

مورفولوژی و پتروگرافی چشمه‌های تراورتن‌ساز باداب سورت - شمال دامغان، ایران

محسن رنجبران

دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده زمین‌شناسی
ranjbaran@khayam.ut.ac.ir

دریافت: ۹۰/۸/۷ پذیرش: ۹۰/۹/۱۲

چکیده

چشمه‌های تراورتن‌ساز باداب سورت در استان مازندران (۶۸ کیلومتری شمال شهر دامغان) قرار دارد. در این منطقه دو چشمه با آب‌های کاملاً متفاوت از لحاظ رنگ، بو، مزه و دبی وجود دارد. چشمه اول با دبی بالاتر و آب شور است؛ چشمه دوم دبی کم‌تر، ترش مزه و دارای ته‌نشست آهن در خروجی آن است. با توجه به ویژگی‌های صحرایی و میکروسکوپی چهار لیتوفاسیس شامل لامینه‌های متبلور، انکوئیدها، تופا و گل‌های سیاه کربناته شناسایی شد. مورفولوژی‌های شناسایی شده شامل ۱- نهشته‌های تپه‌ای، ۲- شکاف - پشته‌ای ۳- آبشاری - سدی و ۴- لایه‌های جریانی با انکوئید است. مورفولوژی‌های رایج بیش‌تر از نوع حوضچه‌های پی در پی آبشاری - سدی است. نتایج داده‌های SEM در مورد لیتوفاسیس‌ها منجر به شناسایی بلورهای نمک قیفی شکل، بلورهای ژپیس و آراگونیت شد. خروج گاز دی اکسید کربن به طریق مکانیکی عامل اصلی نهشته شدن تراورتن‌ها در مورفولوژی‌های آبشاری می‌باشد. ترکیب هیدروژن‌شیمی آب چشمه از نوع قلیایی نمکی است. نوع تراورتن‌های منطقه از نوع میتوزن بوده که بیش‌تر از پدیده‌های جوی متأثر می‌شده است و دی اکسید کربن آن منشأ جوی و فعالیت‌های زیستی در خاک حاصل شده است. با توجه به چشم اندازهای زیبای نهشته‌های تراورتن این محل را می‌توان به عنوان یک منطقه ژئوپارک معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: باداب سورت، تراورتن، مورفولوژی، پتروگرافی، ژئوپارک، تופا

مقدمه

کلسیتی، باعث به وجود آمدن لایه‌های یکنواختی از کربنات کلسیم متخلخل می‌گردد که ضخامت آن‌ها از چند سانتی‌متر تا چندمتر متغیر است، و معمولاً با شیبی ملایم بر روی لایه‌های قدیمی‌تر قرار می‌گیرند [۲۰] تغییر شرایط رسوب‌گذاری می‌تواند باعث وقفه‌ای در تشکیل این لایه‌ها گردد که حاصل آن به وجود آمدن یک سطح جدایش بین لایه‌های متوالی تراورتن می‌باشد. با توجه به موقعیت خوب جغرافیایی و طبیعت زیبای منطقه نظیر چشمه، کوه و جنگل این محل می‌تواند به عنوان یک ژئوپارک معرفی شود. چشمه‌های باداب سورت شامل دو چشمه با آب‌های کاملاً متفاوت از لحاظ رنگ، بو، مزه و دبی آب است. چشمه با دبی بیش‌تر دارای مزه شور و دارای استخری با قطر حدود ۷ متر و عمقی حدود ۱/۵ متر است (شکل ۱). چشمه دوم که دارای دبی بسیار کمتری است در چند ده‌متری جنوب غربی این چشمه قرار دارد، که دارای آب ترش مزه است. علت ترشی آب این چشمه به دلیل انحلال گاز دی اکسید کربن می‌باشد. با توجه به شوری و ترشی آب دو چشمه باید دو منشأ جداگانه برای هر یک از چشمه در نظر گرفت.

تراورتن‌ها گروه بزرگی از نهشته‌های کربناته آب شیرین هستند که در بیش‌تر مناطق دنیا گسترش دارند [۱۵]. مجموعه زیبا و دیدنی چشمه‌های باداب سورت در ارتفاعات منطقه سورت و در شمال شرق شهرستان کیاسر در روستای اروست واقع شده است. مشابه این مورفولوژی زیبا را می‌توان در دیگر مناطق دنیا نظیر منطقه پاموکاله در دنیزلی جنوب غرب ترکیه چشمه‌های آب‌گرم ماموت در امریکا و هانگ لونگ در شمال غربی ایالت سیچوان چین مشاهده کرد. باداب به معنی آب‌گازدار و سورت به معنی شدید می‌باشد. به طور کلی طی فرآیند تشکیل نهشته‌های تراورتن، آب‌های گرم از بین طبقات سنگ‌های کربناتی به ویژه سنگ آهک عبور می‌کنند و به دلیل اسیدی بودن، کربنات کلسیم موجود در این سنگ‌ها را حل کرده و به صورت محلول کربناتی و بی‌کربناتی با خود به سطح زمین منتقل می‌کنند. در سطح زمین به دلیل افت فشار، کاهش حرارت، آزاد شدن دی اکسید کربن و هم‌چنین تبخیر، بلورهای کلسیت تشکیل شده و به صورت لایه‌های نازکی بر روی یکدیگر رسوب می‌کنند [۶]. پایداری شرایط ذکر شده و تداوم تشکیل لایه‌های

فعال بوده و اکنون نیز این فعالیت ادامه دارد، قرار گرفته است. بیش‌تر چشمه‌های ناحیه اورست به نحوی در امتداد گسل و یا گسل‌های فرعی آن پراکنده‌اند. روند گسل‌ها NE-SW است. دیگر واحدهای رسوبی شامل سازند الیکا و مبارک است [۱۹] قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه مورد مطالعه سنگ آهک‌های سازند مبارک می‌باشد (شکل ۳).

سیماهای فرسایشی که بیش‌تر به فرم سطوح کارستی و برشی شده که با خاک‌زایی همراه است معمولاً در محل‌هایی که فعالیت چشمه‌ها متوقف شده و نهشته‌های قدیمی به جا گذاشته شده است مشاهده می‌شود. در بخش‌های مذکور سطوح و حفرات انحلالی معمولاً با مواد حاصل از فرسایش و ریزش از بخش‌های فوقانی پر شده است (شکل ۴- A, B) [۲، ۱۷ و ۷].

مورفولوژی نهشته‌های تراورتن‌ساز چشمه باداب سورت
طبقه‌بندی‌های مختلفی بر اساس منشأ، مورفولوژی و بافت تراورتن‌ها پیشنهاد شده است. پنت کاست [۱۵] تراورتن‌ها را بر اساس مورفولوژی و محیط رسوبی تشکیل آن‌ها به هشت گروه تقسیم کرد که شامل: ۱- تپه‌ها و مخروط‌ها ۲- شکاف- پشته‌ای (Fissure-Ridges) ۳- نهشته‌های آبشاری Cascades ۴- نهشته‌های سدی Dam ۵- لایه‌های جریان‌ی با انکوئید Stream crust with oncoids ۶- نهشته‌های دریاچه‌ای Lake crust with oncoids ۷- نهشته‌های مردابی Paludal deposit و ۸- رودایت‌های سیمانی شده Cement rudite است. با توجه به مشاهدات صحرایی، مورفولوژی نهشته‌های تراورتنی در باداب سورت شامل: ۱- تپه‌ای ۲- شکاف- پشته‌ای ۳- آبشاری- سدی و ۴- لایه-های جریان‌ی به همراه انکوئید است [۳] (شکل ۵).

مورفولوژی آبشاری: بخشی از رسوب‌گذاری تراورتن‌ها به شکل آبشارهای زیبا پی‌درپی دیده می‌شود. این نوع از تراورتن‌ها بر روی سطوح دارای سراسیمی‌های تند در اثر افت سرعت جریان و فشار آب به وجود آمده‌اند و در فواصل متغیری از دهانه چشمه آب توسعه پیدا کرده‌اند و حالت توده‌ای دارند. به علت وجود اکسیدهای آهن این تراورتن‌ها دارای تنوع رنگی جالبی هستند. در واقع این آبشارها دیواره‌های سدها هستند که با استمرار آب ضخامت و توسعه می‌یابند (شکل ۶- A, B, C, D).

استمرار جریان آب‌های معدنی این چشمه‌ها طی سال‌ها، در شیب پایین دست کوهستانی خود، صدها طبقه و ده‌ها حوضچه بسیار زیبا به رنگ‌های نارنجی، زرد و قرمز در اندازه‌های مختلف پدید آورده است. در این تحقیق سعی شده است تا تقسیم‌بندی کاملی از نهشته‌های تراورتنی بر اساس مورفولوژی و لیتولوژی آن‌ها ارائه شود.

مواد و روش‌ها

پی‌جویی‌های صحرایی، مشاهده مورفولوژی تراورتن‌ها، نمونه‌برداری هدف‌دار اولین گام، و به دنبال آن بررسی‌های میکروسکوپی، سنگ‌شناختی و آنالیز گام‌های بعدی در این کار پژوهشی بوده است. به همین منظور تعداد ۳۱ مقطع نازک از تراورتن‌ها تهیه گردید. این نمونه‌ها شامل انواعی که در حال شکل‌گیری و نیز نمونه‌های قدیمی بوده است. رده‌بندی تراورتن‌ها بر اساس مورفولوژی و نیز با توجه به توصیف ماکروسکوپی و توصیف صحرایی استوار بوده است. هم‌چنین به منظور تعیین بافت میکروسکوپی، دیاژنز و نیز کانی‌شناسی تراورتن‌ها، تعداد ۱۵ نمونه از تراورتن‌ها در دانشگاه تربیت مدرس جهت مطالعه بافت و ساختار آن‌ها توسط میکروسکوپ الکترونی مدل (Philips) XL30 جهت تهیه SEM مورد استفاده قرار گرفت.

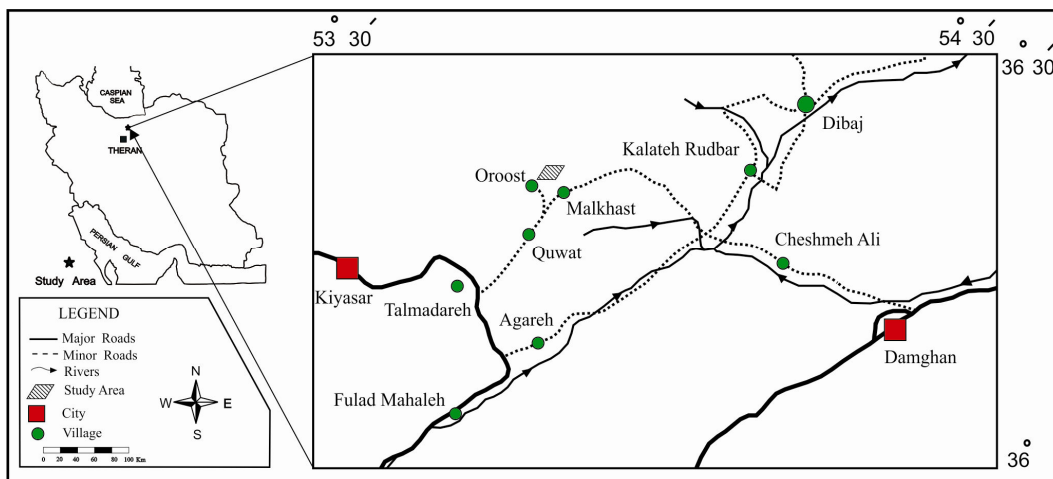
موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

مجموعه زیبا و دیدنی چشمه‌های آب معدنی باداب سورت اروست از شگفت‌انگیزترین شاهکارهای طبیعت، در حدود ۱۱۵ کیلومتری شمال غرب دامغان و ۱ کیلومتری شرق روستای اروست و در مراتع این روستا واقع شده است. مختصات جغرافیایی ناحیه $36^{\circ} 30'$ تا $53^{\circ} 30'$ و $54^{\circ} 30'$ خاوری و $36^{\circ} 00'$ تا $36^{\circ} 30'$ شمالی می‌باشد (شکل ۲). چشمه‌ها در ارتفاع ۱۸۴۰ متری سطح دریا واقع شده و فاصله تقریبی آن‌ها در ۲۷ کیلومتری جاده اصلی قرار دارد.

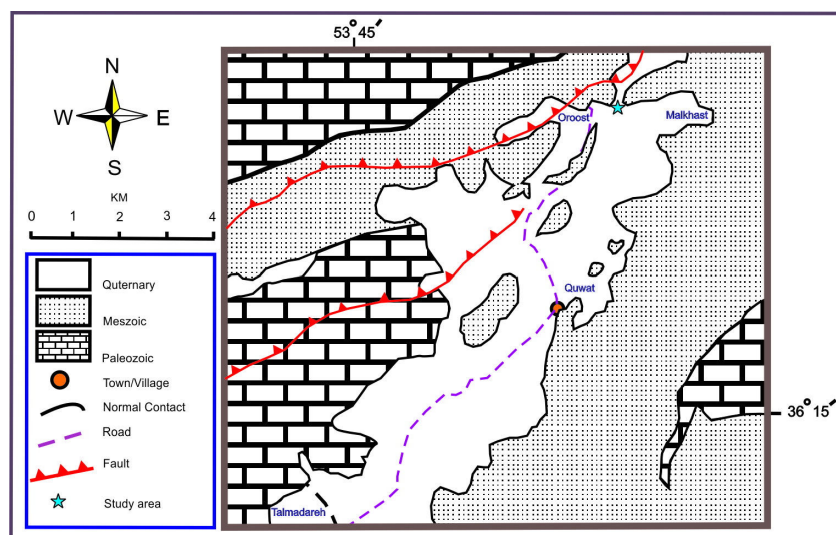
تشکیل تراورتن و تظاهر چشمه‌های تراورتن‌ساز، با گسل‌های راندگی و نهشته‌های شمشک وابستگی دارد، به طوری که جریان‌های آبی از داخل نهشته‌های شمشک تظاهر پیدا کرده و رسوبات خود را بر روی این واحدها به جا گذاشته است. ناحیه مورد مطالعه در کمربند چین‌خورده البرز مرکزی که از نظر تکتونیکی جوان و پیوسته



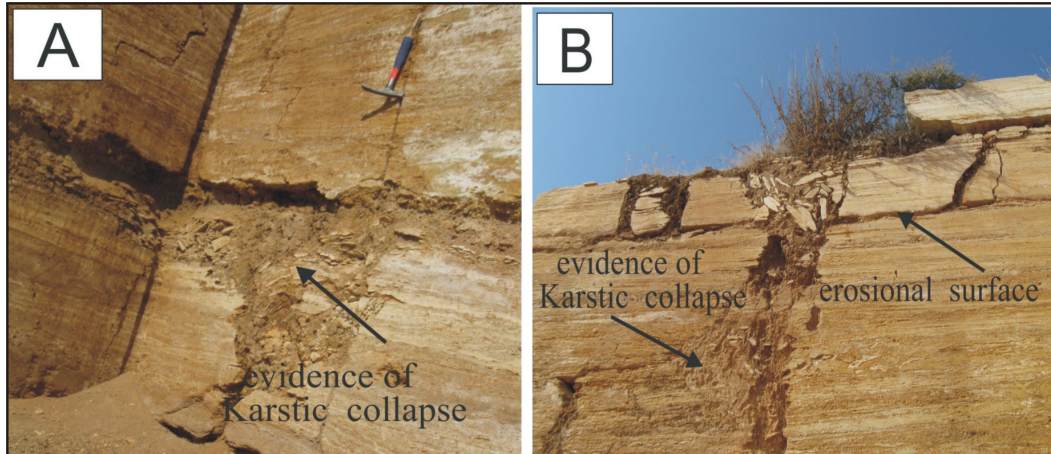
شکل ۱- نمایی از استخر طبیعی در مقابل دهانه چشمه‌ی با بیش‌ترین دبی (قطر استخر حدود ۷ متر و عمق آن حدود ۱/۵ متر است).



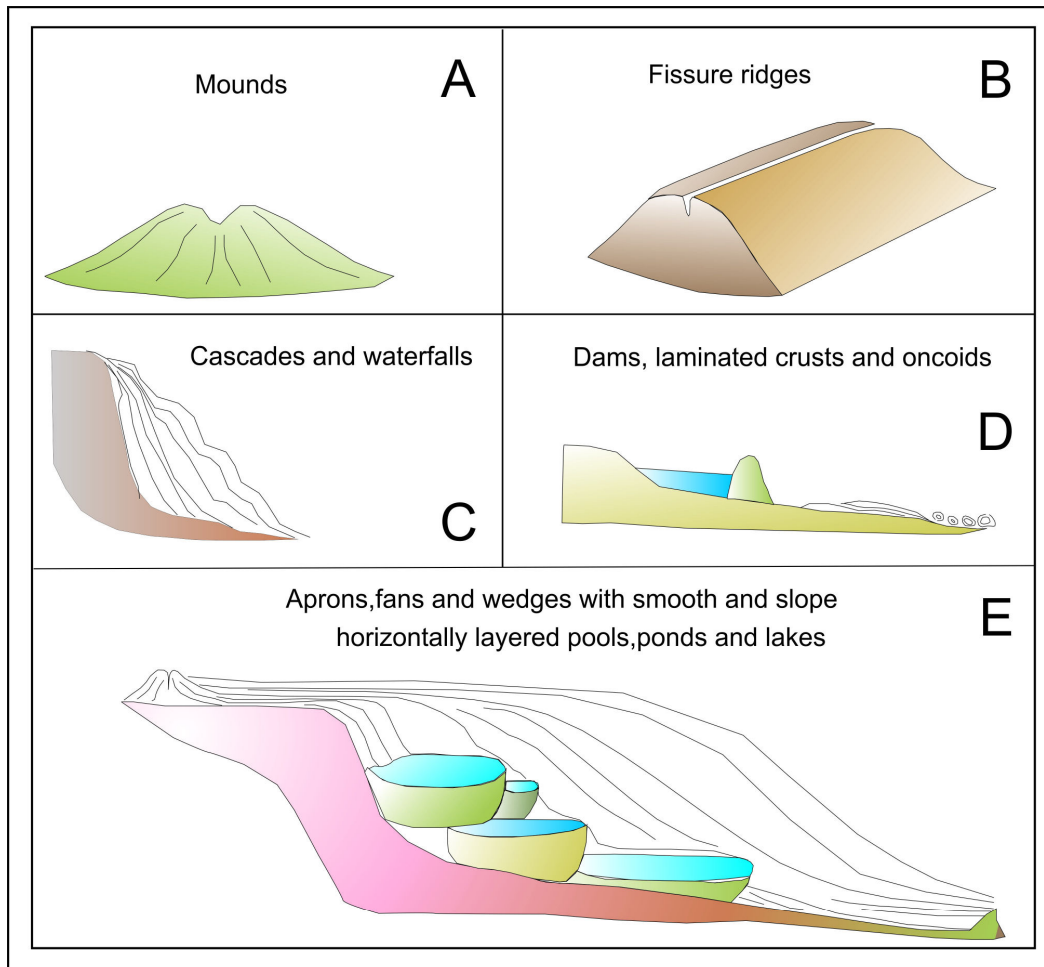
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی چشمه‌های باداب سورت و راه‌های دسترسی به آن‌ها در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه زمین‌شناسی ساده شده که در آن موقعیت چشمه‌های تراورتن‌ساز مشخص شده است [۱۲]



شکل ۴- (A) سطوح حاصل از انحلال و ایجاد برش‌های ریزشی کارستی و (B) سطوح فرسایشی ریزشی کارستی با افق خاک در معدن متروکه تراورتن در مجاورت چشمه



شکل ۵- نمای شماتیک از مورفولوژی‌های رایج ۱- تپه‌ای ۲- شکاف - پشته‌ای ۳- آبشاری - سدی و ۴- لایه‌های جریان‌ی به همراه انکوئید [۵]

(A,B). لامینه‌ها به علت ناخالصی‌هایی از اکسیدهای آهن (لیمونیت و هماتیت) عمدتاً به رنگ قهوه‌ای کرم و یا زرد مایل به قهوه‌ای رخنمون دارند و این امر حاکی از مقادیر بالای آهن در آب چشمه می‌باشد. معمولاً ته‌نشست ترکیبات آهن‌دار از آب‌های خارج شده از چشمه‌ها سریع‌تر از ته‌نشست کربنات‌ها می‌باشد. بنابراین غلظت آهن در تراورتن‌ها کاهش پیدا می‌کند که این هم‌زمان با کاهش غلظت عناصر دیگر می‌باشد. لامیناسیون‌ها نشان دهنده وقفه یا افت جریان سیال می‌باشد که شواهدی از تغییرات دوره‌ای در نرخ رسوب‌گذاری محسوب می‌شوند [۱۳]. در نهشته‌های مذکور برتری پدیده‌های فیزیکوشیمیایی بیش‌تر از پدیده‌های بیوشیمیایی است.

پتروگرافی و دیاژنز تراورتن‌ها

چهار نوع لیتوفاسیس با توجه به مورفولوژی‌های رایج در مقیاس روی زمین و ویژگی‌های پتروگرافی شناسایی شد [۱۴]. لیتوفاسیس‌های اصلی شامل: ۱) قشرهای متبلور (crystalline crust، ۲) انکوئیدها (oncooids) ۳) گل‌های سیاه کربناته (carbonate black muds و ۴) توفای (tufa).
 ۱- لیتوفاسیس پوسته یا قشر متبلور: این نوع لیتوفاسیس عمدتاً در اطراف دهانه چشمه‌ها تشکیل می‌شود و بیش‌تر به صورت تناوب لامینه‌های روشن از کلسیت اسپارایتی و لامینه‌های تیره رنگ میکرایتی است [۱۸، ۱۰ و ۹] این لیتوفاسیس عمدتاً ناشی از ته‌نشست سریع از جریان‌های با سرعت زیاد روی شیب‌های صاف، حاشیه‌ها و دیواره‌های قائم تراس‌ها و دیواره حوضچه‌ها است. ضخامت این لیتوفاسیس از چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر بالغ می‌شود. بلورهای کلسیت و آراگونیت به فرم رشته‌ای و یا تیغه‌ای عمود بر لامینه‌های میکرایتی رشد کرده است. منظره این بلورها که عمود بر لامینه‌ها است به صورت بادبزی می‌باشد و در نور پلاریزه بلورها خاموشی موجی از خود نشان می‌دهد (شکل ۱۲). لازم به ذکر آراگونیت با معرف فیزل سیاه رنگ می‌شود.

۲- لیتوفاسیس نوع انکوئیدی: دانه‌های پوشش‌دار در نهشته‌های تراورتنی بسیار رایج بوده [۸، ۹ و ۴]. انکوئیدها با کمک جلبک‌های سیانو باکتری به صورت کنکرسینی در می‌آید. در برش ماکروسکوپی و میکروسکوپی انکوئیدها تجمع لامینه‌های میکرایتی متحدالمرکز مشاهده می‌شود

مورفولوژی نوع شکاف-پشته‌ای: از یک شکاف مرکزی که تراورتن‌های نواری در آن رسوب کرده‌اند و تراورتن‌های شیب‌دار مجاور آن تشکیل شده‌اند به وجود آمده است. شکل‌گیری این مجموعه بدین صورت است که آب‌های اشباع از کربنات کلسیم از شکاف مرکزی بالا آمده و موجب رسوب تراورتن در دیواره شکاف و نیز در طرفین آن می‌شوند و در نتیجه یک پشته خطی ایجاد می‌شود. این مورفولوژی بیش‌تر در نهشته‌های قدیمی‌تر مشاهده می‌شود (شکل ۷). اگر نرخ جریان آبی که از شکاف مرکزی بالا می‌آید، زیاد باشد، پشته ایجاد شده ارتفاع کم ولی عرض زیاد خواهد داشت [۱] ولی اگر نرخ جریان آب کم باشد، رسوب‌گذاری تراورتن در اطراف شکاف مرکزی بیش‌تر شده و در نتیجه ارتفاع پشته زیاد و عرض آن کم خواهد بود (شکل ۷).

مورفولوژی نوع تپه‌ای: این مورفولوژی به واسطه جریان آب چشمه روی سطوح شیب‌دار که فاقد مانع در سطح بوده ایجاد می‌شود (شکل ۸).

مورفولوژی نوع لایه‌ای جریانی با انکوئید: این مورفولوژی روی سطوح شیب‌دار به دنبال مورفولوژی نوع تپه‌ای قرار داشته و روی آن با تراس‌های کوچک تزیین شده و انکوئیدها در روی آن پراکنده است (شکل ۹-A,B).

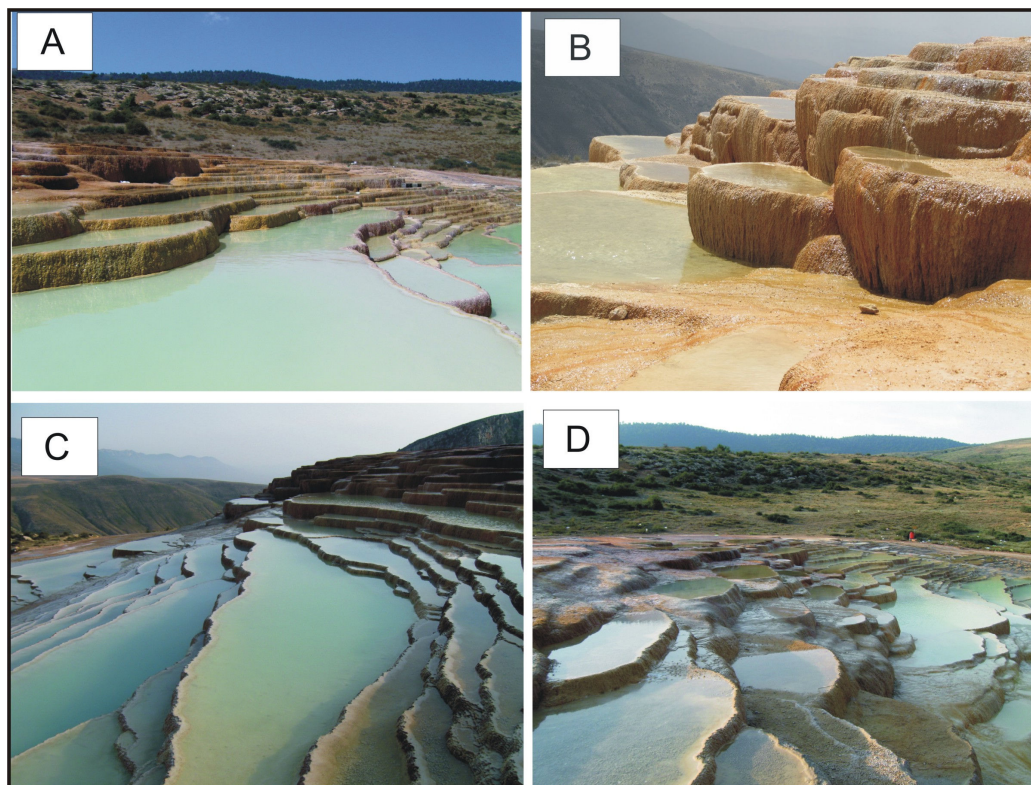
مورفولوژی پشته‌های انکوئیدی: این مورفولوژی در محدوده حوضچه‌ها، سدها و فرورفتگی‌های که با آب پر شده است تشکیل می‌شود. انکوئیدهای مذکور دارای اندازه‌های مختلف و شکل‌های متنوع می‌باشد (شکل ۱۰-A). شکل اولیه هسته، شکل نهایی این انکوئیدها را سبب می‌شود (شکل ۱۰-B, C, D). محل تشکیل انکوئیدها بیش‌تر مربوط به حوضچه‌ها و بخش‌های گودی که رسوب‌گذاری صورت می‌گیرد محدود می‌شود. شکل (D-۱۰) تجمع این انکوئیدها را در کف یکی از حوضچه‌ها را نشان می‌دهد. شکل‌گیری ساختمان‌های متحدالمرکز انکوئیدها ناشی از تلاطم آب در حوضچه می‌باشد. اندازه و شکل این انکوئیدها متنوع می‌باشد. شکل ۱۰ نشان دهنده محل تشکیل انکوئیدها می‌باشد [۱۶].

ساختمان‌های موجود در مورفولوژی‌های تراورتنی منطقه شامل ساخت نواری ساده، نوار موجی که معمولاً هم‌زمان با تشکیل نهشته‌ها شکل گرفته‌اند، می‌باشد (شکل ۱۱-)

سولفور است مشاهده می‌شود. تماس گل‌های مذکور با هوا باعث اکسید شدن و تغییر رنگ و بو این فاسیس می‌شود. به همراه ترکیبات ذکر شده گل‌های سیاه کربناته، کلرور سدیمی که به صورت محلول در گل حضور دارد در پی تبخیر شدن آب به صورت شوره روی گل به جا گذاشته می‌شود (شکل ۱۴-A,B).

که معمولاً در اطراف هسته تجمع یافته و شروع به رشد می‌کند. در شکل ۱۳ بافت ماکروسکوپی و میکروسکوپی انکوئیدها نشان داده شده است.

۳- لیتوفاسیس گل‌های سیاه کربناته: این نوع فاسیس در نزدیک دهانه چشمه مشاهده می‌شود و بیش‌تر به صورت لجن سیاه رنگ که حاوی مواد آلی، فسفر و کمی

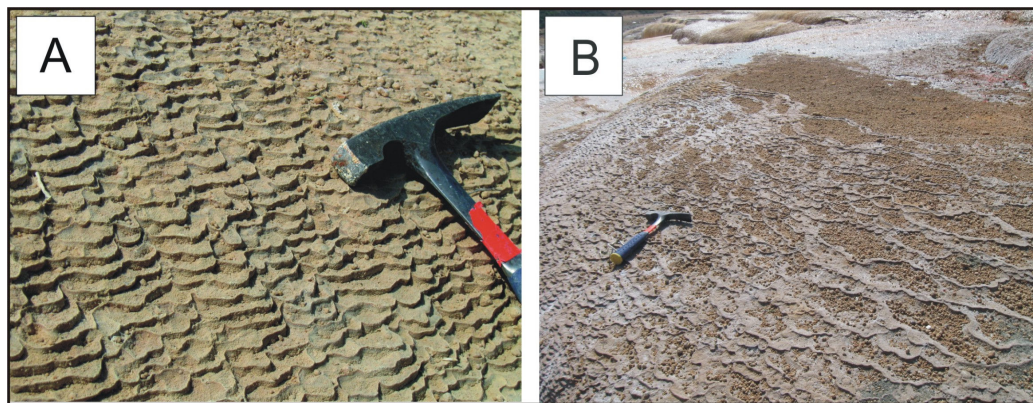


شکل ۶: A,B,C,D مورفولوژی آبشارهای پی در پی با حوضچه‌های متنوع. در این نوع مورفولوژی، نهشته‌های تراورتن به رنگ‌های زرد، قرمز و نارنجی مشاهده می‌شود. این مورفولوژی‌ها از نظر شکل، رنگ و اندازه متفاوت بوده و به سمت‌های ریزش آب امتداد می‌یابد

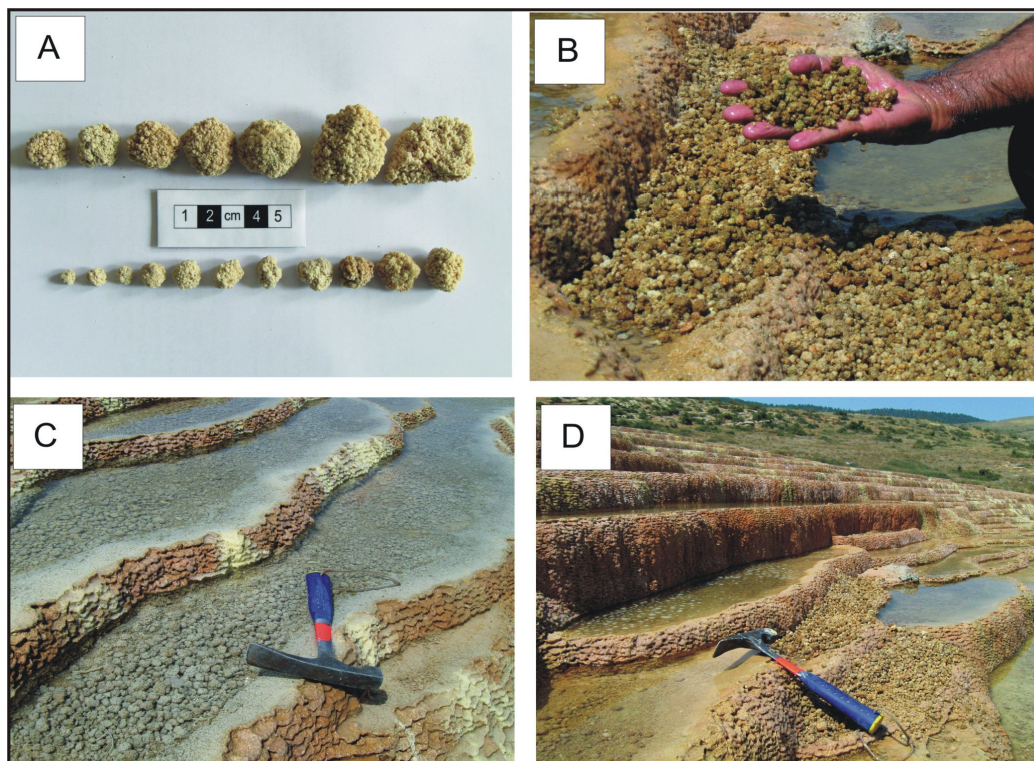


شکل ۷- مورفولوژی نوع شکاف-پشته‌ای، در بخش‌های قدیمی منطقه مشاهده می‌شود

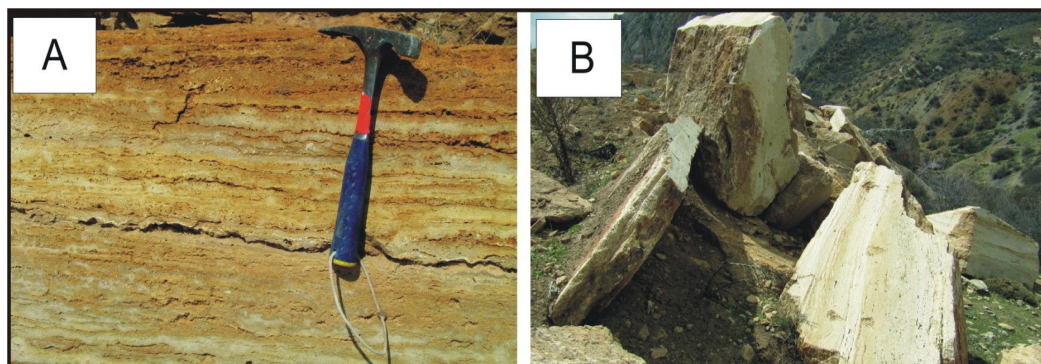
شکل ۸- مورفولوژی نوع تپه ای با چشمه دارای آب ترش



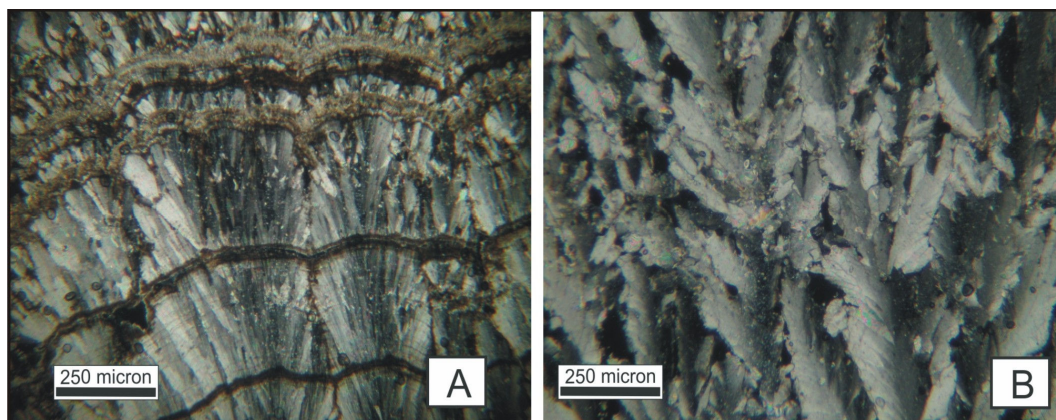
شکل ۹- A- ترانس‌های کوچک در سطح مورفولوژی لایه‌ای جریان‌ی. B- مورفولوژی نوع لایه‌ای جریان‌ی با انکوئید



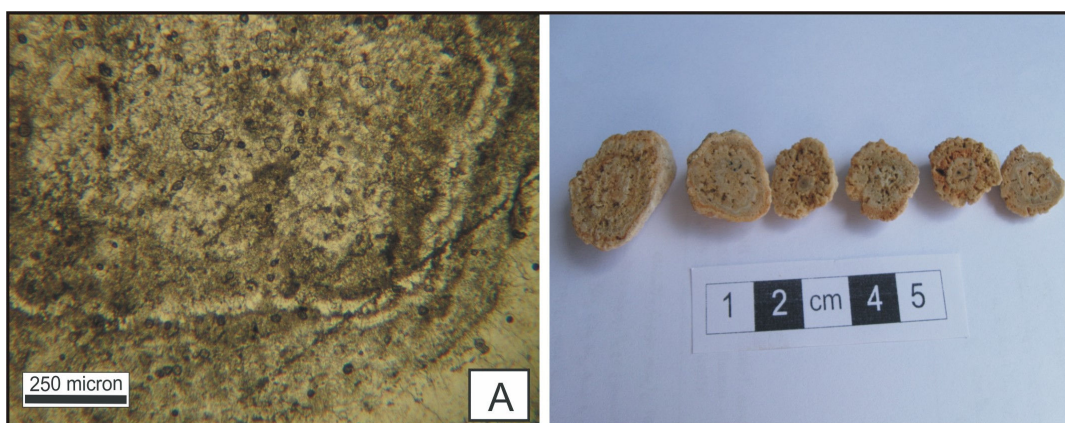
شکل ۱۰- A) تصویر انکوئیدهای مختلف حوضچه‌های چشمه باداب سورت به تغییر اندازه دانه‌ها توجه شود (B) نمای نزدیکی از تجمع انکوئیدها. C و D) نمایش چگونگی توزیع انکوئیدها در حوضچه‌ها طول چکش ۲۸ سانتی‌متر است.



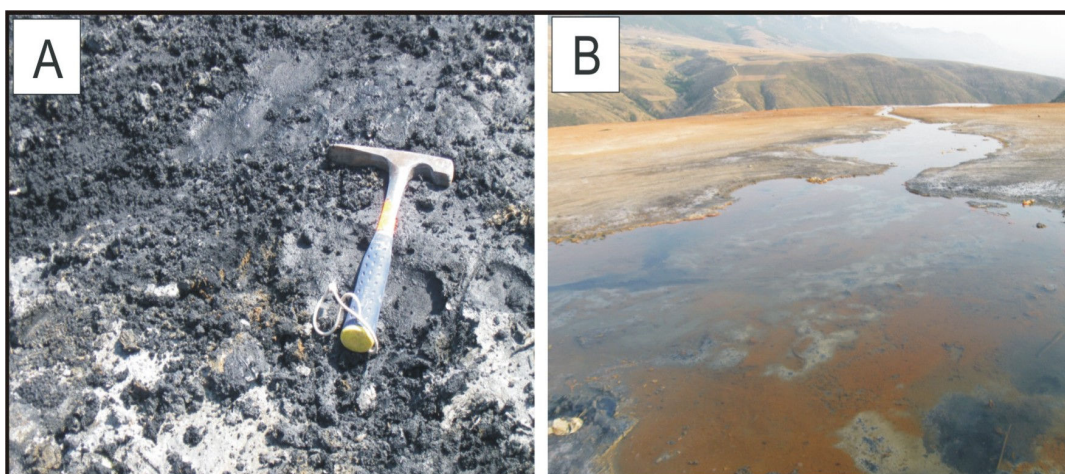
شکل ۱۱- ساخت‌های نواری، نوار موجی موجود در بلوک‌های استخراج شده در محدوده معدن متروکه.



شکل ۱۲- A- لیتوفاسیس لامینه‌ای یا قشر متبلور. در این لیتوفاسیس تناوب لامینه‌های افقی روی یکدیگر و بلورهای عمود شعاعی مشاهده می‌شود. B- بلورهای آراگونیت به صورت شعاعی و باد بزنی مشاهده می‌شود.



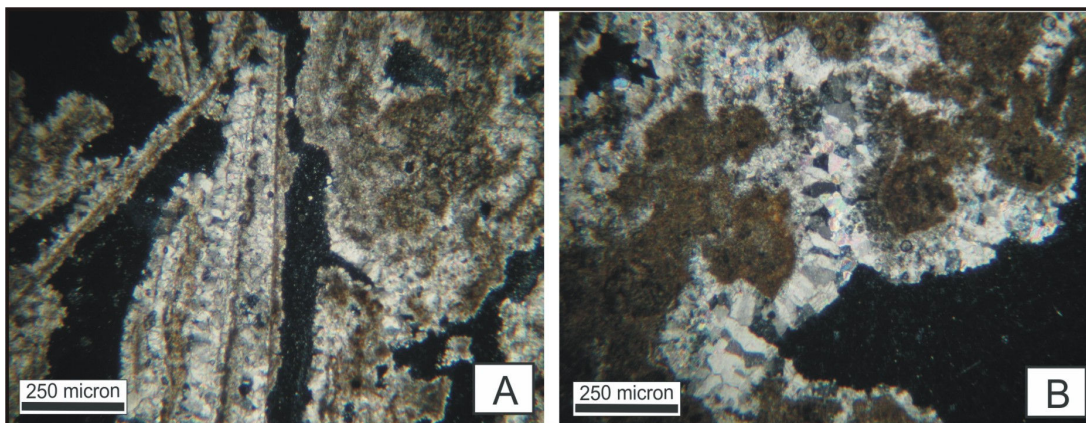
شکل ۱۳- A- بافت میکروسکوپی انکوئید. در بافت میکروسکوپی مذکور تناوب لامینه‌های متحدالمرکز از میکرایت و کلسیت اسپارایتی حول هسته‌ای که ساختمان مبهمی دارد دیده می‌شود. B- بافت ماکروسکوپی تعدادی از انکوئیدها در برش‌های عبور داده شده از مرکز. در هسته انکوئیدها آثار جلبک‌ها به خوبی مشاهده می‌شود.



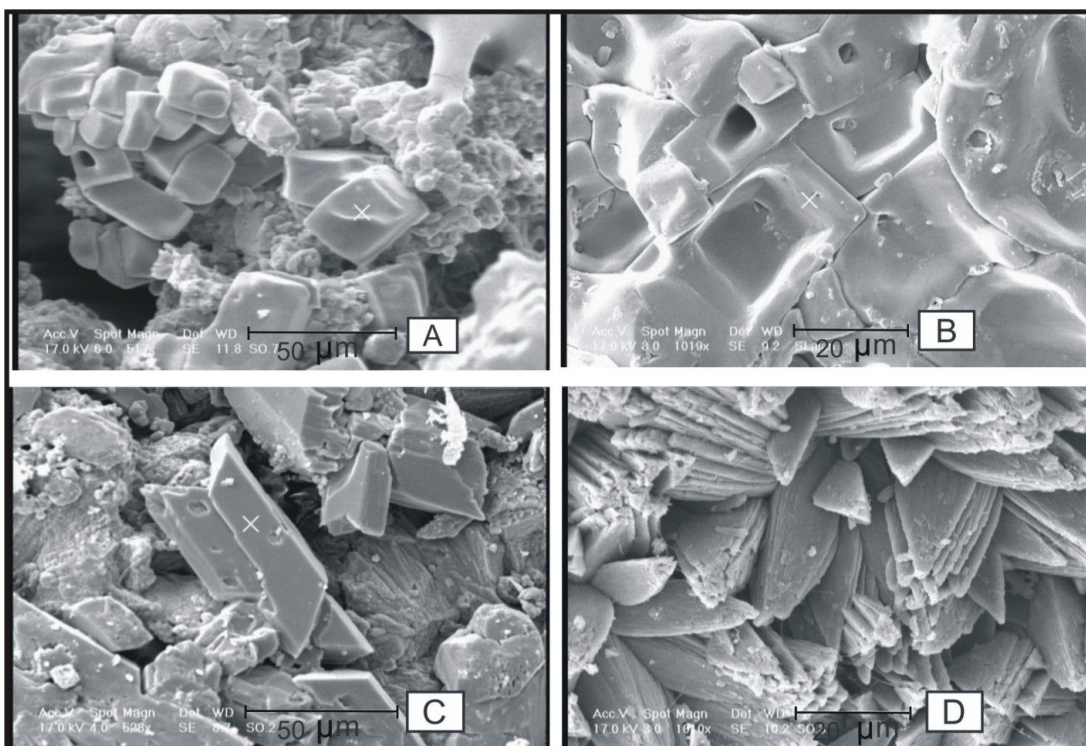
شکل ۱۴- A رخنمون گل‌های سیاه کربناته که در اثر تبخیر آب‌های حوضچه B- حوضچه دارای گل سیاه کربناته در مقابل دهانه چشمه. رخنمون یافته است. طول چکش ۲۸ سانتی‌متر است.

لیتوفاسیس‌ها بلورهای نمک طعام به فرم‌های مکعبی با سطوح انحلال یافته و فرم قیفی شکل و نیز بلورهای ژپس و آراگونیت مشاهده شد (شکل-۱۶- A,B,C,D). نتایج آنالیزهای EDAX نیز حضور بلورهای مذکور را تایید می‌کند (شکل-۱۷).

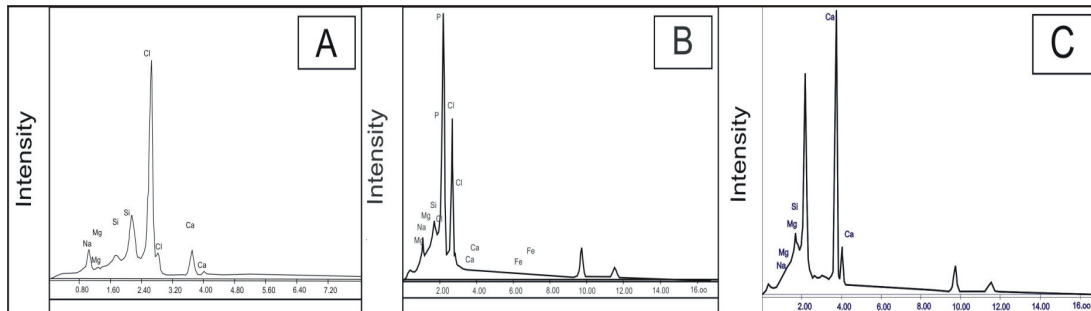
۴- لیتوفاسیس تופا: در این لیتوفاسیس خرده‌های تراورتنی و انکوئیدها به یکدیگر جوش خورده و بافت برشی را نشان می‌دهد (شکل ۱۵- A,B). این لیتوفاسیس در نهشته‌های قدیمی و جدید قابل مشاهده است. برای تعیین دقیق‌تر بافت و ترکیب شیمیایی لیتوفاسیس‌ها خصوصاً فاسیس‌های گل کربناته سیاه از نتایج SEM و آنالیز EDAX استفاده شد. در مشاهدات SEM در



شکل ۱۵- A,B لیتوفاسیس تופا. در اثر سیمانی شدن خرده‌های لیتوکلاست و انکوئیدها حاصل شده است.



شکل ۱۶- تصاویر SEM از بلورهای هالیت به صورت مکعب‌های با زوایای حل شده (A) و ساختمان قیفی شکل (B) بلورهای آراگونیت (C) و بلورهای ژپس (D).



شکل ۱۷- نتایج آنالیز EDAX از بلورهای هالیت (A)، ژپس (B) و آراگونیت (C).

بحث و نتیجه‌گیری

تراورتن‌های ناحیه بادآب سورت در منطقه فعال تکتونیکی البرز قرار گرفته است. با توجه به گسل‌های فراوان و فعال که باعث ایجاد و خروج چشمه‌های متعددی می‌شود می‌توان به ژئومورفولوژی شکاف-پشته‌ای اشاره نمود. معمولاً این مورفولوژی در ارتباط با فعالیت‌های ساختمانی می‌باشد. به همین منظور واژه تراویتونیک که به معنی کاربرد نهشته‌های تراورتن در تکتونیک فعال است [۱۱] به کار گرفته شده است. اگر نرخ جریان آبی که از شکاف مرکزی بالا می‌آید، زیاد باشد، پشته ایجاد شده ارتفاع کم ولی عرض زیاد خواهد داشت، ولی اگر نرخ جریان آب کم باشد، رسوب‌گذاری تراورتن در اطراف شکاف مرکزی بیشتر شده و در نتیجه ارتفاع پشته زیاد و عرض آن کم خواهد بود. این مورفولوژی در پهنه‌های هم‌پوشانی بین قطعات گسلی قرار گرفته و از کشش‌های موضعی ناشی شده‌اند [۱].

ادامه یافتن جریان آب چشمه سبب رسوب‌گذاری تراورتن روی افق‌های خاک می‌شود. تغییر رژیم آب‌دهی که احتمالاً فصلی بوده است باعث تغییر میزان مواد رنگی مانند Al, Fe, Mg و غیره می‌گردد و لایه‌های متعدد با رنگ‌های مختلف را تشکیل داده است دوره‌های که دبی چشمه کاسته و گاهی قطع می‌شده به صورت تشکیل افق‌های خاک قابل مشاهده است. رخدادهای پس از رسوب‌گذاری تراورتن‌ها بیشتر به صورت دیاژنز بلافاصله پس از رسوب‌گذاری آغاز می‌شود و بیشتر به صورت کاهش تخلخل در نتیجه سیمانی شدن می‌باشد. در زمان‌هایی که جریان آب قطع می‌شود، تراورتن‌ها در معرض هوازدگی و فرسایش قرار می‌گیرند و در نتیجه افق‌های خاک برجا به وجود می‌آید. در ادامه و با تاثیر آب‌های جوی و فرورو،

حفره‌های کارستی در میان نهشته‌های تراورتن ایجاد می‌شود. با شروع مجدد جریان آب اشباع از کربنات کلسیم نسل جدیدی از نهشته‌های تراورتن بر روی خاک برجا رسوب‌گذاری می‌کند و حفره‌های کارستی نیز با نهشته‌های اسپلوتم پر می‌شوند، لذا در محدوده چشمه معدن غیر فعالی که دارای متروکه حفرات کارستی و افق‌های خاک مشاهده می‌شود که می‌توان آن‌ها را به رخدادهای بعد از رسوب‌گذاری نسبت داد. مورفولوژی‌های متعددی در طی سال‌ها در منطقه ایجاد شده است که سنگ بستر آن-ها سازند سیلیسی کلاستیک شمشک است که نمی‌تواند تامین‌کننده کربنات کلسیم لازم برای تشکیل نهشته‌های تراورتنی باشد. لذا با توجه به واحدهای زیرین شمشک که کربناته بوده (سازند الیکا و مبارک) منشا اصلی و مهم برای این امر بوده است. با توجه به جریان مداوم و پیوسته آب مورفولوژی آبشار-سدی از زیباترین و فراوان‌ترین مورفولوژی‌های ناحیه است و می‌تواند به عنوان یک پتانسیل ژئوپارک معرفی نمود. فراوان‌ترین مورفولوژی از نوع حوضچه‌های پی در پی و آبشاری است. ترکیب شیمی آب چشمه قلیایی شور است. تراورتن‌ها از نظر منشا در طبیعت در دو گروه قرار می‌گیرند که شامل میتوژن *meteo gene* و ترموژن *thermogene* است [۱۶]. نوع اول بیشتر متاثر از پدیده‌های جوی است و دی‌اکسید کربن آن منشا جوی و نیز فعالیت‌های زیستی در خاک می‌باشد. در نوع دوم فعالیت‌های حرارتی مثل زمین‌گرمایی و منبع ماگمایی نقش بیش‌تری دارد.

- travertines in active fault studies. *Journal of Structural Geology*, 21: 903–916.
- [12] Jalilian, M., Afsharian Zadeh, A. M., and Ghomashi, A (1992) Kiyasar Geological Map. 1:100000 Geological Survey of Iran.
- [13] Kano, A., Matsuoka, J., Kojo, T. and Fujii, H (2003) Origin of annual laminations in tufa deposits, southwest Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191: 243–262.
- [14] Özkul, M., Varol, B., and Alçiçek, M. C., (2000) Depositional environments and petrography of Denizli travertines. *Mineral Research. Exploration. Bulletin*, 125: 13–29.
- [15] Pentecost, A (1995) Geochemistry of carbon dioxide in six travertine-depositing water of Italy. *Journal of Hydrology*. 167: 263–278.
- [16] Pentecost A (2005) *Travertine*. Springer-Verlag, p 445.
- [17] Salvati, R., and Sasowsky, I. D (2002) Development of collapse sinkhole in areas of groundwater discharge. *Journal of Hydrology*, 264: 1–11.
- [18] Sant'Anna, L.G., and Riccomini, C (2004) The Paleocene travertine system of the Itaboraí basin, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 18: 11–25.
- [19] Stöcklin, J., and Setudehnia, A (1991) *Stratigraphic Lexicon of Iran*. Geological Survey Iran Report, 18: 1–376.
- [20] Va'zquez-Urbez, M., Arenas, C., Sancho, C., Osa car, C., Auqué, L., and Pardo, G (2010) Factors controlling present-day tufa dynamics in the Monasterio de Piedra Natural Park (Iberian Range, Spain): depositional environmental settings, sedimentation rates and hydrochemistry. *International Journal. Earth Science (Geol Rundsch)*, 99: 1027–1049.
- منابع**
- [۱] تقی پور، ک.، عباسی، م. ر (۱۳۸۷) تراویتونیک: کاربرد نهشته های تراورتن در تکتونیک فعال، بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین، صفحه ۵۷، اسفند ۱۳۸۴
- [2] Billi, A., Valle, A., Brilli, M., Faccenna, C., and Funicello, R (2006) Fracture-controlled fluid circulation and dissolutional weathering in sinkhole-prone carbonate rocks from central Italy. *Journal. Struct. Geology*, 29: 385–395.
- [3] Chafetz, H. S., and Folk, R. L (1984) Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 289–316.
- [4] Chafetz, H. S., Meredith J. C (1983) Recent travertine pisolites (pisoids) from southeastern Idaho, U.S.A. 450–455. In: Peryt TM (ed) *Coated Grains*. New York, Springer-Verlag, p 655.
- [5] Della Porta, G., Barilaro, F., and Ripamonti, M (2011) *Non-Marine Carbonates - Facies, Diagenesis and Porosity Development*, AAPG Annual Convention and Exhibition, Houston, Texas, USA, April 10–13, 2011
- [6] Drysdale, R. N (1999) The sedimentological significance of hydropsychid caddis-fly larvae (Order: Trichoptera) in a travertine-depositing stream: Louie Creek, Northwest Queensland, Australia. *Journal of Sedimentary Research*, 69: 145–150.
- [7] Faccenna, C., Soligo, M., Billi, A., De Filippis, L., Funicello, R., Rossetti, C., and Tuccimei, P (2008) Late Pleistocene depositional cycles of the Lapis Tiburtinus travertine (Tivoli, Central Italy): Possible influence of climate and fault activity. *Global and Planetary Change*, 63:299–308.
- [8] Folk, R. L., and Chafetz, H. S (1983) Pisoliths (pisoids) in Quaternary travertines of Tivoli, Italy', 474–487. In: Peryt, TM (ed.) *Coated Grains*. New York, Springer-Verlag, P 655.
- [9] Guo, L. and Riding, R. E (1998) Hot-spring travertine facies and sequences, Late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 45:163–180.
- [10] Guo, L. and Riding, R. E (1992) Aragonite laminae in hot water travertine crusts, Rapolano Terme, Italy. *Sedimentology*, 39: 1067–1079.
- [11] Hancock, P. L., Chalmers, R. M. L., Altunel, E., C., and Akir, Z (1999) *Travtonics: using*