، ساخت‌های انحلالی نمک، رشد بلورهای هالیت و سیلویت، هالیت‌های شعاعی، ریپل مارک‌های نمکی، پلی‌گون‌های نمکی، قارچ‌های نمکی، پشته‌های نمکی، خط ساحلی نمکی، ساخت‌های نعل‌اسبی، حفره‌ها و غارهای نمکی، پهنه‌های گسیختگی نمک، فرش‌های جلبکی و مواد آلی، و میکرولندفرم‌های میان‌گذر شهید کلانتری است که با مطالعات میدانی به دست آمده است.

بحث و نتیجه

سواحل ماسه‌ای[1]

سواحل ماسه‌ای به صورت پهنه‌های باریکی در اطراف مجموعه‌های ولکانیکی جزیرهٔ اسلامی در خاور و زنبیل‌داغی در باختر و نیز در سواحل شمالی دریاچه دیده می‌شوند. این پهنه‌ها عمدتاً از ماسهٔ دانه‌درشت و گرانول‌های سیاه‌رنگ پوشیده شده‌اند و به سمت دریا به‌تدریج به پهنه‌های سیلتی و گلی تبدیل می‌شوند (شکل ۱a). ماسه‌ها عمدتاً دانه‌های پوشش‌دار[2] هستند و هستهٔ این دانه‌ها ذرات و کانی‌های (پیروکسن، شیشه‌های آتشفشانی، انواع فلدسپات‌ها) حاصل از فرسایش مجموعه‌های ولکانیک مذکور و نیز ارتفاعات میشو در شمال دریاچه‌اند. به دلیل فاصلهٔ بسیار نزدیک کوه‌های مذکور به دریاچه، ماسه‌های حاصل از فرسایش این کوه‌ها به سواحل دریاچه می‌رسند. در نتیجهٔ تبخیر بالای آب دریاچه، رسوبات تبخیری (عمدتاً هالیت) به صورت پوششی در اطراف ذرات و کانی‌های آواری تشکیل می‌شوند و سواحل ماسه‌ای با دانه‌های پوشش‌دار (هستهٔ آواری و پوستهٔ تبخیری) را ایجاد می‌کنند (شکل ۱b). این فرایند منجر به افزایش اندازهٔ ذرات ماسه‌ای می‌شود و به همین دلیل ماسه‌ها عمدتاً ماسه‌های دانه‌درشت تا گرانول‌اند. ریپل‌مارک‌های بادی مهم‌ترین ساخت رسوبی روی ماسه‌های ساحلی‌اند (شکل ۱c). ضخامت رسوبات ماسه‌ای در بخش‌هایی از ساحل باختری دریاچه به بیش از ۶۰ سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۱d). دانه‌های پوشش‌دار در رسوبات مغزه‌های برداشت‌شده از بستر دریاچه نیز گزارش شده‌اند (امینی و همکاران ۱۳۸۸؛ محمدی ۱۳۸۴).



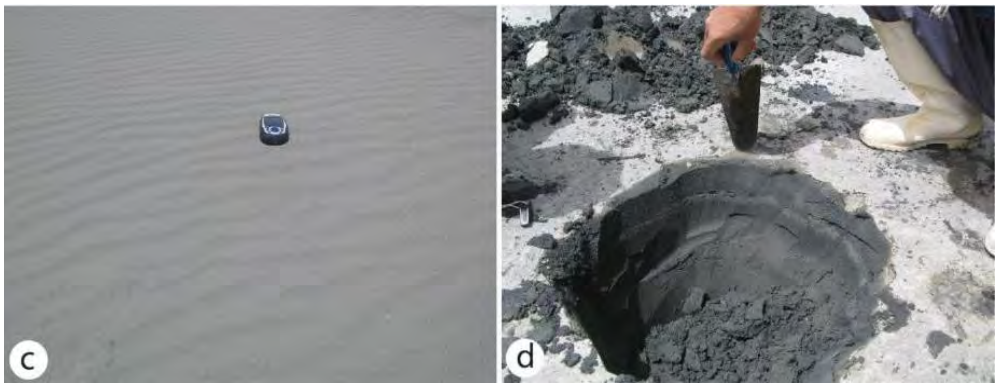
شکل ۱. a) سواحل ماسه‌ای دریاچهٔ ارومیه؛ b) تصویری از دانه‌های پوشش‌دار زیر نور میکروسکوپ بینوکولار؛

1. Sandy beach
2. Coated grains

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID



ادامهٔ شکل ۱. c) ریپل‌مارک‌های بادی در سواحل ماسه‌ای؛ d) تصویری از لایه‌های ماسه‌ای سیاه‌رنگ در بستر ساحل غربی دریاچهٔ ارومیه

پهنه‌های گلی[1]

پهنه‌های گلی عمدتاً از رسوبات دانه‌ریز گلی (سیلت و رس) تشکیل شده‌اند و در حد فاصل پهنه‌های ماسه‌ای و پهنه‌های نمکی قرار دارند. در بخش‌هایی از ساحل دریاچه، که پهنه‌های ماسه‌ای وجود ندارد، این پهنه‌ها اولین پهنهٔ ساحلی دریاچهٔ ارومیه به شمار می‌روند (شکل a۲). وسعت پهنه‌های گلی با شیب بستر دریاچه رابطهٔ معکوس دارد؛ به گونه‌ای که با کاهش شیب وسعتِ این پهنه‌ها افزایش پیدا می‌کند. پهنه‌های گلی در ساحل خاوری دریاچه، که دارای شیب کمتری نسبت به ساحل باختری است، گسترش و وسعت بیشتری دارند. همچنین وسعت پهنه‌های گلی با آورد رسوبی رودخانه‌های ورودی به دریاچه رابطهٔ مستقیم دارد. مثلاً، رودخانهٔ آجی‌چای به دلیل عبور از سازندهای تخریبی و تبخیری میوسن با فرسایش‌پذیری بالا دارای بار رسوبی بسیار بالایی است و به تشکیل دلتای بسیار بزرگی در خاور دریاچه منجر شده است. این دلتا با شیب بسیار کمی به پهنهٔ گلی دریاچه تبدیل می‌شود. به همین دلیل وسعت پهنه‌های گلی در سواحل خاوری و جنوبی دریاچه بسیار بیشتر از ساحل شمالی و باختری دریاچه است. در مناطقی از ساحل که پهنه‌های گلی در مصب رودخانه‌ها قرار دارند یا از چشمه‌های آب زیرزمینی تغذیه می‌شوند محیط‌های باتلاقی با پوشش نیزاری توسعه یافته‌اند(شکل b۲). پهنه‌های گلی به دلیل دانه‌ریز بودن رسوبات و ایجاد زمین‌های پف‌کرده به‌آسانی در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرند و حجم عظیمی از رسوبات دانه‌ریز را به هنگام طوفان‌های گرد و خاک وارد محیط اطراف می‌کنند و برای جوامع انسانی و زمین‌های کشاورزی اطراف دریاچه مشکلات زیست‌محیطی به وجود می‌آورند. از ساخت‌های رسوبی مهم موجود در پهنه‌های گلی می‌توان به ترک‌های گلی، زمین‌های پف‌کرده با ساخت تی‌پی، و دیاپیرهای گلی اشاره کرد (شکل ۲).

ترک‌های گلی[2]

پلی‌گون‌ها یا ترک‌های گلی یکی از ساخت‌های مهم رسوبی پهنه‌های گلی‌اند که در اندازه‌های مختلف دیده می‌شوند. در برخی موارد به دلیل تبخیر آب درون‌منفذی پهنه‌های گلی و خاصیت مویینگی لایهٔ بسیار نازک و سفیدرنگی از رسوبات

1. Mud plain
2. Mud cracks

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

تبخیری بر پهنه‌های گلی و نیز ترک‌های گلی ایجاد می‌شود (شکل d۲ و c۲). در چنین مواردی تشخیص ترک‌های گلی از پلی‌گون‌های نمکی دشوار است.

زمین‌های پف‌کرده با ساخت تی‌پی[1]

این ساخت‌ها عمدتاً در پهنه‌های گلی و گلی‌ـ نمکی اطراف دریاچه به صورت زمین‌های پف‌کرده دیده می‌شوند (شکل f۲ و e۲). ساخت تی‌پی به شکل مخروط‌های توخالی (چادر سرخ‌پوستی) نامنظم است که ارتفاع آن‌ها گاه به بیش از ۱۰ سانتی‌متر می‌رسد. این ساخت‌ها به دلیل تبخیر آب درون‌منفذی موجود در پهنه‌های گلی و رسوب کانی‌های تبخیری (کانی‌های سری سولفات‌ها و کلریدها) موجود در این آب‌ها در سطح بالایی پهنه‌های گلی تشکیل می‌شوند. رسوب نمک داخل خلل و فرج پهنه‌های گلی منجر به تشکیل زمین‌های پف‌کرده یا ساخت‌های تی‌پی می‌شود (اسرتو و همکاران ۱۹۷۷). زمین‌های پف‌کرده بسیار شکننده‌اند و در مقابل باد مقاومت بسیار پایینی دارند و به‌راحتی تخریب می‌شوند و می‌توانند منشأ اصلی نمک در طوفان‌های گرد و غبار در دریاچهٔ ارومیه باشند (اسرتو و همکاران ۱۹۷۷).

شکل ۲. a) پهنه‌های گلی بسیار وسیع و نرم در جنوب دریاچه و پهنهٔ گلی در سواحل دهکدهٔ توریستی چی‌چست؛ b) باتلاق‌های ساحلی تغذیه‌کننده از آب شیرین چشمه‌ها در ساحل روستای رشکان؛ c) پهنهٔ گلی همراه با ترک‌های گلی در جنوب دریاچه؛ d) ترک‌های گلی موجود در پهنهٔ گلی که با لایهٔ نازکی از رسوبات تبخیری سفیدرنگ حاصل از تبخیر آب‌های شور درون‌منفذی پوشیده شده است؛ e و f) زمین‌های پف‌کرده (ساخت تی‌پی یا چادر سرخ‌پوستی) در پهنه‌های گلی‌ـ نمکی دریاچهٔ ارومیه

1. Tepee

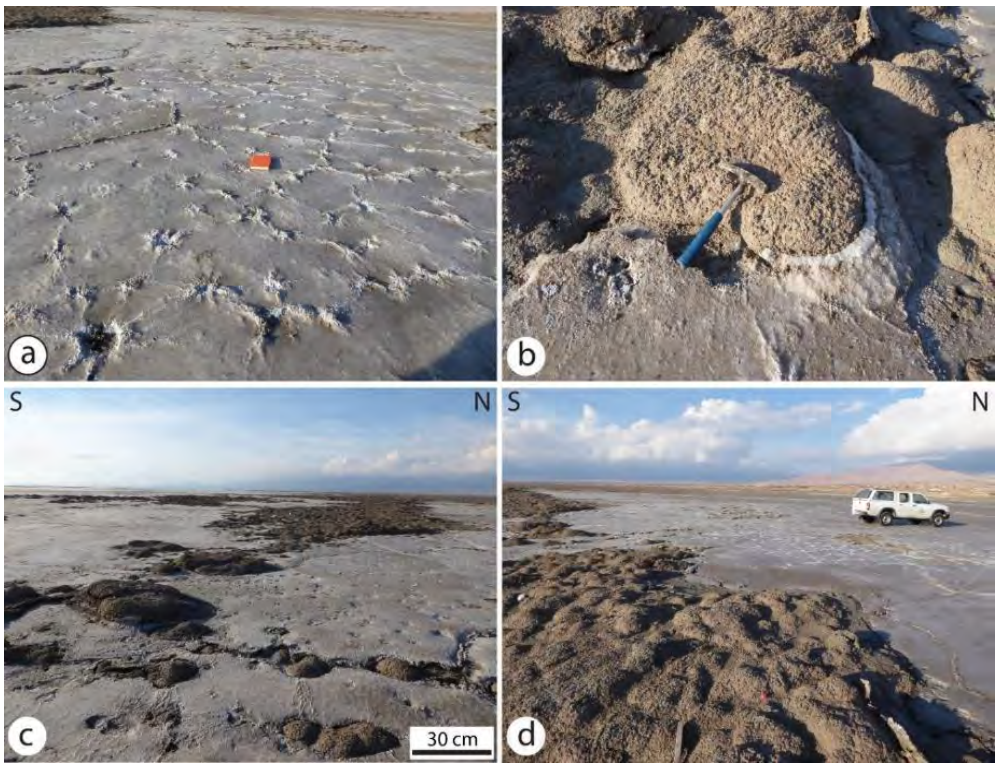
Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

دیاپیرهای گلی[1]

این ساخت‌ها عمدتاً در پهنه‌های گلی- نمکی اطراف دریاچه، که لایهٔ کم‌ضخامتی از نمک و رسوبات تبخیری روی پهنهٔ گلی قرار گرفته است، تشکیل می‌شوند. دیاپیرهای گلی عمدتاً به شکل تپه‌های گلی مدوّر و بالشی‌شکل کوچک (تا ۵۰ سانتی‌متر) و کم‌ارتفاع (تا ۲۰ سانتی‌متر) دیده می‌شوند و تخلخل بسیار بالایی دارند. این ساخت‌ها به دلیل تبخیر و خاصیت موییننگی رسوبات گلی، که دارای مقادیر بالای کربنات هستند، ایجاد می‌شوند و به صورت دیاپیرهای کوچک گلی رشد می‌کنند و لایهٔ کم‌ضخامت نمک سطحی را در بخش‌های مختلف تخریب و به سمت بالا رشد می‌کنند (شکل a۳ و b۳ و c۳). این ساخت‌ها منجر به تشکیل پهنه‌های گلی ناهموار در حاشیهٔ دریاچهٔ ارومیه می‌شوند (شکل d۳). بیشترین گسترش دیاپیرهای گلی در پهنه‌های گلی شمال دریاچه است.



شکل ۳. a) مراحل تشکیل دیاپیرهای گلی: بالا آمدن گل و سوراخ شدن پوستهٔ نمکی؛ b) رشد دیاپیرهای گلی و تخریب کامل پوستهٔ نمکی؛ c و d) ایجاد دیاپیرهای گلی گسترده و زمین‌های ناهموار گلی با ساختار پشته‌ای کوچک در سواحل شمالی دریاچه

پهنه‌های نمکی[2]

امروزه به دلیل کاهش شدید تراز آب دریاچه، بخش وسیعی از هر دو پهنهٔ آبی و خشکی دریاچهٔ ارومیه را پهنه‌های نمکی

1. Mud diapirs
2. Salt plain

www.SID.ir

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

Archive of SID

(رسوبات تبخیری و عمدتاً هالیت) تشکیل می‌دهند (شکل a۴ و b۴). بخش بزرگی از مناطق خشک‌شدهٔ دریاچه (حد فاصل پهنهٔ گلی و پهنهٔ آبی دریاچه) را پهنه‌های نمکی فراگرفته است (شکل a۴ و b۴). گسترش پهنه‌های نمکی بر خلاف پهنه‌های گلی رابطهٔ مستقیمی با عمق آب و شیب بستر دریاچه دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش عمق آب و شیب بستر در باختر دریاچه نسبت به خاور دریاچه ضخامت نمک در پهنه‌های نمکی افزایش می‌یابد. بدین صورت که ضخامت نمک در ساحل جزیرهٔ اسلامی (خاور دریاچه) از ۴۰ سانتی‌متر به بیش از ۱۵۰ سانتی‌متر در شمال زنبیل‌داغی (باختر دریاچه) می‌رسد. بیشینهٔ ضخامت نمک در عمیق‌ترین بخش دریاچه در ساحل باختری بخش شمالی (گوورچین قالا) به ۳۰۰ سانتی‌متر می‌رسد. به طور کلی وسعت و ضخامت پهنهٔ نمکی در بخش شمالی به مراتب بیشتر از بخش جنوبی دریاچه (عمق کم آب دریاچه با ورودی آب شیرین زیاد و انحلال نمک بستر دریاچه در بخش جنوبی) است. میکرولندفرم‌های متفاوتی از فرایندهای انحلال و تبخیر و رسوب تبخیری‌ها در بخش‌های مختلف پهنه‌های نمکی دریاچه دیده می‌شوند. عوامل مختلف- مانند میزان و حجم آب‌های شیرین و بار رسوبی وارده به دریاچه، میزان و سرعت تبخیر شورابه، جهت و شدت وزش باد- اندازه و شکل و نوع میکرولندفرم‌های موجود در پهنه‌های نمکی را کنترل می‌کنند. انواع مختلف ساخت‌های انحلالی، رشد انواع بلورهای هالیت و سیلویت، هالیت‌های شعاعی، ریپل‌مارک‌های نمکی، پلی‌گون‌های نمکی، قارچ‌های نمکی، پشته‌های ژیپسی- نمکی، خط ساحلی نمکی، ساخت‌های نعل‌اسبی، حفره‌ها و غارهای نمکی، پهنه‌های گسیختگی نمک، و فرش‌های جلبکی از انواع مهم میکرولندفورم‌های پهنه‌های نمکی‌اند.

ساخت‌های انحلالی نمک[1]

آب شیرین با قدرت انحلالی بالا از طریق رودخانه‌های دائمی و فصلی و نیز آب برف و باران وارد دریاچهٔ ارومیه می‌شود. آب همهٔ رودخانه‌های حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه، به استثنای آجی‌چای، شیرین است (شهرابی ۱۳۷۲). آب این رودخانه‌ها در محل رسیدن به پهنه‌های نمکی دریاچه به انحلال نمک موجود در بستر دریاچه منجر می‌شود. روی اکثر رودخانه‌های دائمی حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه سد احداث شده و بار رسوبی بستر و معلق رودخانه‌ها پشت سدها جمع می‌شود و مقدار بسیار کمی بار معلق از طریق باز کردن آب پشت سدها وارد دریاچه می‌شود. با توجه به اینکه این آب‌ها شیرین‌اند و بار رسوبی بسیار کمی دارند چگالی بسیار پایین‌تری نسبت به شورابهٔ دریاچهٔ ارومیه دارند و پس از رسیدن به پهنهٔ آبی دریاچه به صورت لایه‌ای از آب شیرین روی شورابه قرار می‌گیرند و تا مسافت زیادی به سمت داخل دریاچه منتقل می‌شوند و به صورت تدریجی با شورابهٔ دریاچه مخلوط و منجر به انحلال رسوبات تبخیری بستر دریاچه می‌شوند (محمدی ۱۳۸۴). برخلاف رودخانه‌های دائمی، رودخانه‌های فصلی بار رسوبی بستر و معلق زیادتری با خود به سمت دریاچه حمل می‌کنند و به دلیل قدرت جریان و چگالی بالا (بار معلق سیلت و رسی) و نیز شیرین بودن آب دارای قدرت انحلال‌پذیری بالایی هستند و با حفر کانال‌هایی در پهنهٔ گلی و نمکی حاشیهٔ دریاچه به مناطق عمیق‌تر دریاچه می‌رسند (شکل c۴) و به‌تدریج بار رسوبی خود را، که عمدتاً سیلت و رس است، بر جای می‌گذارند. این رسوبات دانه‌ریز آواری را می‌توان در حاشیهٔ پرشیب ریپل‌مارک‌های جریانی بستر دریاچه نیز مشاهده کرد. گاه نیز، به دلیل حجم بالای مواد آواری

1. Salt dissolution structures

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

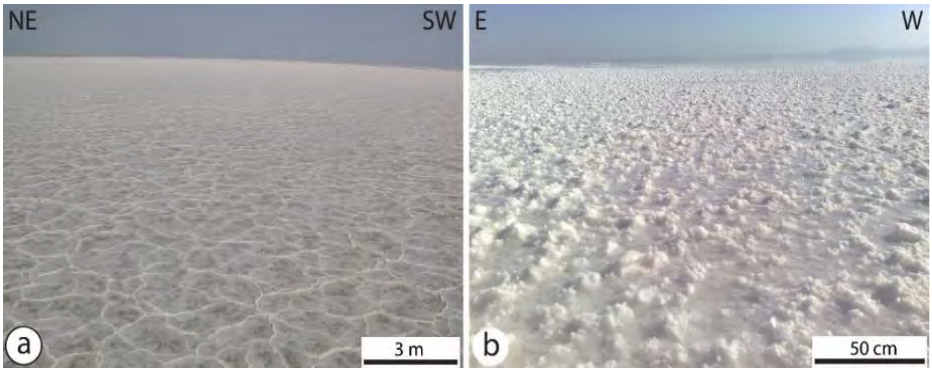
www.SID.ir

Archive of SID

معلق، رس‌ها حالت فلوکوله پیدا می‌کنند و پس از اختلاط آب شیرین رودخانه و آب شور دریاچه مسافت زیادتری را به سمت مرکز دریاچه طی می‌کنند (شاه‌حسینی ۱۳۸۲) و پس از رسوب لایه‌ای از رس‌ها روی لایه‌های نمک بستر دریاچه تشکیل می‌شود. انحلال و رسوب نمک همراه مواد آواری، مانند رس‌ها، منجر به تشکیل لایه‌ای از رسوبات تبخیری همراه رس‌ها می‌شود که رنگ خاکستری تا قهوه‌ای دارند.

آب شیرین باران نیز منجر به انحلال نمک در پهنهٔ نمکی خشک دریاچه با اشکال و اندازه‌های گوناگون و ساختارهای حفره‌مانند می‌شود که با گسترش انحلال حفره‌ها به هم متصل می‌شوند و انحلال لایه‌ای نمک را ایجاد می‌کنند. به طور کلی، اشکال انحلالی به دو گروه میکروسکوپی و ماکروسکوپی تقسیم می‌شوند. اشکال انحلالی میکروسکوپی عمدتاً حفره‌های انحلالی مغروق[1] کوچک، با عرض بیشینهٔ ۵ سانتی‌متر و عمق بیشینهٔ ۳ سانتی‌متر، هستند که بخشی از آن به وسیلهٔ رسوبات دانه‌ریز رسی و سیلتی پر شده است و ممکن است حاصل فروریزش بخش‌هایی باشند که به‌تازگی پوستهٔ نمکی آن شکل گرفته است (شکل d۴). همچنین، در سواحل صخره‌ای جزایر دریاچهٔ ارومیه به دلیل شیب زیاد جریان آب‌های شیرین حاصل از بارندگی‌ها به سمت بخش‌های پوشیده‌شده با رسوبات تبخیری منجر به انحلال شیاری نمک[2] می‌شود که به صورت شیارهایی با عمق بیشینهٔ ۴ سانتی‌متر، طول بیش از ۲۰ سانتی‌متر، و لبه‌های تیز دیده می‌شوند (شکل e۴).

اشکال انحلالی ماکروسکوپی عمدتاً شامل پوسته‌های نمکی ضخیم متشکل از هالیت‌اند. اشکال انحلال عمودی همانند حفره و لوله‌های میکروکارست[3] و عموماً به همراه سطوح برش‌خوردهٔ انحلالی در پوسته‌های ضخیم هالیت‌اند. اکثر حفره‌ها گوه‌ای‌شکل‌اند که به سمت پایین افتادگی دارند و عرض آن‌ها گاه به بیش از ۲۰ سانتی‌متر و عمق آن‌ها به بیش از ۱۵ سانتی‌متر می‌رسد. گسترش حفره‌های انحلالی و اتصال به یک‌دیگر منجر به انحلال پوستهٔ نمکی دریاچه در مقیاس بزرگ‌تر می‌شود (شکل f۴). همچنین رسوبات تبخیری موجود بر پشته‌های نمکی دریاچه، به دلیل انحلال با آب باران، مورفولوژی ناهموار شبیه به ساخت تی‌پی و نیز گاه حالت گل‌کلمی ایجاد می‌کنند.



شکل ٤. نمونه‌ای از پهنه‌های نمکی دریاچهٔ ارومیه: a) پهنهٔ نمکی با پلی‌گون‌های نمکی که عمدتاً در بخش‌های مرکزی دریاچه مشاهده می‌شود؛ b) پهنهٔ نمکی با ساختار انحلالی در نتیجهٔ آب شیرین باران در شمال دریاچه؛

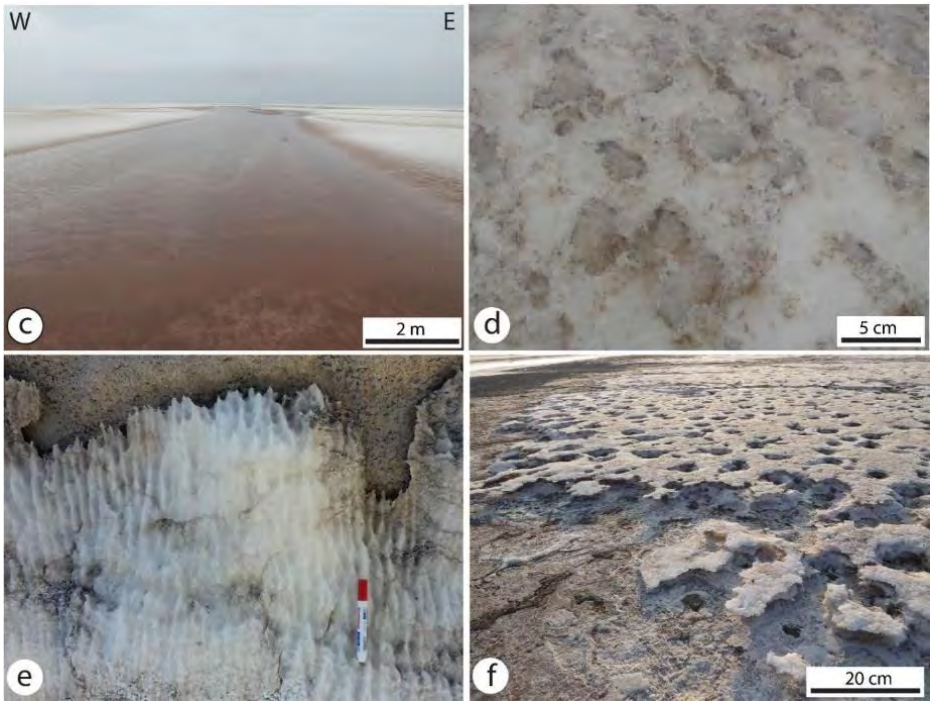
1. Submerged dissolution pits
2. Salt dissolution groove
3. Microcarst pits and pipes

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020



ادامهٔ شکل ٤. c) حفر پهنه‌های نمکی بستر دریاچه توسط رودخانه‌های آب شیرین فصلی که به دلیل فرسایش‌پذیری بالای رسوبات قاره‌ای میوسن کوه‌های میشو در شمال باختر دریاچه حجم بالایی از بار رسوبی را وارد دریاچه می‌کنند؛ d) حفره‌های انحلالی میکروسکوپی و مغروق حاصل از آب شیرین باران؛ e) انحلال شیاری نمک در سواحل صخره‌ای جزایر دریاچه؛ f) گسترش حفره‌های انحلالی ماکروسکوپی و انحلال کامل لایهٔ نمک.

رشد بلورهای هالیت[1] و سیلویت[2]

بلورهای سفیدرنگ هالیت (کلرید سدیم) با سیستم تبلوری کوبیک عمدتاً به صورت درشت‌بلورهای مکعبی و اسکلتی (شکل a۵) و گاه به صورت بلورهای بسیار ریزدانه که حالت توده‌ای دارند در بستر و نیز پهنه‌های نمکی خشک دریاچهٔ ارومیه دیده می‌شوند. بلورهای هالیت عمدتاً به صورت اشکال گل‌کلمی از کف بستر دریاچه به سمت بالا رشد می‌کنند (شکل b۵). بلورهای مکعبی و اسکلتی هالیت نیز در فضاهای بین پشته‌های نمکی، که شورابه عمق زیاد و حالت ساکن دارد، رشد می‌کنند. همچنین رشد بلورهای هالیت را می‌توان در سطح حفره‌های ژئودمانند حاصل از انحلال نمک مشاهده کرد. در بخش‌هایی از ساحل، هالیت به صورت کریستال‌های ورقه‌ای دیده می‌شود (شکل c۵). بلورهای ورقه‌ای عمدتاً در سواحل دریاچه به دلیل تبخیر شدید آب به صورت ورقه‌های نازکی از هالیت در سطح آب تشکیل می‌شوند و سپس به بستر دریاچه سقوط می‌کنند. کانی سیلویت (کلرید پتاسیم) با سیستم بلوری هگزاوکتاهدرال (لرچه ۱۹۸۷) به صورت درشت‌بلورهای شفاف و بی‌رنگ، که گاه اندازهٔ بلورها به بیش از ۲ سانتی‌متر می‌رسد (شکل d۵)، داخل حفره‌های ژئودمانند تشکیل می‌شوند. تیپ شورابهٔ دریاچهٔ ارومیه تا قبل از سال ۲۰۱۰ به صورت شورابهٔ Na-Mg-Cl بوده و با

1. Halite
2. Sylvite

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش تبخیر و کاهش حجم شورابه به تیپ Mg-Na-(k)-Cl رسیده و نسبت سدیم به منیزیم در شورابه به‌شدت کاهش یافته است. با وجود این، هنوز شرایط برای رسوب مستقیم پتاسیم (کانی سیلویت) از شورابهٔ اصلی دریاچه فراهم نیست (درویشی خاتونی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱). فرایند تشکیل سیلویت در دریاچهٔ ارومیه به صورت محلی و در ارتباط با فرایندهای انحلال و تبخیر و رسوب‌گذاری است؛ بدین گونه که با ورود آب‌های شیرین کم‌چگال (آب‌های جوّی و رواناب‌ها) با قدرت انحلال‌پذیری بالا به دریاچه نمک‌های رسوب‌کرده در بستر دریاچه به اشکال مختلف انحلال می‌یابند. در برخی موارد انحلال منجر به تشکیل حفره‌هایی با اندازه‌های متفاوت (گاه بیش از ۱ متر) و عمق بیش از ۳۰ سانتی‌متر در سواحل کم‌عمق دریاچه می‌شود (شکل ۶a). با تبخیر تدریجی آب دریاچه بلورهای هالیت از حاشیهٔ حفره‌ها به سمت مرکز حفره رشد می‌کند و کم‌کم سطح حفره‌ها با بلورهای رشدیافتهٔ هالیت بسته می‌شود و بخشی از شورابهٔ دریاچه در داخل حفره‌ها به تله می‌افتد (شکل ۶b و ۶c). با ادامهٔ روند رسوب‌گذاری و خروج عنصر سدیم از شورابه از طریق رسوب هالیت، نوبت به خروج پتاسیم به صورت تشکیل بلورهای سیلویت می‌رسد. به دلیل سرعت تبخیر بسیار پایین شورابهٔ به‌تله‌افتاده در داخل حفره‌ها رشد کانی سیلویت به‌آرامی صورت می‌گیرد و امکان تشکیل درشت‌بلورهای سیلویت در این حفره‌های ژئودمانند فراهم می‌آید (شکل ۶d). فرایند انحلال نمک و تشکیل حفره‌های ژئودمانند و رسوب سیلویت عمدتاً در سواحل باختری و شمال باختری دریاچه متمرکز است.

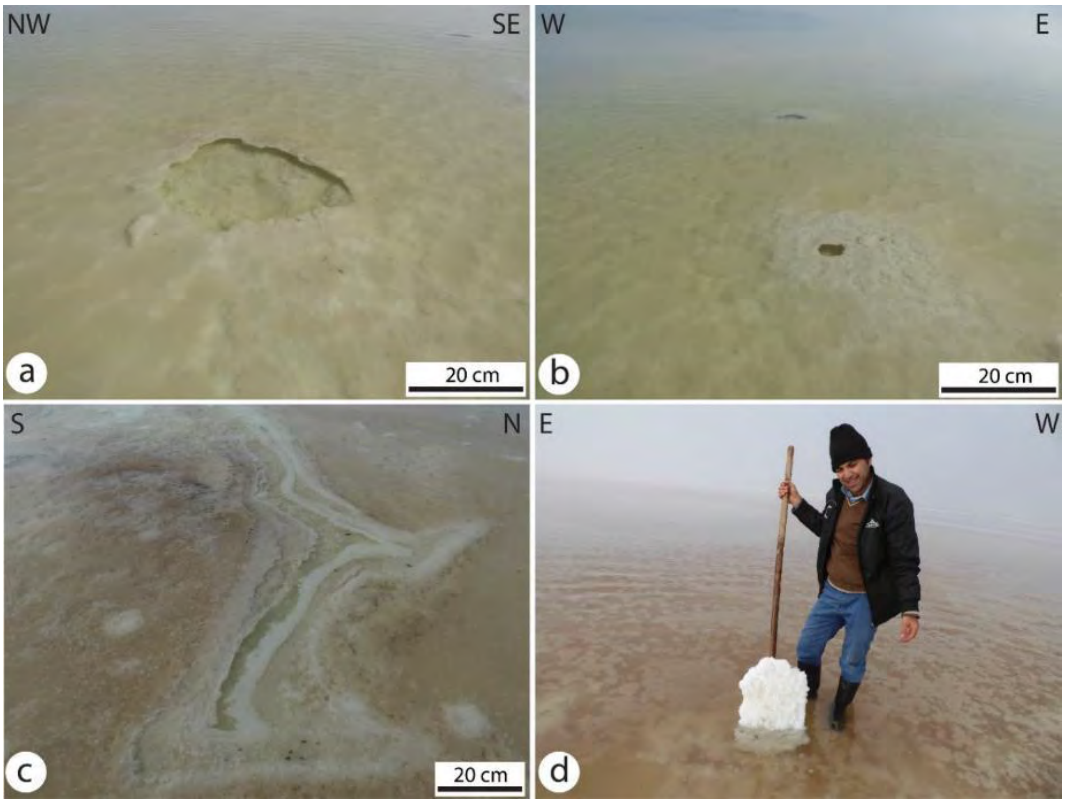
شکل ۵. a) رشد کانی هالیت به صورت بلورهای کوبیک اسکلتی هوپر؛ b) رشد بلورهای کوبیک هالیت و ایجاد ساخت‌های گل‌کلمی در بستر دریاچه؛ c) رشد بلورهای ورقه‌ای هالیت؛ d) بلورهای هگزااوکتاهئدرال درشت و شفاف سیلویت.

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020



شکل ٦. a) ساخت‌های انحلالی ژئودمانند حاصل از انحلال نمک بستر دریاچه توسط آب شیرین؛ b و c) تبخیر شورابه و بسته شدن سطح حفره‌ها توسط رشد بلورهای هالیت و نهایتاً رشد و تشکیل کریستال‌های بزرگ سیلویت در داخل حفره‌ها؛ d) نمونه‌ای از کانی‌های درشت‌بلور سیلیویت تشکیل‌شده در داخل حفره‌های ژئودمانند.

هالیت‌های شعاعی[1]

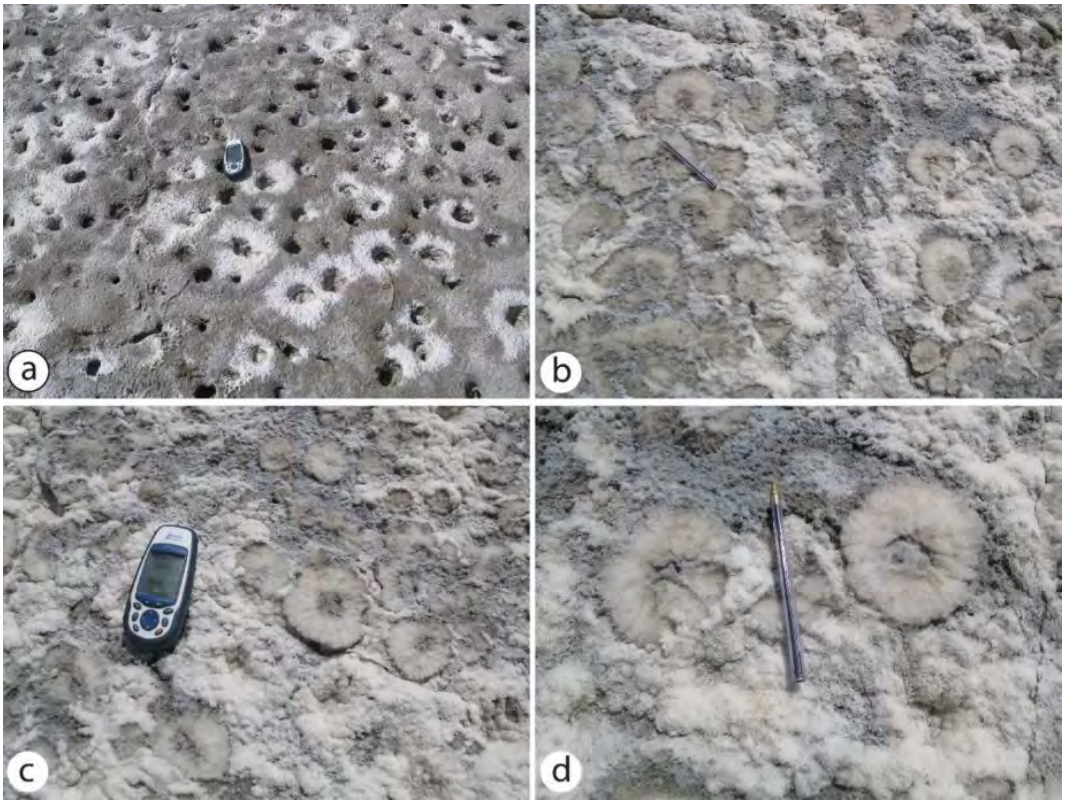
فرایند انحلال نمک به صورت حفره‌های دایره‌شکل توسط آب شیرین باران در پهنه‌های گلی ـ نمکی (شکل a۷) و رشد بلورهای هالیت به صورت شعاعی داخل این حفره‌ها منجر به تشکیل هالیت‌های شعاعی می‌شود (شکل b۷ و c۷ و d۷). اندازهٔ هالیت‌های شعاعی گاه به بیش از ۲۰ سانتی‌متر می‌رسد. هالیت‌های شعاعی عمدتاً استوانه‌شکل‌اند که در مقطع عرضی در سطح زمین به دو صورت دایره‌شکل متقارن و غیرمتقارن دیده می‌شوند (شکل c۷ و d۷). تخلیهٔ شورابه‌های فوق‌اشباع درون‌منفذی به داخل فضای آزاد ایجادشده در حفره‌ها و نهایتاً تبخیر شورابه‌ها منجر به رشد بلورهای شعاعی هالیت از دیوارهٔ حفره به سمت داخل می‌شود و بلورهای شعاعی هالیت را ایجاد می‌کند که با رنگ روشن‌تر دیده می‌شوند. در بخش مرکزی حفره‌ها، فاز نهایی تبلور تشکیلِ بلورهای هالیت خاکستری‌رنگ (به دلیل وجود ناخالصی ها) است (شکل b۷ و c۷ و d۷). این ساخت رسوبی عمدتاً در پهنه‌های گلی‌ـ نمکی باختری دریاچه مشاهده می‌شود.

1. Radial Halite

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020



شکل ۷. a) رشد شعاعی هالیت: انحلال نقطه‌ای نمک و ایجاد حفره‌های استوانه‌شکل در پهنه‌های گلی- نمکی؛ b و c و d) رشد و تشکیل بلورهای شعاعی هالیت در اندازه‌های متفاوت در داخل حفره‌ها در نتیجهٔ تبخیر آب درون‌منفذی.

ریپل‌مارک‌های نمکی[1]

به غیر از ریپل‌مارک‌های ماسه‌ای که در سواحل ماسه‌ای دیده می‌شوند، ریپل‌مارک‌های نمکی روی پهنهٔ نمکی دریاچه نیز تحت تأثیر جریان آب و باد با اشکال و اندازه‌های مختلف تشکیل می‌شوند (شکل ۸a و ۸b). بخشی از ریپل‌های نمکی در دریاچهٔ ارومیه عمدتاً تحت تأثیر جریان آب‌های ورودی (رودخانه‌ها) به دریاچه‌اند و در دهانهٔ ورودی رودخانه‌ها تشکیل می‌شوند. مثلاً، در بخش خاوری دریاچه در منطقهٔ وسیعی در دهانهٔ رودخانهٔ آجی‌چای ساخت ریپل‌مارک‌های جریانی نمک قابل مشاهده‌اند (شکل ۸a). این ریپل‌مارک‌ها نامتقارن‌اند و در بخش پرشیب ریپل‌ها ذرات آواری دانه‌ریز (عمدتاً در اندازهٔ سیلت) تجمع پیدا کرده‌اند. مقدار رسوبات آواری در ریپل‌مارک‌های جریانی حاصل از رودخانه‌های فصلی با بار رسوبی معلق زیاد بسیار بیشترند (شکل ۸b). بخش دیگر ریپل‌های نمکی دریاچه تحت تأثیر وزش باد با سرعت کم و در جهت خاص بر آب‌ها و سطوح نمکی است؛ به گونه‌ای که در مناطقی با عمق آب کم (کمتر از ۱۵ سانتی‌متر) امواج و جریان‌هایی به وسیلهٔ وزش باد بر آب شکل می‌گیرند و بستر دریاچه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در مناطقی که بستر دریاچه به وسیلهٔ ماسه و گراول‌های ناپیوسته و نیز بلورهای نمکی

1. Salty ripple marks

www.SID.ir

Archive of SID

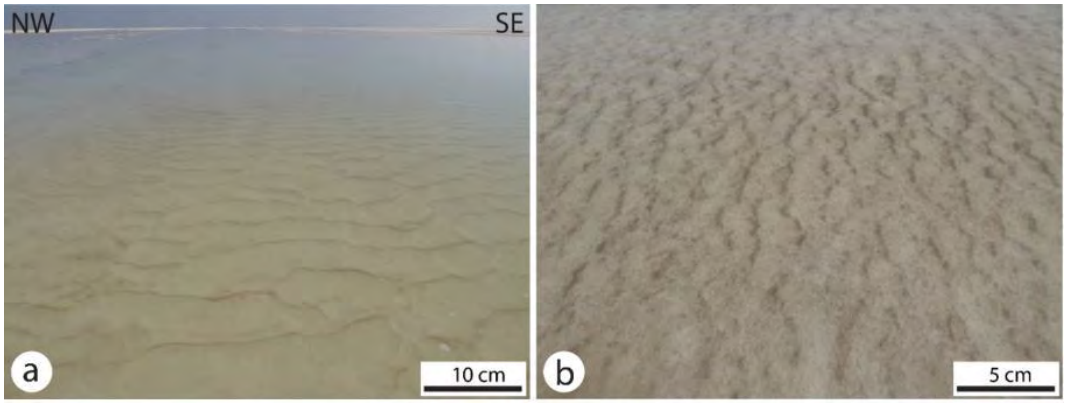
شکسته و منفصل پوشیده شده باشد رسوبات منفصل‌ساخت جریانی (ریپل‌های نمکی نامتقارن) با ارتفاع ۳ تا ۵ سانتی‌متری را به وجود می‌آورند.

پلی‌گون‌های نمکی[1]

پهنهٔ نمکی خشک‌شدهٔ دریاچه سطح نمکی سخت و خشکی است که به وسیلهٔ شبکه‌ای از شکاف‌ها به صورت متقاطع بریده شده است. این شکاف‌ها پوستهٔ نمکی سطحی را به صورت قطعات به هم متصل شده شکسته‌اند. مورفولوژی چندوجهی این شکاف‌ها عمدتاً به صورت پنج‌گوشه و شش‌گوشه در اندازه‌های مختلف است (شکل c۸ و d۸ و e۸). اندازهٔ این پلی‌گون‌ها از چند سانتی‌متر گاه به ۵ متر نیز می‌رسد. اندازهٔ پلی‌گون‌ها رابطهٔ معکوسی با ضخامت نمک در پهنهٔ نمکی دارد و با افزایش ضخامت نمک اندازهٔ پلی‌گون‌ها کاهش پیدا می‌کند. پلی‌گون‌ها در پهنه‌های گلی ـ نمکی، که ضخامت نمک کمتر است، دارای اشکال منظم‌تر و اندازهٔ بزرگ‌ترند (شکل d۸ و e۸).

قارچ‌های نمکی[2]

در زمان تبلور هالیت به دلیل تبخیر شدید در فصل تابستان در بخش‌هایی از دریاچه ستون‌های کوچکی از نمک در آب‌های کم‌عمق شروع به رشد می‌کنند و زمانی که به سطح می‌رسند رشد آن‌ها سرعت بیشتری پیدا می‌کند و اشکالی شبیه قارچ ایجاد می‌کنند. اشکال قارچ‌شکل نمک عمدتاً روی پشته‌های نمکی در حال رشد تشکیل می‌شوند. این پشته‌ها عمق کمی دارند و به دلیل تبخیر اولین مناطقی از دریاچه‌اند که کاهش عمق پیدا می‌کنند و در معرض خشک شدن قرار می‌گیرند (شکل f۸). در برخی موارد نیز انحلال نمک‌های موجود بر پشته‌های نمکی اشکال انحلالی قارچ‌مانند ایجاد می‌کنند که قابل تشخیص از اشکال قارچ‌شکل حاصل از تبلور نمک‌اند.



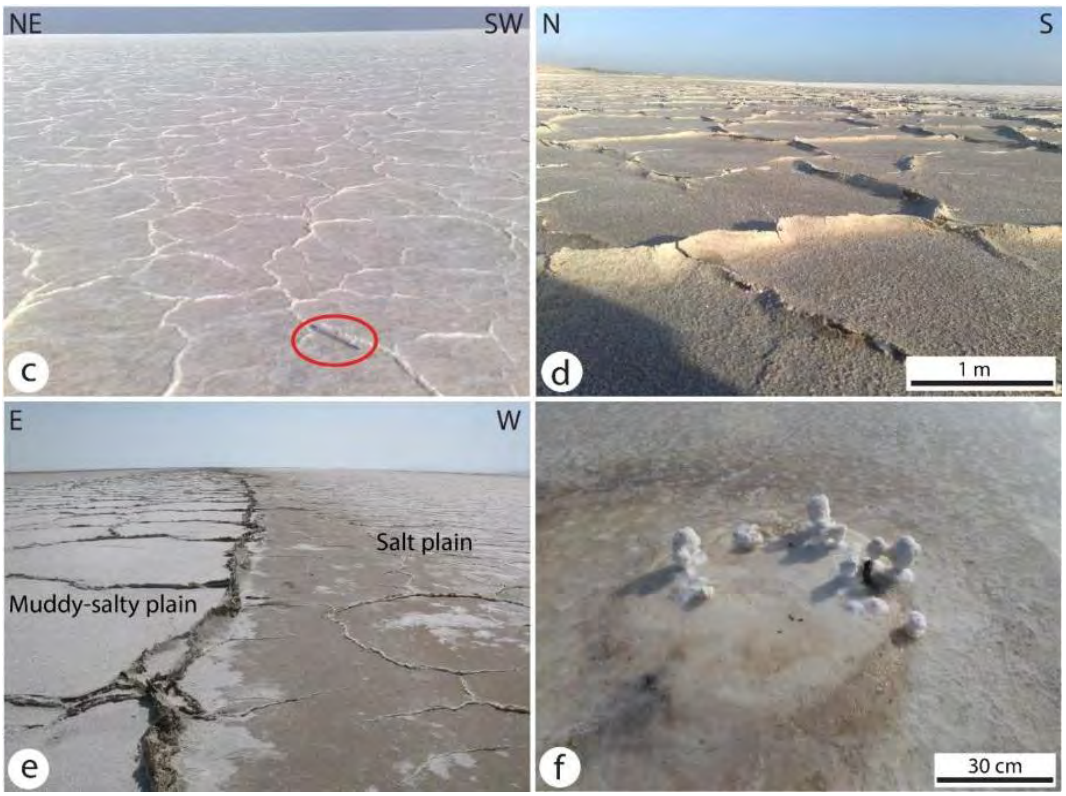
شکل ۸. a) ریپل‌مارک‌های نمکی بزرگ در دهانهٔ رودخانهٔ آجی‌چای در خاور دریاچه؛ b) ریپل‌مارک‌های جریانی همراه با رسوبات آواری در دهانهٔ رودخانه‌های فصلی در شمال دریاچه؛

1. Salt polygons
2. Salt mushroom

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID



ادامهٔ شکل ۸. و d و e) پلی‌گون‌های نمک با اشکال و اندازه‌های مختلف در پهنه‌های نمکی و گلی‌ـ نمکی دریاچه؛ f) اشکال قارچ‌شکل حاصل از تبلور نمک بر پشته‌های نمکی.

پشته‌های نمکی[1]

پشته‌های نمکی در اندازه (از ۵۰ سانتی‌متر تا بیش از ۲۰ متر) و اشکال مختلف (دایره‌شکل، بیضوی، خطی) در دریاچهٔ ارومیه دیده می‌شوند (شکل a۹ و b۹). ارتفاع این پشته‌ها از سطح آب دریاچه گاه به بیش از ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. جنس این پشته‌ها عمدتاً هالیت است. سطح این پشته‌ها به دلیل خروج از آب تحت تأثیر آب شیرین باران انحلال می‌یابد و ساخت‌های انحلالی گل‌کلمی در سطح اکثر پشته‌ها مشاهده می‌شود. پشته‌هایی از جنس ژیپس هم در دریاچهٔ ارومیه گزارش شده است (امینی و همکاران ۱۳۸۸) که در اطراف آن‌ها (حد فاصل آب‌وهوا و عمق کمتر از ۵ سانتی‌متر) مواد آلی میکروبی و فرش‌های جلبکی سیاه‌رنگ غنی از مادهٔ آلی به صورت دایره‌های متحدالمرکز به‌وفور مشاهده می‌شود (شکل a۹). فرش‌های جلبکی و نیز کلونی‌های میکروبی و استراماتولیت‌ها با افزایش تبخیر و شوری آب دریاچه منجر به رسوب کانی ژیپس به صورت بیوشیمیایی در اطراف پشته می‌شوند. ولی مقدار ژیپس در مقایسه با هالیت که به صورت شیمیایی از آب دریاچه رسوب می‌کند بسیار ناچیز است (وارن ۱۹۸۲؛ بابل و همکاران ۲۰۱۱؛ آلوود و همکاران ۲۰۱۳؛ راسوک و همکاران ۲۰۱۴). پشته‌های نمکی به صورت هسته‌های اولیه برای تبلور و ته‌نشست نمک از شورابهٔ دریاچه عمل می‌کنند و تشکیل نمک به صورت حلقه‌های متحدالمرکز

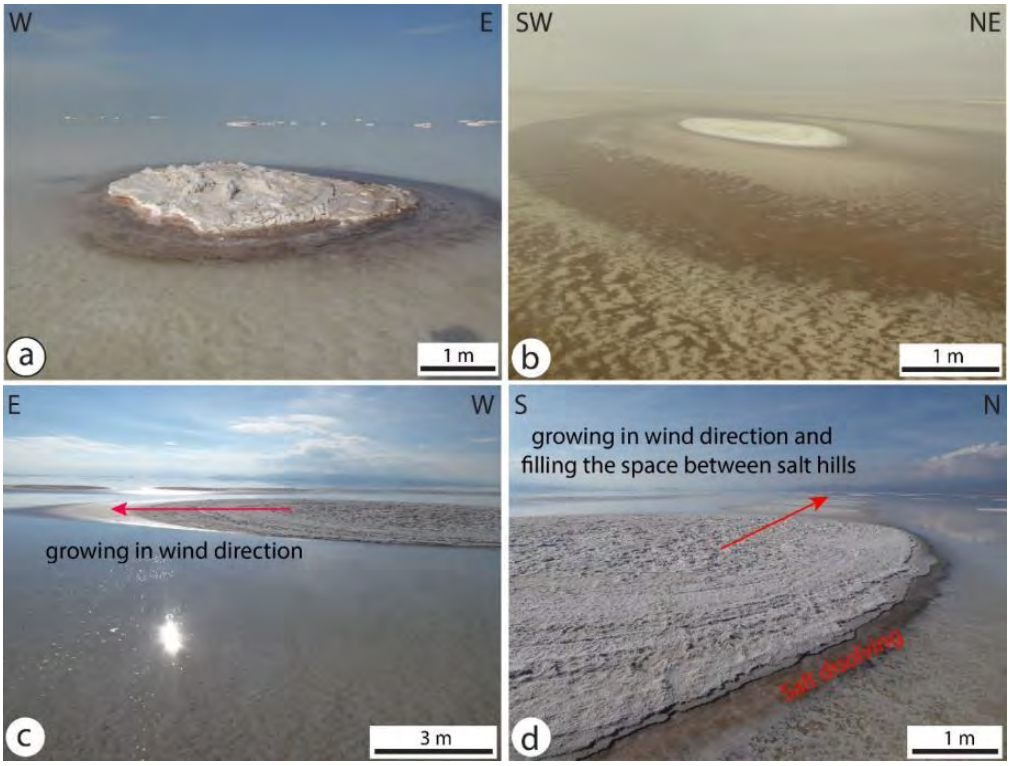
1. Salt mounds

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

در اطراف پشته‌ها منجر به رشد و گسترش اندازهٔ پشته‌ها می‌شود. در محیط‌های آرام دریاچه‌ای بدون موج و وزش بـاد قـوی در جهت خاص تبلور و تشکیل نمک در اطراف پشته‌ها به یک اندازه است و پشته‌ها شکل دایره‌ای به خود مـی‌گیرنـد. در صـورتی که در مناطق دارای وزش باد غالب در جهت خاص شکل پشته‌ها عمدتاً بیضوی است؛ بدین گونه که باد منجر به تشکیل امـواج می‌شود و پشته‌ها تحت تأثیر امواج و در جهت وزش باد دچار انحلال و تخریب می‌شوند و بلورهای تـازهٔ نمـک در فضـای حـد فاصل پشته‌ها شروع به تبلور می‌کنند و به بیضوی شدن شکل پشته‌ها منجر می‌شوند (شکل c۹). در یک پشتهٔ نمکـی، منـاطق تحت تأثیر انحلال و تخریب با دیواره‌های شارپ و مناطق تبلور و تشکیل نمک با شیب بسیار کم و دایره‌های متحدالمرکز قابـل شناسایی‌اند (شکل d۹). در مواقعی که وزش باد در مدت زمان زیادی در امتداد خاصی غالب باشد رشد و تشکیل هالیـت در بـین پشته‌ها منجر به اتصال پشته‌های بیضوی به یک‌دیگر می‌شود و پشته‌های نمکی خطی (طولی) را تشکیل می‌دهـد (شـکل d۹). پشته‌های نمکی عمدتاً در پهنه‌های آبی کم‌عمق با بستر نمکی تشکیل می‌شـوند. خشـک شـدن کامـل آب دریاچـه در محـل تشکیل پشته‌های نمکی منجر به رخنمون کامل پشته‌ها می‌شود و پشته‌های نمکی تحت تأثیر مستقیم باد از بین می‌روند.



شکل ۹. a و b) نمونه‌ای از پشته‌های نمکی با فرش‌های جلبکی سیاه‌رنگ در اطراف پشته؛ c و d) مراحل انحلال و رشد پشته‌های نمکی در جهت وزش باد در دریاچهٔ ارومیه.

خط ساحلی نمکی[1]

در حد فاصل پهنهٔ آبی و پهنهٔ گلی- نمکی دریاچه تحت تأثیر امواج خط ساحلی به صورت نوار باریک (ماکزیمم ۵ تـا

1. Salty shore face

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

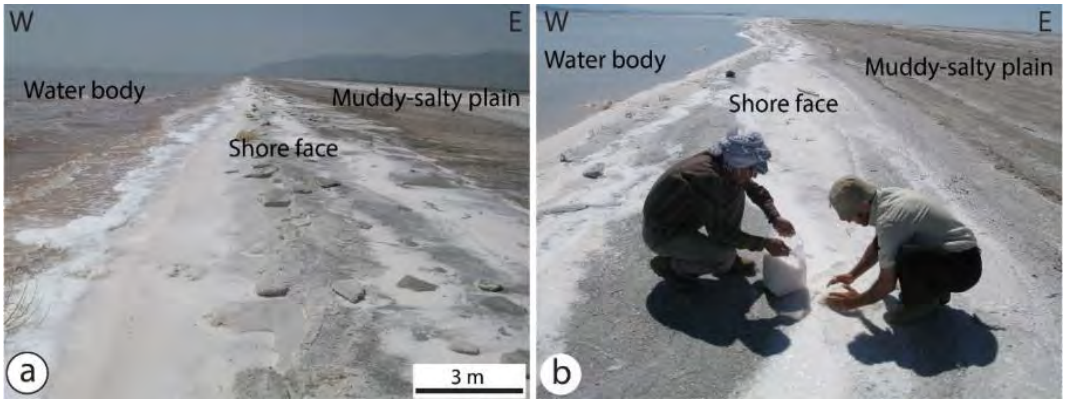
www.SID.ir

Archive of SID

۱۰ متر) و طویل نمکی دیده می‌شود که از پهنهٔ نمکی دریاچه ارتفاع بیشتری (۵۰ سانتی‌متر) دارد و بر آن آثار و خط موج دریاچه قابل مشاهده است (شکل ۱۰a و ۱۰b). با پس‌رَوی آب دریاچه به دلیل تبخیر بالا در فصول خشک، خط ساحلی به سمت پهنهٔ آبی دریاچه پیش می‌رود و بخش‌های ساحلی مرتفع قدیمی‌تر تحت تأثیر باد تخریب و به بخشی از پهنهٔ نمکی تبدیل می‌شوند.

ساخت‌های نعل‌اسبی نمکی[1]

ساخت‌های نعل‌اسبی نمکی عمدتاً در پهنه‌های نمکی باختر و شمال دریاچه دیده می‌شوند. این ساخت‌ها در اطراف پشته‌ها (به سمت پهنهٔ آبی دریاچه) و در مراحل انتهایی تخریب می‌شوند و پشته‌های نمکی به طور کامل انحلال می‌یابند (شکل ۱۰c و ۱۰d). این ساخت‌ها تحت تأثیر امواج دریاچه‌ای، که منجر به تخریب پشته‌ها شده‌اند، شکل می‌گیرند و در حقیقت پشته‌های نمکی به صورت سدهایی در برابر امواج عمل می‌کنند و منجر به تشکیل این ساخت‌ها می‌شوند. این ساخت‌ها آخرین محل تأثیر امواج در ساحل را نشان می‌دهند (شکل ۱۰e). تشکیل این ساخت‌ها به صورت مرحله‌ای و با تشکیل دیواره‌هایی (از سمت پشتهٔ نمکی به سمت پهنهٔ آبی) از جنس هالیت است که ارتفاع آخرین دیوارهٔ بیشینه به ۲۰ سانتی‌متر می‌رسد (شکل ۱۰c و ۱۰d و ۱۰e). تشکیل دیواره‌های متعدد و افزایش تدریجی ارتفاع دیواره‌ها به سمت پهنهٔ آبی نشان‌دهندهٔ پس‌رَوی آب دریاچه و نیز رشد و تشکیل مرحله‌ای این ساخت‌ها از سمت ساحل به سمت پهنهٔ آبی است. شکل این ساخت‌ها تحت تأثیر شکل پشته‌های نمکی است و گاه به صورت ساخت‌های نعل‌اسبی و نیز موج‌شکل طولی نیز دیده می‌شوند (شکل ۱۰e). در این ساخت‌ها بلورهای نمک به صورت نامنظم و در جهت‌های مختلف تشکیل می‌شوند. ازین‌رو این ساخت‌ها بسیار متخلخل‌اند (شکل ۱۰f).



شکل ۱۰. a و b) رشد هالیت به صورت خط ساحلی با ارتفاع نیم متر در حد فاصل بین پهنهٔ نمکی و گلی- نمکی و پهنهٔ آبی دریاچهٔ ارومیه؛

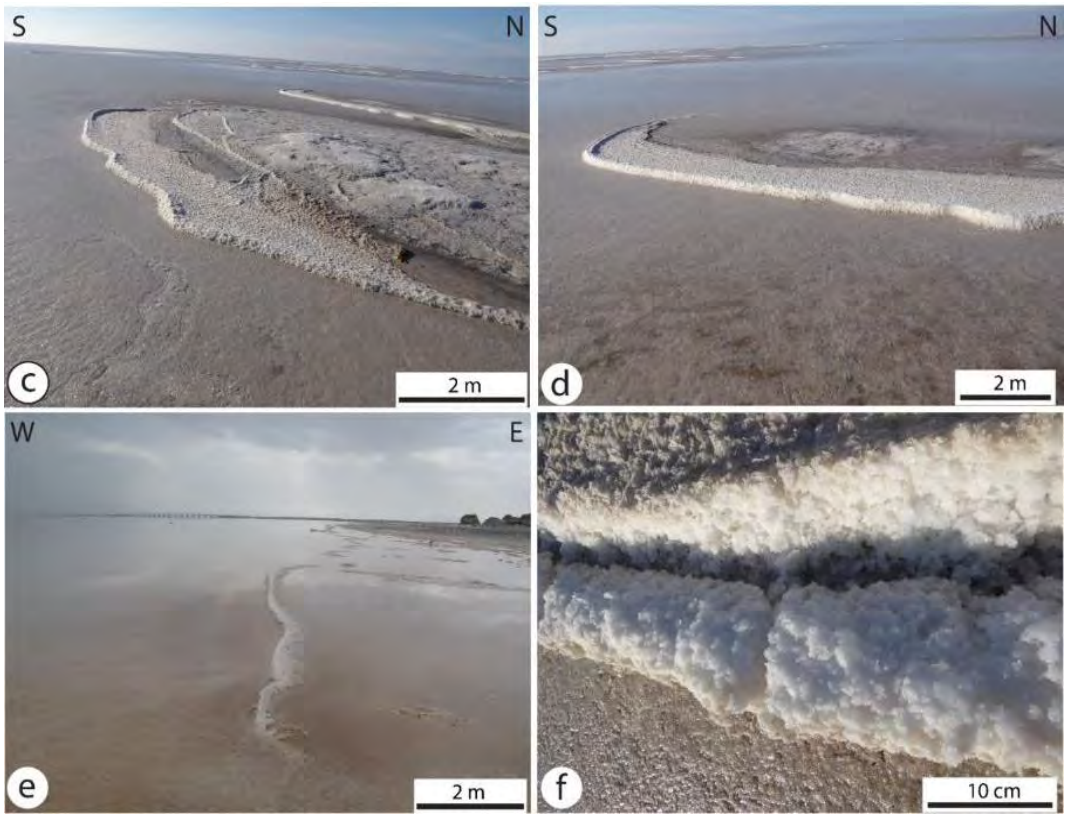
1. Horseshoe structure

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020



ادامهٔ شکل ۱۰. c و d و e) مراحل تشکیل ساخت نمکی نعل‌اسبی با دیوارهٔ مرتفع و قائم به سمت دریا و بخش کم‌ارتفاع و کم‌شیب به سمت ساحل در سواحل باختری و شمال باختری دریاچه؛ f) رشد بلورهای درشت هالیت در بخش مرتفع ساخت‌های موجی‌شکل.

حفره‌ها و غارهای نمکی[1]

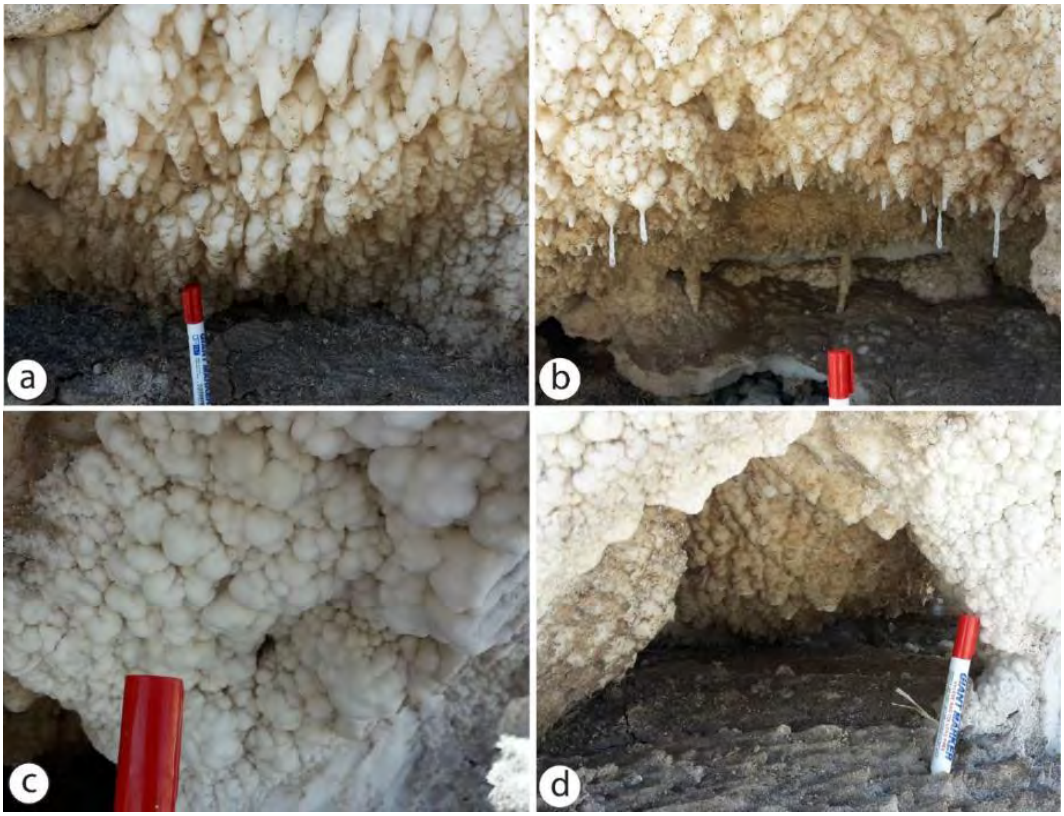
در سواحل صخره‌ای جزایر دریاچهٔ ارومیه، داخل حفره‌های کوچک و بزرگ موجود بین صخره‌ها، غارهای نمکی با مقیاس کوچک تشکیل شده است که وجود استلاکتیت[2]، استلاگمیت[3]، و ستون‌های نمکی[4] با اندازه‌های کوچک بارزترین ویژگی این حفره‌ها و غارهای نمکی کوچک به شمار می‌روند (شکل b۱۱ و d۱۱). ورود آرام آب‌های شور حاصل از انحلال نمک توسط آب باران از سنگ‌های بالادست به داخل حفره‌ها منجر به تشکیل ساخت‌های نمکی مذکور می‌شود. اندازهٔ این ساخت‌ها به اندازهٔ حفره‌ها و مدت زمان ورود آب‌های شور به داخل حفره‌ها بستگی دارد. طول استلاکتیت و استلاگمیت‌ها گاه به بیش از ۱۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد. شکل استلاکتیت‌ها متنوع است. با وجود این استلاکتیت‌های مخروط‌شکل و گل‌کلمی فراوانی بیشتری نسبت به سایر آن‌ها دارند (شکل a۱۱ و c۱۱).

1. Salt cave and salt hole
2. Stalactite
3. Stalagmite
4. Salt column

www.SID.ir

Archive of SID

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020



شکل ۱۱. حفره‌ها و غارهای نمکی کوچک در سواحل صخره‌ای جزایر دریاچهٔ ارومیه: a و b) استلاکتیت‌های مخروط‌شکل و استلاگمیت و ستون‌های نمکی؛ c و d) استلاکتیت‌های نمکی با اشکال گل‌کلمی.

پهنه‌های گسیختگی نمک[1]

در بخش‌هایی از پهنه‌های نمکی (سواحل غربی بخش شمالی دریاچه) پوستهٔ نمکی به صورت خطی در امتداد شمالی ـ جنوبی و به موازات ساحل گسیختگی پیدا کرده و حالت به‌هم‌ریخته دارد (شکل ۱۲a و ۱۲b). پهنهٔ گسیختگی توپوگرافی نامنظم و مرتفعی نسبت به زمین‌های اطراف ایجاد کرده است؛ به گونه‌ای که در این پهنه نمک به صورت پوسته‌های ورقه‌شکل با ابعاد گاه بیش از یک متر و ضخامت بیش از ۳۰ سانتی‌متر به صورت نامنظم و در جهت‌های مختلف از پهنهٔ نمکی جدا شده و حالت گسیختگی در سطح زمین ایجاد شده است (شکل ۱۲c و ۱۲d). توپوگرافی نامنظم در این پهنه‌ها و متعاقباً انحلال نمک در نتیجهٔ آب‌های جوّی و باران منجر به انحلال و ته‌نشست نمک با رنگ سفید در بخش‌هایی با توپوگرافی پست‌تر شده است (شکل ۱۲b). عوامل مختلفی می‌تواند منجر به تشکیل پهنه‌های گسیخته در کفه‌های نمکی شود. یکی از این عوامل ویسکوزیته و روان‌گرایی گل‌های نرم بستر دریاچه در زیر پهنهٔ نمکی است؛ به گونه‌ای که گل‌های نرم و ویسکوز بستر به دلیل روان‌گرایی به سمت سطح زمین حرکت می‌کنند، ولی، پوستهٔ نمکی ضخیم‌لایه در سطح زمین به مثابهٔ مانع عمل می‌کند و به دلیل نیروی بالای وارده پوستهٔ نمکی حالت گسیخته پیدا می‌کند. عملکرد و

1. Ruptured salt plain

www.SID.ir

Archive of SID

فعالیت گسل‌های فعال در بستر دریاچه نیز می‌تواند منجر به گسیختگی در سطح شود و پهنهٔ گسیخته ایجاد کند. تشکیل پهنهٔ گسیخته به صورت خطی احتمالاً می‌تواند شاهدی بر عملکرد گسل‌های فعال در دریاچه ارومیه باشد.

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

شکل ۱۲. a و b) تصاویری از بخش‌های خردشده و به‌هم‌ریختهٔ پهنهٔ نمکی با سطحی بسیار ناهموار در باختر دریاچهٔ ارومیه؛ c و d) بلوک‌های بزرگ و ضخیم نمک که به صورت ورقه‌هایی با اشکال نامنظم از پهنهٔ نمکی جدا می‌شوند.

فرش‌های جلبکی[1] و مواد آلی[2]

مواد آلی موجود در دریاچهٔ ارومیه به طور کلی دارای دو منشأ گیاهی و جانوری‌اند. مواد آلی گیاهی عمدتاً بقایای جلبک‌های شوردوست ـ Campylodiscus, Aphanothece, Dunaliella ـ (آسم و همکاران ۲۰۱۲) و نیز ساقه و ریشهٔ گیاهانی هستند که در باتلاق‌های موجود در دهانهٔ رودخانه‌ها تشکیل می‌شوند و با جریان‌های دریاچه‌ای و حتی باد به سایر نقاط دریاچه انتقال می‌یابند. در این باتلاق‌ها به دلیل وجود آب شیرین تا لب‌شور مجموعهٔ متنوعی از گیاهان زندگی می‌کنند. فرش‌های جلبکی و میکروبی به صورت لامینه‌های متحدالمرکز سیاه‌رنگ در اطراف پشته‌های نمکی (شکل a۱۳ و b۱۳) و نیز به صورت لجن‌های سیاه‌رنگ در پهنه‌های گلی و نیز به صورت لایه‌های سیاه‌رنگ در زیر پوستهٔ نمکی موجود در پهنه‌های نمکی مشاهده می‌شوند. فرش‌های جلبکی به صورت افق‌های سیاه‌رنگ غنی از مادهٔ آلی در مغزه‌های رسوبی دریاچهٔ ارومیه نیز گزارش شده‌اند (محمدی ۱۳۸۴؛ امینی و همکاران ۱۳۸۸). آرتمیا ارومیانا تنها جانور

1. Algal mat
2. Organic material

www.SID.ir

Archive of SID

آبزی دریاچهٔ ارومیه است و پلت‌های دفعی آن منشأ مهم رسوبات بیوشیمیایی و نیز مواد آلی دریاچه به شمار می‌رود (اباتسوپولوس و همکاران ۲۰۰۶). شرایط احیایی موجود در دریاچه منجر به حفظ مواد آلی در رسوبات بستر دریاچه شده است؛ به گونه‌ای که در نتیجهٔ استمرار شرایط احیایی کانی‌پیریت (سولفور آهن) جایگزین پلت‌های دفعی آرتمیا در برخی از لایه‌های رسوبی بستر دریاچه شده است (محمدی ۱۳۸۴؛ درویشی و محمدی ۱۳۹۰). بخش دیگری از مواد آلی که منشأ جانوری دارند شامل حشرات و بندپایانی هستند که از زمین‌های اطراف دریاچه توسط باد به داخل دریاچه منتقل می‌شوند. این حشرات شامل انواع ملخ‌ها، زنبورها، مورچه‌ها، سوسک‌ها، و ... هستند که پس از سقوط در شورابهٔ دریاچه به همراه مواد آلی گیاهی در اطراف پشته‌های نمکی تجمع پیدا می‌کنند (شکل ۱۳c و ۱۳d). این مجموعهٔ مواد آلی منبع غذایی پرندگان دریایی دریاچهٔ ارومیه‌اند.

شکل ۱۳. a) فرش‌های جلبکی سیاه‌رنگ در اطراف پشته‌های نمکی دریاچه؛ b) مواد آلی جلبکی و گیاهی تشکیل‌شده در محیط‌های باتلاقی حاشیهٔ دریاچه و حمل‌شده به بخش‌های عمیق‌تر داخلی؛ c و d) مواد آلی جانوری متشکل از بقایای بندپایان و حشرات که عمدتاً از زمین‌های اطراف دریاچه توسط باد و طوفان به بخش‌های مرکزی دریاچه حمل شده‌اند.

میکرولندفرم‌های میان‌گذر شهید کلانتری

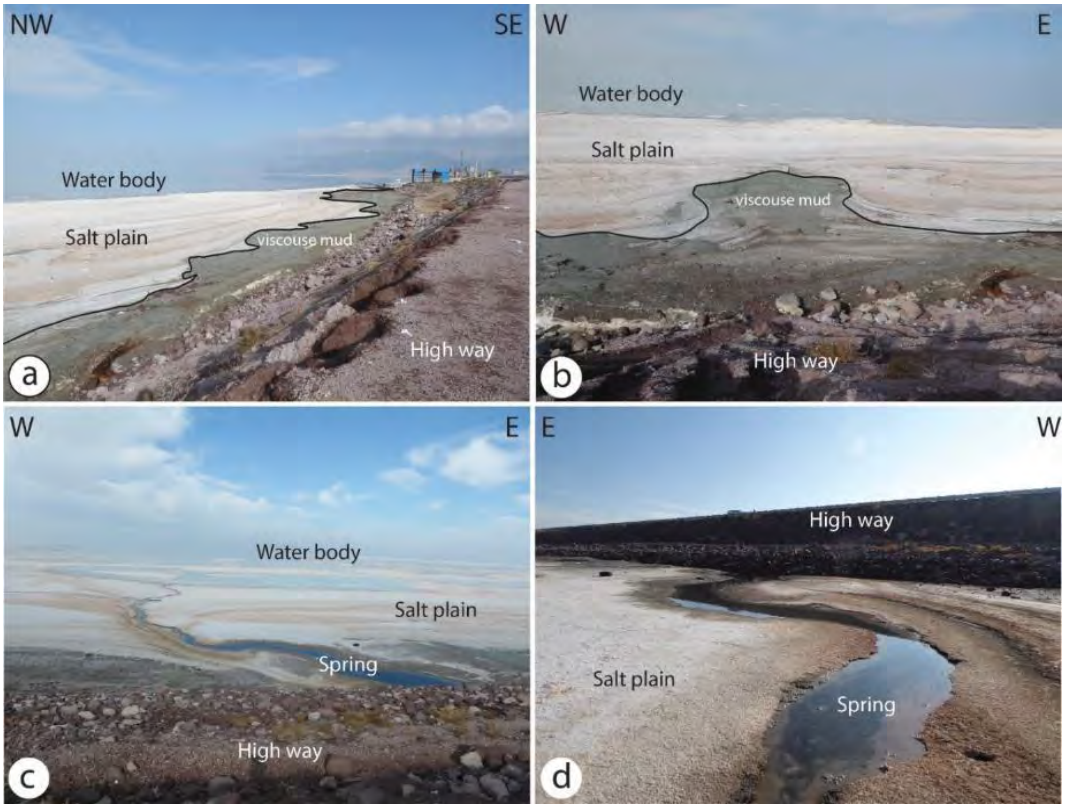
ساخت میان‌گذر شهید کلانتری، به صورت دایکی به طول ۱۵ کیلومتر، دریاچهٔ ارومیه را به دو قسمت شمالی و جنوبی تقسیم کرده و منجر به تغییر سیستم رسوب‌گذاری و جریان‌های داخل دریاچه شده است (محمدی ۱۳۸۴). علاوه بر این،

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

در ساخت میان‌گذر از سنگ‌های آندزیتی مجموعه‌های آتشفشانی اطراف دریاچهٔ ارومیه (جزیرهٔ اسلامی و زنبیل‌داغی) استفاده شده (مهاجر باوقار ۱۳۷۶) و بار رسوبی بسیار بزرگی بر رسوبات گلی و بسیار نرم بستر دریاچه قرار گرفته است. به دلیل بار رسوبی بالا و نیز روان‌گرایی رسوبات گلی اشباع از آب در بستر دریاچه، رسوبات سبزرنگ با عرض ۱۰ تا ۳۰ متر در امتداد هر دو حاشیهٔ شمالی و جنوبی میان‌گذر مشاهده می‌شوند. روان‌گرایی رسوبات گلی با حاشیه‌های موج‌شکل و سینوسی گل‌های سبزرنگ که روی رسوبات تبخیری سفیدرنگ رانده شده‌اند قابل مشاهده است (شکل ۱۴a و ۱۴b). همچنین در چندین نقطه در طول میان‌گذر، به دلیل بار رسوبی زیاد و فشار وارده بر رسوبات بستر دریاچه، چشمه‌های آب که عمدتاً از آب‌های درون‌منفذی رسوبات بستر دریاچه تغذیه می‌کنند ایجاد شده است (شکل ۱۴c و ۱۴d). آب‌های گل‌آلود این چشمه‌ها منجر به انتقال مقادیر ناچیزی از رسوبات گلی به پهنه‌های نمکی دریاچه می‌شوند. آب این چشمه شور است و به دلیل وجود لجن‌های سیاه‌رنگ مادهٔ آلی همراه با رسوبات گلی بستر دریاچه آب این چشمه‌ها بوی فاضلاب و سولفور دارد و برخی از افراد محلی به دلیل بوی فاضلاب احتمال انتقال فاضلاب‌های شهری و صنعتی به داخل دریاچه را مطرح می‌کنند. اما از آنجا که این چشمه‌ها در امتداد میان‌گذر قرار دارند و از مراکز صنعتی و شهرها کیلومترها فاصله دارند منبع تغذیهٔ این چشمه‌ها از آب‌های منفذی رسوبات بستر دریاچه است.



شکل ۱۴. a و b) روان‌گرایی گل‌های بستر دریاچه با حالت سینوسی در حاشیهٔ شمالی و جنوبی میان‌گذر شهید کلانتری؛ c و d) چشمه‌های ثانویهٔ دریاچه با بوی بد سولفور در هر دو حاشیهٔ شمالی و جنوبی میان‌گذر شهید کلانتری.

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه

کاهش سطح تراز آب دریاچهٔ ارومیه در دو دههٔ اخیر و خشک شدن بخش‌های بزرگی از دریاچه منجر بـه تغییـر ماهیـت این پهنهٔ آبی از یک دریاچهٔ فوق‌اشباع دائمی به پلایای نمکی شده است. رخنمون یافتن بخش بزرگی از بستر دریاچه بـه صورت پهنه‌های وسیع گلی، گلی- نمکی، و نمکی یکی از شواهد تغییر ماهیت از سیستم دریاچـه‌ای بـه پلایـایی اسـت. وسعت این پهنه‌ها در بخش جنوبی دریاچه به دلیل شیب کم بستر بسیار بیشتر از بخش شمالی دریاچـه اسـت. گسـترش این پهنه‌ها منجر به تشکیل میکرولندفرم‌های مختلف متعلق به محیط‌های پلایای شده است. همچنـین، خشـک شـدن دریاچه شرایط استحصال و برداشت نمک از پهنه‌های نمکی بستر دریاچه را فراهم کرده است. امروزه برداشت نمـک بـه صورت گسترده به منظور کاربردهای صنعتی در پتروشیمی‌ها و کارخانجات ذوب شیشه و غیره صورت می‌گیرد. برداشـت و دپو کردن نمک‌های سست و منفصل می‌توانـد منجـر بـه حمـل نمـک بـه منـاطق مسـکونی و کشـاورزی در زمـان طوفان‌های بادی و گرد و غبار شود و عوارض زیست‌محیطی برای ساکنان اطراف دریاچه به همراه داشته باشـد. سـاخت میان‌گذر شهید کلانتری، علاوه بر تقسیم دریاچه به دو بخش شمالی و جنوبی و تغییر در سیستم رسوب‌گذاری و چرخش آب دریاچه، منجر به روان‌گرایی و رخنمون رسوبات گلی بستر دریاچه در حاشیهٔ میان‌گذر شده است کـه خـود مـی‌توانـد نشان‌دهندهٔ فرونشست زمین در محل میان‌گذر باشد.

منابع

افتخارنژاد، جمشید و منوچهر قریشی، محمود مهرپرتو (۱۳۷۱). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تبریز، سازمان زمین‌شناسی کشور.

امینی، عبدالحسین و مجید شاه‌حسینی، علی محمدی، مصطفی شهرابی (۱۳۸۸). «ویژگـی‌هـای رسـوب‌شناسـی و منشـأ نهشته‌های دریاچهٔ ارومیه در حاشیهٔ بزرگ‌راه شهید کلانتری»، *علوم زمین*، ش ۷۴، صص ۵۷ـ ۶۸.

درویشی خاتونی، جواد (۱۳۹۰). *لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچهٔ ارومیه، فاز IV: مقدار و سـرعت تـه‌نشـینی نمـک در شورابهٔ دریاچهٔ ارومیه*، مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی کشور.

ـــــــــــــــ (۱۳۹۱). *لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچهٔ ارومیه، فاز V: هیدروشیمی دریاچهٔ ارومیـه*، مـدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی کشور.

درویشی خاتونی، جواد و علـی محمـدی (a۱۳۹۰). *لیمنولـوژی و پـالئولیمنولوژی دریاچـهٔ ارومیـه، فـاز I: اقلـیم‌شناسـی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی*، مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی کشور.

ـــــــــــــــ (b۱۳۹۰). *لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچهٔ ارومیـه، فـاز III: پالئوکلیمـاتولوژی، پالئواکولوژی، پالئوژئوگرافی*، مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی کشور.

زمردیان، محمدجعفر (۱۳۹۱). «نگرشی بر اهمیت و نقش لندفرم‌های ژئومورفیک در پیدایش زیسـتگاه‌هـا و تمـدن‌هـای بشری (با تأکید بر ایران)»، همایش ملی انجمن ایرانی ژئومورفولوژی.

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

شاه‌حسینی، مجید (۱۳۸۲). «رسوب‌شناسی بستر دریاچهٔ ارومیه در بخش میانی بزرگ‌راه شهید کلانتری با نگرشی بر منشأ رسوبات»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه تهران.

شهرابی، مصطفی (۱۳۷۲). *دریاها و دریاچه‌های ایران*، سازمان زمین‌شناسی کشور.

شهرابی، مصطفی و منصور علوی نائینی، عبدالله سعیدی (۱۳۷۲). نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ارومیه، سازمان زمین‌شناسی کشور.

صالحی‌پور میلانی، علی‌رضا و جواد درویشی خاتونی، علی محمدی (۱۳۹۰). *لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچهٔ ارومیه فاز II: بررسی نوسانات سطح تراز دریاچهٔ ارومیه از سال ۱۳۵۵ ــ ۱۳۹۰*، مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی کشور.

طلوعی، جواد، (۱۳۷۵). «مطالعه و بررسی ژئوشیمیایی و هیدروشیمیایی و شناخت فازهای رسوبات شیمیایی حوضهٔ رسوبی تبخیری دریاچهٔ ارومیه»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه تهران.

قاسم‌زادهٔ گنجه‌ای، محمد و علی‌رضا کریمی، علی زین‌الدینی، رضا خراسانی (۱۳۹۵). «مطالعهٔ ویژگی‌های کانی‌شناسی، میکرومورفولوژی، و تغییر و تحول خاک‌های حاشیهٔ پلایای بجستان»، *آب و خاک* (علوم و صنایع کشاورزی)، ش ۴۳ (۶)، صص ۲۰۴۶ـ ۲۰۴۹.

قهرودی تالی، منیژه و خدیجه علی‌نوری (۱۳۹۳). «ردیابی مخاطرات پلایای حوض سلطان با بررسی آشفتگی در میکرولندفرم‌ها»، *دانش مخاطرات*، ش ۲، صص ۲۴۱ـ ۲۵۲.

لک، راضیه و جواد درویشی خاتونی، علی محمدی (۱۳۹۰). «مطالعات پالئولیمنولوژی و علل کاهش ناگهانی تراز آب دریاچهٔ ارومیه»، *زمین‌شناسی کاربردی*، ش ۴، صص ۳۵۲ـ ۳۷۲.

محمدی، علی (۱۳۸۴). «بررسی تاریخچهٔ رسوب‌گذاری هولوسن دریاچهٔ ارومیه بر اساس مغزه‌های تهیه‌شده در مسیر بزرگ‌راه شهید کلانتری»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه تهران.

مهاجر باوقار، نادر (۱۳۷۶). «بررسی رسوب‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی دریاچهٔ ارومیه در ارتباط با منشأ نمک»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه تهران.

Abatzopoulos, T. J., Baxevanis, A. D., Triantaphyllidis, G. V., Criel, G., Pador, E. L., Van Stappen, G., & Sorgeloos, P. (2006). "Quality evaluation of Artemia urmiana Günther (Urmia Lake, Iran) with special emphasis on its particular cyst characteristics (International Study on Artemia LXIX)". *Aquaculture*, 254(1-4), pp. 442-454.

Allwood, A. C., Burch, I. W., Rouchy, J. M., & Coleman, M. (2013). "Morphological biosignatures in gypsum: diverse formation processes of Messian (6.0 Ma) gypsum stromatolites". *Astrobiology*, 13, pp. 870-886.

Amini, A. H., Shahhosseini, M., Mohammadi, A., Shahrabi, M. (2009). "Sedimentological Characteristics and Origin of Urmia Lake Deposits on the Kalantari Highway", *Earth Sciences*, vol 74, pp. 57-68 (in persian).

Asem, A., Mohebbi, F., & Ahmadi, R. (2012). "Drought in Urmia Lake, the largest natural habitat of brine shrimp Artemia". *World aquaculture*, 43(1), pp. 36-38.

Assereto, R. L. & Kendall, C. G. (1977). "Nature, origin and classification of peritidal tepee

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

structures and related breccias", *Sedimentology*, 24(2), pp. 153-210.

Babel, M., Olszewska-Nejbert, D., & Bogucki, A. (2011). "Gypsum microbialite shaped by brine currents from the Badenian evaporates of western Ukraine". *Advances in stromatolite geobiology*. Springer, pp. 257-320.

Darvishi khatooni, J. (2011). "Report of limnology and paleolimnology of Urmia lake, phase IV: The amount and rate of salt deposition in Urmia Lake", geological survey of Iran. With out report number, 80 p (in persian).

---------- (2012). "Report of limnology and paleolimnology of Urmia lake, phase V: hydrochemistry of urmia lake", geological survey of Iran. With out report number, 80 p (in persian)

Darvishi khatooni, J., Mohammadi, A. (2011 a). "Report of limnology and paleolimnology of Urmia lake, phase I: Climatology", Geology and Hydrology". geological survey of Iran. With out report number, 120 p (in persian).

---------- (2011 b). "Report of limnology and paleolimnology of Urmia lake, phase III: paleoclimatology, paleoecology and paleogeography". geological survey of Iran. With out report number, 120 p (in persian).

Djamali, M., de Beaulieu, J. L., Shah-hosseini, M., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., Amini, A., Akhani, H., Leroy, S. A., Stevens, L., Lahijani, H., & Brewer, S. (2008). "A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia, NW Iran". *Quaternary Research*, 69(3), pp. 413-420.

Djamali, M., Kürschner, H., Akhani, H., de Beaulieu, J. L., Amini, A., Andrieu-Ponel, V., Ponel, P., & Stevens, L. (2008). "Palaeoecological significance of the spores of the liverwort Riella (Riellaceae) in a late Pleistocene long pollen record from the hypersaline Lake Urmia, NW Iran". *Review of palaeobotany and palynology*, 152(1-2), pp. 66-73.

Djamali, M., Ponel, P., Delille, T., Thiéry, A., Asem, A., Andrieu-Ponel, V., de Beaulieu, J. L., Lahijani, H., Shah-Hosseini, M., Amini, A., & Stevens, L. (2010). "A 200,000-year record of the brine shrimp Artemia (Crustacea: Anostraca) remains in Lake Urmia, NW Iran". Int. *J. Aqu. Sci*, 1(1), pp. 14-18.

Eftekharnejad, J., Qureshi, G., Mahmoud Mehrperto (1992). "Geological Map of Tabriz. in 1:250000 scale", Geological Survey of Iran (in persian).Ghahroudi Tali, M., Ali Nouri, KH. (2014). "Hazard Tracking of Playa Sultan Basin by Investigating Turbulence in Micro-Forms", *Hazard Knowledge*, Vol 2, pp. 251-224.

Ghasemzadeh Ganjei, M., Karimi, A. R., Zeinodini, A., Khorasani, R. (2016). "Study of Mineralogical, Micromorphological Characteristics, and Transformations of Bajestan playa", *Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, Vol 43 (6), pp. 2046-2049.

Kelts, K. & Shahrabi, M. (1986). "Holocene sedimentology of hypersaline Lake urmia, Nortwestern Iran". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 54, pp. 105-130.

Lerche, I. & Obrien, J. (1987). "Dynamical geology of salt and related structures". *Elsevier*. p. 831.

Lak, R., Darvishi Khatooni, J., Mohammadi, A. (2012). " Paleolimnology study and causes of Sudden decrease in water level of Urmai Lake". *Juornal of Applicable Geology*, Zahedan University press. 4, pp. 357-372 (in Persian).

Mohajer baveghar, Nader (1997). "Investigation of sedimentology and sedimentary geochemistry of Urmia Lake in relation to salt origin", M.Sc. thesis, Faculty of Science, University of Tehran.

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir

Archive of SID

Mohammadi, A. (2005). "Depositional history of Holocene (?) Deposits in Urmieh Lake, based on the cores collected along the SH-K Highway". M.SC thesis. in Sedimentology and sedimentary petrology, Tehran university, p 127 (in Persian).

Rasuk, M. C., Kurth, D., Flores, M. R., Contreras, M., Novoa, F., Poire, D., & Farías. M. E. (2014). "Microbial Characterization of microbial ecosystems associated to evaporates domes of gypsum in Salar de Llamará in Atacama Desert". *Microbiology Ecology,* 68, pp. 483-454.

Salehipour milani, A. R., Darvishi khtooni, J., Mohammadi, A. (2011). "Report of limnology and paleolimnology of Urmia lake, phase II: Study fluctuations level change of Urmia lake between 1976- 2011". With out report number, 120 p (in persian).

Shah Hosseini, M. (2003). "Sedimentology of Urmia Lake in the middle section of Shahid Kalantari highway with a view on sediment origin", M.Sc. thesis, Faculty of Science, University of Tehran (in persian).

Shahrabi, M. (1372). "Seas and Lakes of Iran", Geological Survey of Iran (in persian).

Shahrabi, M., Alavi Naeini, M., Saeedi, A. (1993). "Geological Map of Orumieh, in 1: 250000 scale". Geological Survey of Iran.

Stevens, L. R., Djamali, M., Andrieu-Ponel, V., & de Beaulieu, J. L. (2012). "Hydroclimatic variations over the last two glacial/interglacial cycles at Lake Urmia, Iran". *Journal of Paleolimnology*, 47(4), pp. 645-660.

Touloie J. (1998). Hydrogeochemistry of Urmia Lake. The First Oceanology Conference of Iran, pp. 20-23 (in persian).

Warren, J. K. (1982). "The hydrological setting, occurrence and significance of gypsum in late Quaternary salt lakes in South Australia". *Sedimentology*, 29(5), pp. 609-637.

Xingqi, L., Dong, H., Rech, J. A., Matsumoto, R., Bo, Y., & Yongbo, W. (2008). "Evolution of Chaka Salt Lake in NW China in response to climatic change during the Latest Pleistocene–Holocene". *Quaternary Science Reviews*, 27(7-8), pp. 867-879.

Zommorodian, M. J. (2012). "Attitude to the Importance and Role of Geomorphic Landforms in the Creation of Human Habitats and Civilizations (Iran)". National Conference of the Iranian Association of Geomorphology (in persian).

Downloaded from journal.iranqua.ir at 10:18 +0430 on Monday June 1st 2020

www.SID.ir