

بررسی منشا چشمه شوراب و مکانیسم تشکیل نهشته‌های میکروبی تراورتن - تופا در گردنه گدوک (جاده فیروزکوه) ایران

محسن رنجبران^{۱*}، ندا بشیری^۲ و مهناز حسین‌زاده^۳

۱- استادیار دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

۲ و ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

نویسنده مسئول: m.ranjaran@ut.ac.ir

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۹۹/۶/۲۶

دریافت: ۹۹/۲/۴

چکیده

چشمه تراورتن‌ساز شوراب در فاصله‌ی ۱۴۰ کیلومتری شرق تهران و در ابتدای گردنه گدوک در مرز استان‌های تهران و مازندران قرار دارد. این چشمه از شکستگی‌ها و زهکشی‌های موجود از سازند باروت از تونل قطار منشأ می‌گیرد. با توجه به زمان تشکیل نهشته‌ها، دو گروه تفکیک گردید: گروه اول نهشته‌های که امروزه در حال تشکیل و شکل‌گیری هستند و اکثراً دارای رنگ‌های متنوع بوده و گروه دوم نهشته‌های قدیمی و فسیل شده که عمدتاً در مجاورت مسیر راه‌آهن و در کنار نهشته‌های جدید در غرب روستا قرار دارد و بیش‌تر کرم‌رنگ می‌باشد. سن تشکیل این نهشته‌های جدید کمتر از صدسال می‌باشد. مورفولوژی و نهشته‌های رسوبی به فرم‌های آبشاری و لایه‌ای می‌باشد. براساس ویژگی‌های ظاهری دو لیتوتایپ از نوع ۱- تراورتن لامینه‌ای (*Laminated travertine*) و ۲- توفای آهکی یا فریم‌ستون فیتوهرمی (*Calcareous Tufa or Framestone phytoherm*) شناسایی شد. نتایج پتروگرافی برش‌های نازک میکروسکوپی منجر به شناسایی چهار نوع میکروفاسیس شامل: ۱- میکروفاسیس باندستون رفتی: *Microfacies raft boundstone*؛ ۲- میکروفاسیس جلبکی؛ ۳- میکروفاسیس باندستون لامینه *Microfacies Crystalline crusts* و ۴- میکروفاسیس باندستون بوته‌ای گردید. انحلال و سیمانی شدن از مهم‌ترین فرآیندهای دیاژنزی تופا و تراورتن در فاسیس‌های کربناته منطقه می‌باشد. بر اساس غلظت یون‌های محلول، تیپ آب چشمه شوراب تقریباً خنثی تا کمی قلیایی و از نوع کلرورسدیک می‌باشد.

واژگان کلیدی: لیتوتایپ، گردنه گدوک، چشمه شوراب، تراورتن، تופا، البرز

۱- پیشگفتار

تشکیل تراورتن، گاززدایی دی‌اکسیدکربن محلول از آب چشمه است که این فرایند همراه با تبخیر و نیز برداشته شدن فشار نیز انجام می‌شود. در سطح زمین به علت افت فشار، کاهش دما، آزاد شدن دی‌اکسیدکربن و هم‌چنین فرایند تبخیر، بلورهای کلسیت و آراگونیت تشکیل شده و به‌صورت لایه‌های نازکی بر روی یکدیگر رسوب می‌کنند (یوسال و همکاران، ۲۰۰۹؛ دریزدیل، ۱۹۹۹).

رسوب‌گذاری تراورتن‌ها عمدتاً بر روی سطوح شیب‌دار و بستری که رسوبات بر روی آن قرار دارد، به‌صورت مورب و موج‌دار رخ می‌دهد (روشنک و همکاران، ۱۳۹۶). به‌طور کلی طی فرآیند تشکیل نهشته‌های تراورتن و توفای آب‌های گرم از بین طبقات سنگ‌ها، به‌ویژه سنگ‌های کربناته عبور می‌کنند و به دلیل اسیدی بودن، کربنات کلسیم موجود در این سنگ‌ها را حل کرده و به‌صورت محلول کربناتی و بی‌کربناتی با خود به سطح زمین

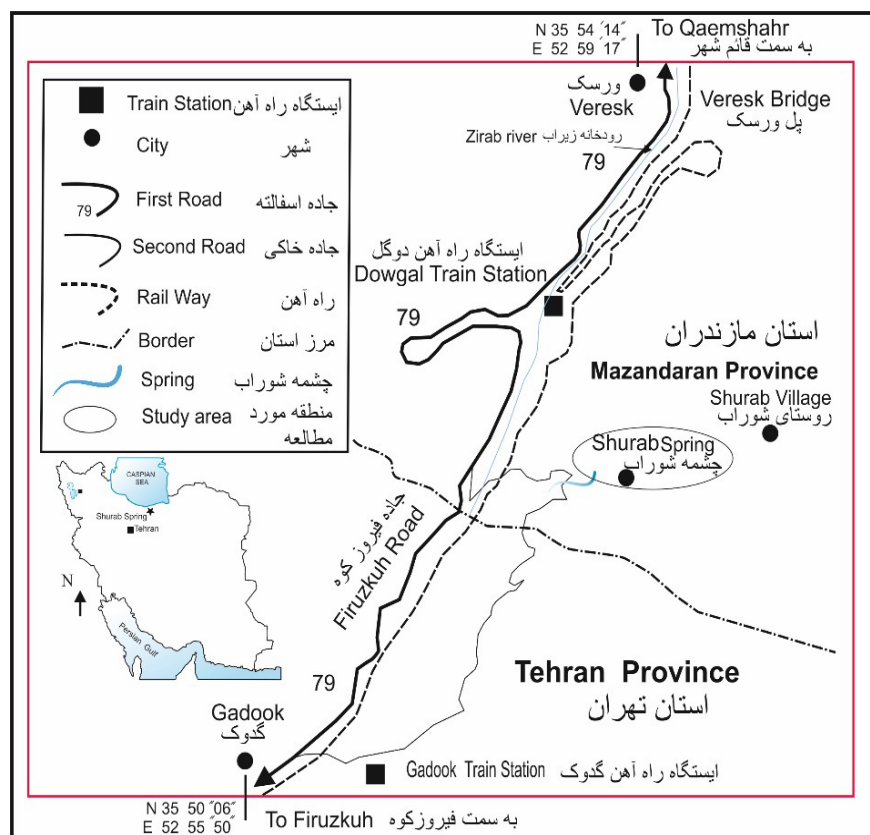
سنگ‌های کربناتی منعکس‌کننده جنبه‌های شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی محیط‌های رسوبی تشکیل آن‌ها است. در این میان تراورتن و تופا گروه بزرگی از نهشته‌های کربناته‌ای غیردریایی مربوط به چشمه‌های آب شیرین، دریاچه‌ها، غارها و سیستم‌های کارستی هستند که در بیش‌تر مناطق دنیا گسترش دارند (فورد و پدلی، ۱۹۹۶؛ پدلی و همکاران، ۱۹۹۶؛ فری تیت و ورچیا، ۱۹۹۹؛ گرادزینسکی، ۲۰۱۰). چشمه‌های آب گرم و معدنی معمولاً در نقاطی از زمین پدید می‌آیند که در آن‌ها شرایط مورفولوژی، تکتونیک، ماگمایی و جوی فراهم آمده باشد. این سنگ‌ها در واقع محصول چشمه‌های آب شیرین به‌واسطه فعالیت‌های آلی و غیرآلی می‌باشد (چفتز و فولک، ۱۹۸۴؛ مویروود، ۱۹۹۳؛ گاندین و کپزوئولی، ۲۰۰۸؛ گرادزینسکی، ۲۰۱۰). فرایند اصلی

سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک می‌باشد. این مطالعه بر اساس منشأ، بررسی مورفولوژی، تغییرات بافت و کانی‌شناسی نهشته‌های کربناته چشمه شوراب، به ویژه نهشته‌های میکروبی بر مبنای داده‌های پتروگرافی، هیدروشیمی و مطالعات SEM بوده است. همچنین در این مطالعه نیز تاثیر عوامل شیمیایی و بیوشیمیایی در رسوب نهشته‌های تופا و تراورتن‌ساز مورد بررسی قرار می‌گیرد. این محل و نهشته‌های آن با توجه زیبایی‌های محیطی مستعد معرفی به عنوان یک ژئوسایت به گردشگران نیز قابل توجه خواهد بود.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه شوراب

چشمه تراورتن‌ساز شوراب در ۱۴۰ کیلومتری تهران، در شرق جاده تهران- فیروزکوه در غرب و جنوب‌غرب روستای شوراب در حدفاصل استان‌های تهران و مازندران در عرض جغرافیایی "43'51°N35" شمالی و طول جغرافیایی "31'57°E52" شرقی واقع شده است (شکل ۱).

منتقل می‌کنند. تقسیم‌بندی تراورتن‌ها بر اساس سه ویژگی، ژئوشیمی، فابریک و مورفولوژی آن‌ها را در نظر گرفته می‌شود (پنتکاست و رادیل، ۱۹۹۴). پنتکاست (۱۹۹۳) با توجه به گاز دی‌اکسیدکربن در چشمه‌های تراورتن‌ساز، آن‌ها را به دو گروه تراورتن‌های متوژن و ترموژن یا حرارتی دسته‌بندی می‌کند. چشمه‌های تراورتن‌ساز در مناطق مختلف ایران دارای رخنمون‌های متنوع و جالبی است. از جمله می‌توان به معادن و چشمه‌های تراورتن‌ساز شهرهای محلات در استان اصفهان، آب‌اسک، در جاده هراز، چشمه‌های تراورتن‌ساز آذرشهر در استان آذربایجان شرقی و... اشاره نمود. در خصوص تراورتن‌های منطقه شوراب هیچ‌گونه گزارش و کار پژوهشی تاکنون صورت نگرفته است؛ و این اولین پژوهش در این زمینه می‌باشد. نهشته‌های تופا و تراورتنی منطقه گردنه گدوک، از نهشته‌های عهد حاضر در شمال شهر فیروزکوه در حاشیه جاده فیروزکوه-ورسک محسوب می‌شود. هدف از این مطالعه، بررسی نحوه شکل‌گیری چشمه شوراب و تشکیل نهشته‌های کربناته بر روی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه دسترسی به روستا و چشمه شوراب در گردنه گدوک

باروت، شیل و ماسه‌سنگ مربوط به سازندهای زاگون و لالون و ماسه‌سنگ و زغال‌سنگ مربوط به سازند شمشک رخنمون دارد (سلامتی، ۲۰۱۸). سنگ میزبانی که چشمه از آن خارج می‌شود متعلق به سازند باروت بوده که در این منطقه تناوبی از شیل و دولومیت است که به‌شدت دچار شکستگی، چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی شده است. در بیش‌تر موارد می‌توان در شکل‌گیری نهشته‌های تراورتن و گسل‌های منطقه ارتباط هم از نظر منشا و هم از نظر زمان تشکیل برقرار نمود که متخصصین تکتونیک از واژه‌های خاصی نظیر تراویتونیک کمک می‌گیرند (آلتونل و هنکاک، ۲۰۰۳a؛ آلتونل، ۲۰۰۵؛ هنکاک و همکاران، ۱۹۹۹؛ بروگی و کپزوئولی، ۲۰۰۹؛ رحمانی جوانمرد و همکاران، ۲۰۱۲a). لازم به ذکر است بیش‌تر تراورتن‌های حاصل این چشمه و چشمه‌های قدیمی‌تری که امروزه فقط نهشته‌های آن‌ها در منطقه به‌جا مانده است بر روی شیل‌های سازند زاگون قرار دارند (شکل‌های ۳، A۴ و B4).

این چشمه در کوهپایه غرب روستای شوراب به شکل پله‌پله رخنمون داشته و نهشته‌های کربناته آن به رنگ‌های نارنجی، سفید، زرد، قرمز و در بخش انتهایی چشمه که به رودخانه می‌رسد به رنگ سیاه دیده می‌شود. آب خروجی چشمه در ارتفاع ۲۰۹۰ متری سطح دریا از شکستگی‌ها و درز و ترک‌های زهکشی شده و داخل تونل قطار که به‌صورت جوی کوچکی جاری می‌یابد جریان دارد (شکل ۲). روستای شوراب از زیباترین مناطق استان مازندران در شهرستان سوادکوه بوده که به دلیل وجود چشم‌اندازهای زیبایی از جنگل و وجود مه غلیظ در بسیاری از مواقع نظر هر گردشگری را به خود جلب می‌کند؛ و معرفی این چشمه در این مطالعه اطلاعات خوبی را در اختیار زمین‌شناسان و گردشگران قرار خواهد داد. این منطقه بخشی از زون ساختاری البرز مرکزی بوده است و در دامنه جنوبی آن واقع شده است. در این منطقه سازندهای مربوط به دوران پرکامبرین، پالئوزوئیک و مزوزوئیک با ترکیب دولومیت و شیل مربوط به سازند



شکل ۲. نمای کلی از چشمه شوراب در غرب روستای شوراب در گردنه گدوک در مسیر جاده فیروزکوه- قائم‌شهر، محل‌های نمونه‌برداری، از (A) تا (L) مربوط به نمونه‌های امروزی در حال تشکیل و از M تا S مربوط به نمونه‌های قدیمی و فسیل شده است.

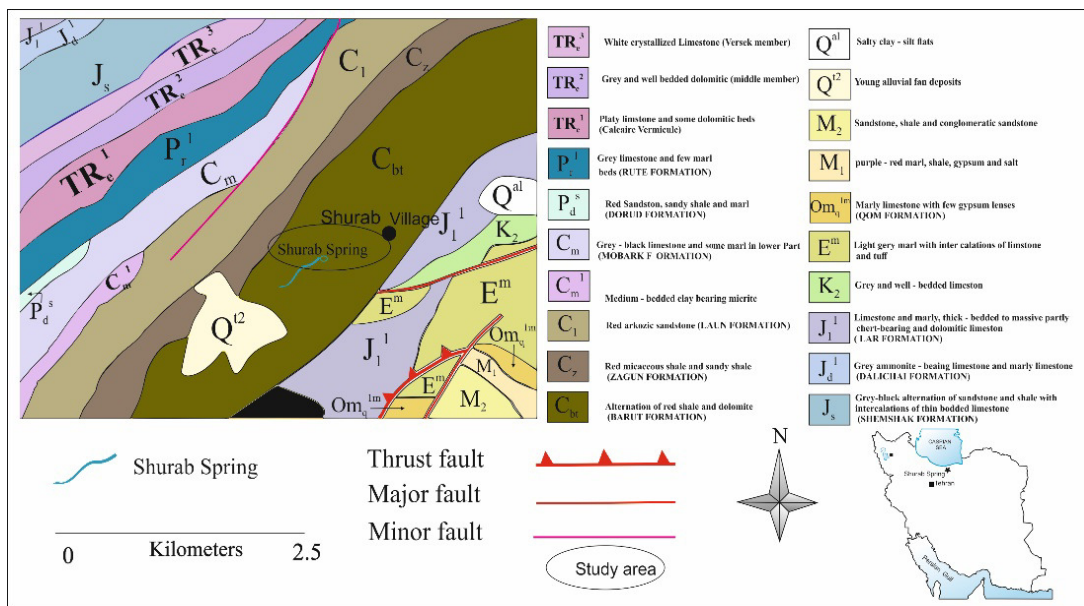
۳- مواد و روش‌ها

قسمت‌های قدیمی یا قبلاً تشکیل شده می‌باشد. برای نام‌گذاری تراورتن‌ها، طبقه‌بندی‌های مختلفی بر اساس منشأ، مورفولوژی و بافت آن‌ها پیشنهاد شده است (چفتز و فولک، ۱۹۸۴). مختصات جغرافیایی محل نمونه‌برداری در جدول ۱ و شکل ۲ نشان داده شده است. نمونه‌برداری

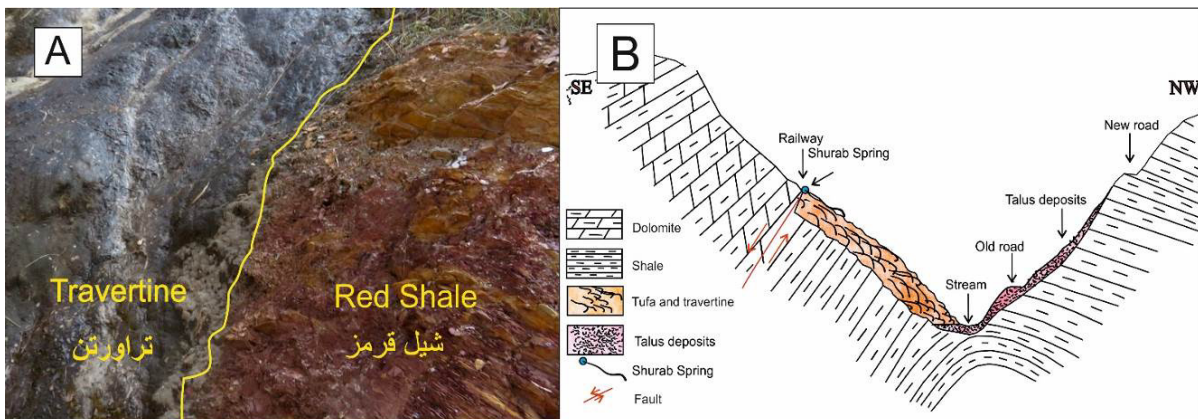
در این مطالعه تعداد ۲۰ نمونه دستی از چشمه شوراب واقع در گردنه گدوک برداشت گردید. ۱۳ تا از نمونه‌ها مربوط به بخش‌های در حال تشکیل از مظهر چشمه تا رسیدن چشمه به رودخانه، و ۷ نمونه دیگر نیز مربوط به

رودایت‌های سیمانی شده (شکل ۵). در این تحقیق رخساره‌های میکروسکوپی بر اساس روش پدلی شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند. همچنین تعداد ۶ نمونه در مطالعات میکروسکوپ الکترونی همیتاچی (SEM-EDX) مدل SU3500، به منظور تعیین بافت و ترکیب شیمیایی آن‌ها در آزمایشگاه سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران مورد تصویربرداری و آنالیز نقطه‌ای نیمه کمی قرار گرفت. همچنین نیز جهت تعیین هیدروشیمی از چشمه موجود نمونه‌برداری شد و در دانشکده شیمی دانشگاه تهران مورد آنالیز قرار گرفت.

بر مبنای تغییر در رنگ، بافت و مورفولوژی‌های آن‌ها صورت گرفته است. برای مطالعات سنگ‌شناسی و پتروگرافی از نمونه‌های برداشت شده ۱۵ عدد برش نازک تهیه شد. بر اساس مطالعات صحرایی و پتروگرافی ویژگی‌های ماکروسکوپی (لیتوتایپ) و میکروسکوپی (میکروفاسیس) تراورتن‌ها تعیین شد (کلاز و همکاران، ۲۰۱۵؛ فورد و پدلی، ۱۹۹۶؛ پدلی، ۱۹۹۶). بر اساس مطالعات پنتکاست (۱۹۹۵) تراورتن‌ها از نظر مورفولوژی و محیط تشکیل به ۸ گروه تقسیم می‌شوند: ۱- تپه‌ها و مخروط‌ها ۲- پشته‌های شکافه‌ای ۳- آبشاری ۴- سدی ۵- لایه‌های جریانی با آنکوئید ۶- دریاچه‌ای ۷- مردابی و ۸-



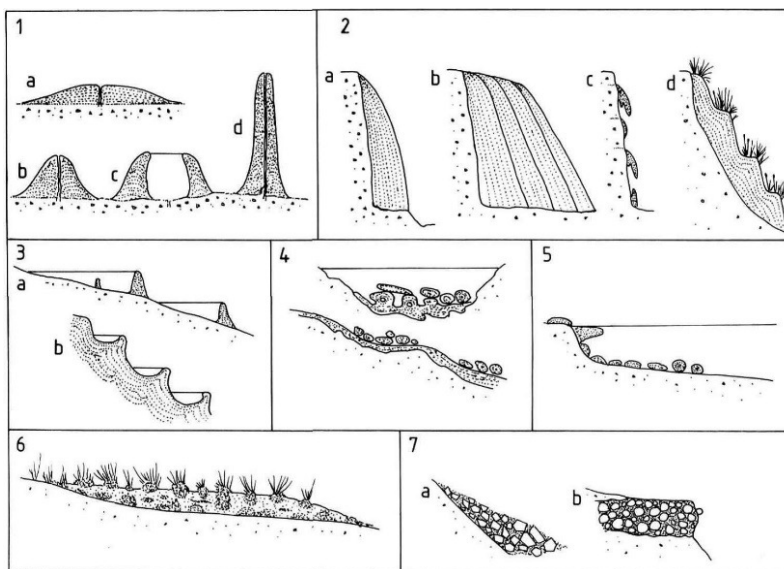
شکل ۳. نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه شوراب با توجه به موقعیت چشمه تراورتن‌ساز و سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه (بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ فیروزکوه (سلامتی، ۲۰۱۸).



شکل ۴. نهشته شدن تופا و تراورتن روی سنگ بستر شیلی. A: در قسمت چپ تصویر رسوب تراورتن روی شیل‌های قرمز رنگ با تورق لامینه‌ای سازند زاگون مشاهده می‌شود. B: برش شماتیک از موقعیت چینه‌شناسی واحدهای مختلف رسوبی و نحوه گسترش نهشته‌های تופا و تراورتن بر روی آن‌ها در روستای شوراب.

جدول ۱. موقعیت محل‌های نمونه‌برداری مربوط به تופا و تراورتن‌ها

Sample	Latitude	Longitude	Nature of Samples
A	۳۵° ۵۱' ۴۲" E	۵۲° ۵۷' ۳۴" N	Tufa mainly poorly bedded and different color
B	۳۵° ۵۱' ۴۳" E	۵۲° ۵۷' ۳۴" N	Mainly poorly bedded and different color
C	۳۵° ۵۱' ۴۳" E	۵۲° ۵۷' ۳۳" N	Mainly poorly bedded and cascade red and orange color
D	۳۵° ۵۱' ۴۳" E	۵۲° ۵۷' ۳۳" N	Tufa composed from cyanophytes red and orange color
E	۳۵° ۵۱' ۴۴" E	۵۲° ۵۷' ۳۳" N	Tufa composed from cyanophytes red and orange color
F	۳۵° ۵۱' ۴۴" E	۵۲° ۵۷' ۳۲" N	Tufa composed from cyanophytes red and orange color
G	۳۵° ۵۱' ۴۵" E	۵۲° ۵۷' ۳۲" N	Tufa composed from bacteria and cyanophytes green color
H	۳۵° ۵۱' ۴۵" E	۵۲° ۵۷' ۳۱" N	Saline travertine mainly poorly bedded
I	۳۵° ۵۱' ۴۵" E	۵۲° ۵۷' ۳۱" N	Saline travertine mainly poorly bedded, grey color
J	۳۵° ۵۱' ۴۶" E	۵۲° ۵۷' ۳۱" N	Saline travertine mainly poorly bedded, grey color
K	۳۵° ۵۱' ۴۶" E	۵۲° ۵۷' ۳۱" N	Various lamina in different most cream color
L	۳۵° ۵۱' ۴۶" E	۵۲° ۵۷' ۳۴" N	Various lamina in different most cream color
M	۳۵° ۵۱' ۳۳" E	۵۲° ۵۷' ۳۰" N	Various lamina in different most cream color
N	۳۵° ۵۱' ۴۷" E	۵۲° ۵۷' ۳۱" N	Various lamina in different most cream color
O	۳۵° ۵۱' ۴۸" E	۵۲° ۵۷' ۳۳" N	Tufas are highly porous, composed of pieces of shrubs.
P	۳۵° ۵۱' ۴۸" E	۵۲° ۵۷' ۳۴" N	Tufas are highly porous, composed of pieces of shrubs.
Q	۳۵° ۵۱' ۴۹" E	۵۲° ۵۷' ۳۵" N	Tufas are highly porous, composed of pieces of shrubs.
R	۳۵° ۵۱' ۵۰" E	۵۲° ۵۷' ۳۷" N	Tufas are highly porous, composed of pieces of shrubs.
S	۳۵° ۵۱' ۵۰" E	۵۲° ۵۷' ۳۸" N	Tufas are highly porous, composed of pieces of shrubs.



شکل ۵. مورفولوژی و محیط تشکیل تراورتن‌ها (پنتکاست، ۱۹۹۵ا)

۴- رخصاره‌ها و ریزرخصاره‌ها

برای مطالعه و طبقه‌بندی تراورتن و تופا از سه ویژگی اصلی یعنی مورفولوژی، فابریک و ژئوشیمی استفاده شده است. مورفولوژی رسوبات تופا و تراورتن در مقیاس ماکروسکوپی و در مطالعات صحرایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. مورفولوژی رسوب توده‌های تراورتن ناشی از نرخ سرعت رسوب‌گذاری است. سرعت خروج گاز CO_2 باعث

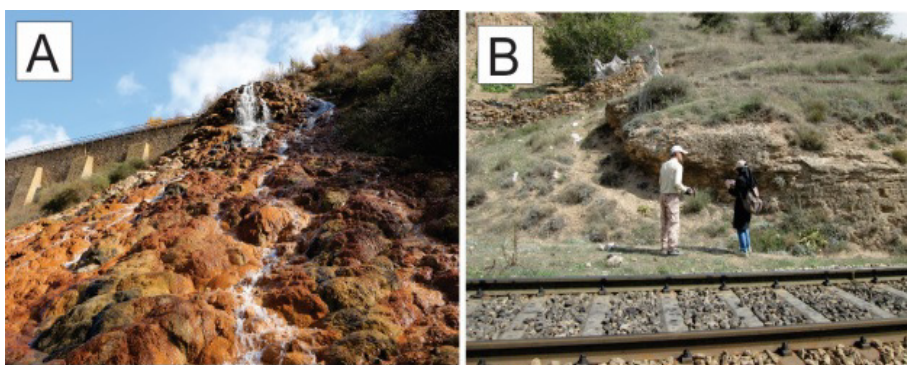
می‌شود میزان اشباع کربنات کلسیم افزایش یافته و در نتیجه باعث نهشته شدن نهشته‌های تراورتن و تופا می‌شود. همچنین با توجه به زمان تشکیل نهشته‌ها، در روستای شوراب دو نوع تراورتن و تופا مشاهده می‌شود. گروه اول نهشته‌های که امروزه در حال تشکیل و شکل‌گیری هستند و اکثراً دارای رنگ‌های متنوع زرد، قرمز، نارنجی بوده و در دهانه تونل ۵۲ مشاهده می‌شود،

سطح آب زیرزمینی چشمه در تراز ارتفاعی بلندی قرار داشته باشد، مورفولوژی نهشته‌های کربناته توفی و تراورتنی در منطقه از نوع آبشاری و به صورت لایه‌بندی خواهد بود و این امر ناشی از نهشته شدن سریع رسوبات تراورتنی چشمه بر روی شیب تند توپوگرافی منطقه می‌باشد (پنتاکست، ۱۹۹۳؛ پدلی، ۱۹۹۶). این مورفولوژی رسوب‌گذاری بیش‌تر در بخش ابتدایی چشمه شکل می‌گیرد. به علت وجود اکسیدهای آهن و نیز پوششی از خزه‌ها و جلبک‌ها این تراورتن‌ها دارای تنوع رنگی جالبی هستند (شکل‌های A7 و B7).

و گروه دوم نهشته‌های قدیمی و فسیل‌شده که عمدتاً به رنگ کرم می‌باشد و در مجاورت مسیر راه‌آهن و در کنار نهشته‌های جدید قرار دارد (شکل‌های A6 و B6).

۵- ویژگی‌های ماکروسکوپی یا لیتوتایپ تراورتن (Travertine lithotype)

با توجه به مورفولوژی نهشته‌های تופا و تراورتن موجود در منطقه شوراب به بررسی لیتوتایپ‌های (رخساره سنگی lithofacies) منطقه پرداخته شد. مورفولوژی تراورتن و تופا در منطقه شوراب توسط توپوگرافی محل و نقطه خروج چشمه تعیین می‌شود. با توجه به اینکه اگر



شکل ۶. نهشته‌های تراورتن و تופا. A: نهشته‌های فسیل‌شده تופا در حاشیه ریل راه‌آهن و B: نهشته‌های تופا و تراورتن در حال تشکیل



شکل ۷. نهشته‌های تراورتن و تופا با مورفولوژی آبشاری، A و B مورفولوژی نهشته‌های تופا و تراورتنی در چشمه شوراب با رنگ‌های مختلف که در حال شکل‌گیری می‌باشد. در شکل A رنگ غالب رسوب ترکیبات آهن‌دار قرمز و نارنجی است ولی در شکل B در پایین شکل زیر چکش رنگ تیره به علت وجود مواد آلی و سولفیدهای آهن تیره‌رنگ می‌باشد.

گرفت و در نتیجه ۴ لیتوتایپ شناسایی شد (پنتاکست، ۱۹۹۳؛ توکر، ۲۰۱۵).

۵-۱- تراورتن لامینه‌ای^۱: لامیناسیون مهم‌ترین ویژگی ظاهری در نهشته‌های تراورتن است. مورفولوژی نوع لایه‌ای در این منطقه شامل دو نوع صفحه‌ای و موجی

تراورتن‌ها و تופاها تحت تاثیر شرایط ویژه‌ای در محیط رسوب می‌کنند. در صحرا و آزمایشگاه می‌توان رخساره‌های تופا و تراورتن را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی مورد مطالعه و بررسی قرار داد. بر اساس ویژگی‌های ظاهری مثل رنگ، لایه‌بندی، بافت و مورفولوژی لیتوتایپ‌های موجود مورد بررسی قرار

¹ Laminated travertine

کربنات‌های اسفنجی یا متخلخل نیز تعریف می‌کنند. تופا در واقع نوعی از سنگ‌های آهکی متخلخل است که از آب‌های با دمای محیط طبیعی رسوب می‌کنند، شکل می‌گیرد. بر اساس نوع گیاهان شرکت‌کننده در نهشته‌های کربناته خشکی نظیر تופا و تراورتن می‌توان آن‌ها را در گروه‌های لیتوتایپ تراورتن گیاهی علفی و لیتوتایپ‌های تراورتن گیاهی نی مانند دسته‌بندی نمود (چفتز و فولک، ۱۹۸۴). اجزای مختلف گیاهی (ساقه و شاخه) به شکل کلنی‌های برج‌ها در محل اولیه رشد خود کلسیتی شده‌اند و پس از مدتی بافت آن‌ها تجزیه و فضای باقی‌مانده میان آن‌ها با رسوبات نابرجای گل‌ولای پر می‌شوند (شکل ۱۰). ظاهر عمومی این رخساره‌های سنگی به پوشش‌های گیاهی داخل آب و قالب‌های گیاهی کربناته وابسته است که با ته‌نشست‌های ثانویه کلسیتی به یکدیگر متصل شده‌اند. این نهشته‌ها در مقایسه با تراورتن‌ها از تخلخل بیشتری برخوردار هستند و آثار بقایای گیاهی نظیر برگ گیاهان مجاور چشمه و یا بوته‌های موجود در مسیر معمولاً با این نهشته‌ها دیده می‌شود. تופا گاهی به‌عنوان تراورتن‌های نوع متئوزن نیز شناخته می‌شوند (پنتکاست، ۱۹۹۳). مشابه این رخساره سنگی در نقاط دیگر از جمله آنتالیای ترکیه (گلاور و رابرتسون، ۲۰۰۳)، جنوب استرالیا (کپل و همکاران، ۲۰۱۱) جنوب فرانسه (گروسژان و پیتت، ۲۰۱۳) جنوب غرب تونس (هنچیری، ۲۰۱۳) و سوریبای اسپانیا (هورتا و همکاران، ۲۰۱۶) نیز تشکیل و شناسایی شده است.

۶- پتروگرافی و دیاژنز تراورتن‌ها و توفاه‌ها (میکروفاسیس)

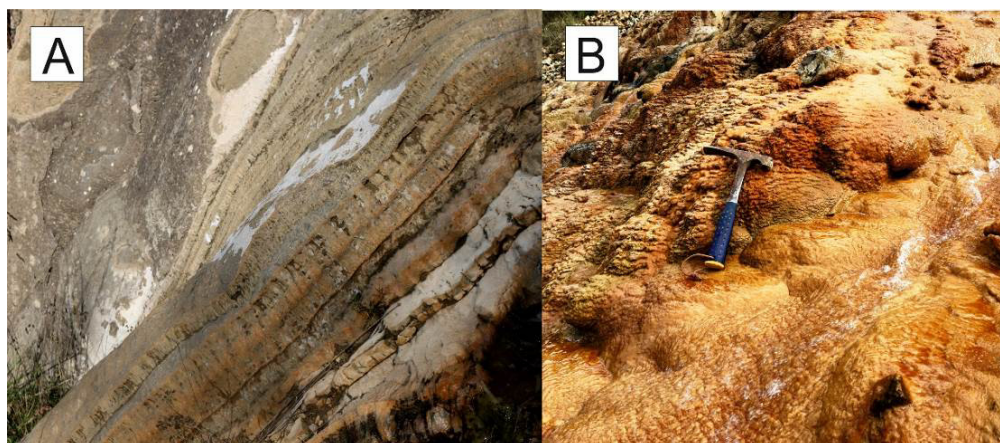
جهت تعیین میکروفاسیس‌های توفا و تراورتن مهم‌ترین خصوصیات بافتی شامل حضور میزان میکرایت، اسپاریت و آلوکم‌ها می‌باشد. اغلب برای کلسیت‌های ریزبلور با قطر کوچک‌تر از $5 \mu m$ واژه میکرایت، بلورهای با اندازه $35-5 \mu m$ میکرواسپار و بزرگ‌تر از $35 \mu m$ ماکرواسپار نام‌گذاری می‌شود (ارتال و همکاران، ۲۰۱۷). در مشاهدات میکروسکوپی اغلب میکرایت‌ها تیره‌رنگ می‌باشد و این به دلیل حضور مواد آلی است، در صورتی که بخشی که در طی فرآیندهای دیاژنزی سیمانی شدن تشکیل شده است اغلب دارای رنگ روشنی می‌باشد و اسپاریت نام‌گذاری می‌شود.

تقسیم می‌باشد که معمولاً هم‌زمان با تشکیل نهشته‌ها شکل گرفته‌اند. این نوع لیتوفاسیس هم در نمونه‌های در حال تشکیل و هم نمونه‌های که قبلاً نهشته شده‌اند در صحرا قابل مشاهده می‌باشد. لامیناسیون‌ها نتیجه تغییرات فصلی و روزانه رسوب‌گذاری در ارتباط با فعالیت‌های بیولوژیکی و اقلیمی می‌باشند. لامیناسیون‌های تشکیل‌شده نشان‌دهنده وقفه یا افت جریان سیال می‌باشد که شواهدی از تغییرات دوره‌ای در نرخ رسوب‌گذاری محسوب می‌شوند. در این نهشته‌ها برتری پدیده‌های فیزیکوشیمیایی بر بیوشیمیایی که شامل پارامترهای تبخیر، آشفستگی و درجه حرارت است برتری دارد (شکل‌های A8 و B8). معمولاً تراورتن‌های لامینه‌ای از تجمع لایه‌های تیره و لایه‌های روشن رنگ تشکیل شده است. لایه‌های تیره‌رنگ شامل تجمعی از مجموعه‌های ساب لامینه به ضخامت تقریباً ۱۰ میکرون می‌باشد. لایه‌های روشن رنگ در حدود تقریباً ۱۰۰ میکرون ضخامت داشته و عمدتاً به فرم سوزن‌های عمودی تشکیل شده است. این اختلاف رنگی ناشی از حضور یک قشر نازک بایوفیلم است که عمدتاً در طی روز گسترش می‌یابد، است (کوبان و شوایگرت، ۱۹۹۳؛ اکومرا و همکاران، ۲۰۱۱، ۲۰۱۳)

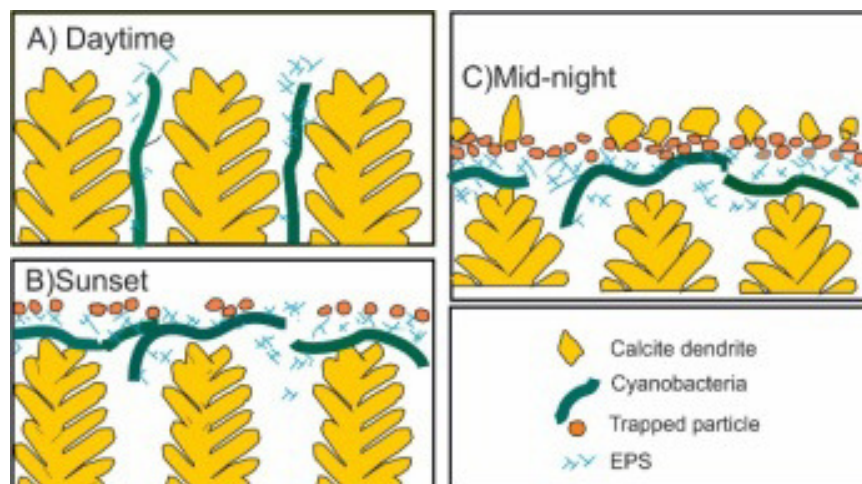
در نمونه تراورتن‌های لامینه‌ای، بلورهای کلسیت‌اسپاری معمولاً دارای زون‌بندی ظریفی هستند که حاصل تغییرات کمی در مقادیر آهن و منگنز است. این زوناسیون به این دلیل ایجاد شده که کربنات‌ها و هیدروکسید آهن به‌طور هم‌زمان از چشمه‌های معدنی ته‌نشست نمی‌شود؛ بنابراین یک زوناسیون مینرالوژیکی معین در چشمه‌های رسوب‌دهنده تراورتن تشکیل می‌شود. معمولاً ته‌نشست ترکیبات آهن‌دار از محلول، زودتر از کربنات‌ها شروع می‌شود بنابراین غلظت آهن در تراورتن‌ها کاهش پیدا می‌کند که این هم‌زمان با کاهش غلظت عناصر دیگر می‌باشد (شکل‌های A9 و B9).

۵-۲- توفای آهکی یا فریم‌ستون فیتوهرمی^۲: این لیتوتایپ از نهشته‌های توفای کربناته به‌صورت اسفنجی با تخلخل قالبی زیاد که در مسیر حرکت چشمه به سمت سراسیمی منطقه است و براساس نقش و فعالیت‌های باکتریایی، جلبکی و گیاهی شکل گرفته است (کلوز و همکاران، ۲۰۱۵). پدلی (۱۹۹۰) توفا را به‌عنوان

² Calcareous Tufa or Framestone phytoherm



شکل ۸. مورفولوژی نوع لایه‌ای در تراورتن‌ها و توفاهای چشمه شوراب. A: تراورتن‌های قدیمی با بافت لایه‌ای و B: تراورتن عهد حاضر در حال تشکیل با بافت لامینه‌ای



شکل ۹. رسوب لامینه‌ای لایه‌های تیره و روشن تراورتن، A: رسوب بلورهای کلسیتی درشت و شفاف که در طی روز تشکیل می‌شود، B: لامینه‌های جلبکی که در غروب خورشید روی بلورهای کلسیت شفاف قرار می‌گیرد و C: رسوب ذرات و محبوس شدن آنها توسط جلبک‌ها (کانو و همکاران، ۲۰۱۹).



شکل ۱۰. لیتوتایپ توفای آهکی مربوط به نهشته‌های قدیمی که از اجتماعات قالب‌های کلسیتی شده ساقه‌های گیاهی علفی (Grass phyto) شکل گرفته است.

رفت‌ها (*rafts*) که در واقع از ورقه‌های بسیار نازک و سبک کربنات کلسیم درست شده است، مشاهده می‌گردد (رنجبران و رحمانی، ۲۰۱۹). این رسوب‌گذاری در طی خروج گاز CO_2 در محل تماس آب با هوا شکل می‌گیرد. در این لیتوفاسیس ورقه‌های نازک کربنات کلسیم در اثر تابش نور خورشید و نیز جریان هوا تبخیر آب چشمه به صورت قشر نازکی در سطح آب شکل می‌گیرد. در اثر سنگین شدن و به هم خوردن تعادل این صفحات حتی به واسطه نسیم آرام شرایط شناوری ورقه‌های نازک روی آب به هم خورده و سبب غرق شدن و فرورفتن این صفحات به بستر این حوضچه‌های کوچک شده و در نهایت در زیر آب تجمعات این صفحات باعث شکل‌گیری این لیتوفاسیس می‌شود (شکل ۱۱). هم‌چنین با توجه به موقعیت مکانی که در گردنه قرار گرفته است منطقه پرفشار و کم فشاری که ایجاد می‌شود به امر تبخیر نیز کمک شایانی می‌کند. این صفحات هم امروزه در حال تشکیل است و هم در نمونه‌های قدیمی تشکیل شده است.

۶-۲- میکروفاسیس جلبکی: رسوبات کربناته‌ای است که به وسیله اجتماعات بنتیک رشته‌های جلبکی ساخته می‌شوند. این جلبک‌ها باعث به دام انداختن رسوبات کربناته شده، در مقاطع میکروسکوپی برش عرضی رشته‌های جلبکی به صورت دایره‌ای و در امتداد طول جلبک به صورت لوله‌ای شکل دیده می‌شود. معمولاً به همراه این رشته‌های جلبکی سیانوباکتری به‌عنوان جزء دیگری از این نهشته‌ها به شمار می‌رود (شکل ۱۲).

۶-۳- میکروفاسیس باندستون لامینه‌ای: در این میکروفاسیس، میکرایت‌ها به صورت لایه‌های متناوب همراه با دیگر بافت‌ها را تشکیل می‌دهند (پنتکاست، ۲۰۰۵). این ریزخساره در مقاطع میکروسکوپی میکرایت‌ها به صورت لایه‌ای در تناوب با اسپارایت‌ها قرار گرفته‌اند (شکل A13). میکرایت مشاهده شده در این ریزرخساره، همان رسوبات میکروبی ناشی از فعالیت جلبک‌ها و باکتری‌ها هستند. میکرایت‌ها در اطراف کلنی‌های باکتریایی و در اطراف جلبک‌ها، مخصوصاً سیانوباکتری‌ها رسوب می‌کنند (جانسن و همکاران، ۱۹۹۹). این میکروفاسیس عمدتاً در اطراف دهانه چشمه‌ها تشکیل می‌شود و بیش‌تر به صورت تناوب

از مهم‌ترین ویژگی‌های ظاهری تופا و تراورتن‌های منطقه، وجود تخلخل، سیمانی شدن و لامیناسیون در نمونه‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی است. لازم به ذکر است سیمان‌اسپاری پرکننده منافذ، شکستگی‌ها و تخلخل‌های موجود در تراورتن است. تخلخل‌ها به دو شکل اولیه هم‌زمان با رسوب‌گذاری و ثانویه بعد از دیاژنز شکل گرفته‌اند هم‌چنین سیمان‌های اسپارایتی که در حفره‌ها مشاهده می‌شود حاصل انحلال و رسوب‌گذاری مجدد می‌باشد. لازم به ذکر است که سیمانی شدن معمولاً فرایند ثانویه و تاخیری می‌باشد که معمولاً به فرم‌های هم‌بعد، تیغه‌ای و میکرایتی ظهور پیدا می‌کند (پنتکاست، ۲۰۰۵؛ آتابی، ۲۰۰۲؛ پنتکاست و راذیل، ۱۹۹۴). مطالعات میکروسکوپی و تصاویر *SEM* برای بررسی فابریک تراورتن در منطقه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به بررسی پتروگرافی تופا و تراورتن‌های مورد مطالعه، بافت‌های متنوعی در آن‌ها مشاهده گردید. زمینه (ماتریکس) میکروسکوپی بیش‌تر تراورتن‌ها، ریزدانه و تیره‌رنگ است. عمدتاً ترکیب آن‌ها تحت عنوان میکرایت شناخته می‌شود. در بررسی پتروگرافی تراورتن‌ها، لامیناسیون‌های تیره‌رنگ، میکرایتی و لامینه‌های روشن رنگ کلسیت‌اسپاری است که به صورت متناوب تشکیل شده‌اند. تغییرات مشاهده شده در این لایه‌ها اغلب به تغییرات روزانه، هفتگی و فصلی نسبت داده می‌شود و رسوب‌گذاری کلسیت مرتبط با غلظت‌های کربنات کلسیم محلول در طول ماه‌های گرم می‌باشد.

چهار نوع میکروفاسیس با توجه به لیتوتایپ و مورفولوژی‌های رایج در مقیاس روی زمین و نمونه‌های دستی در نهشته‌های تופا و تراورتن چشمه شوراب شناسایی شد که شامل: ۱- میکروفاسیس باندستون رفتی^۱، ۲- میکروفاسیس جلبکی، ۳- میکروفاسیس باندستون لامینه‌ای^۲ و ۴- میکروفاسیس باندستون بوته‌ای است.

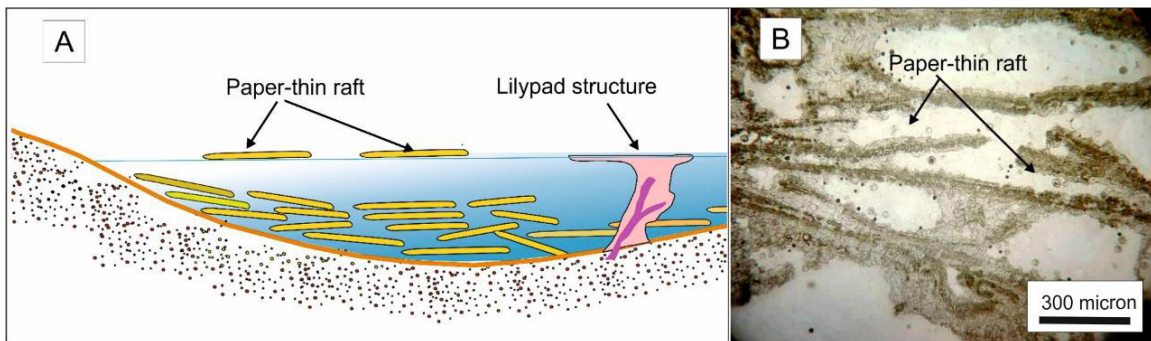
۶-۱- میکروفاسیس باندستون رفتی: برای نهشته شدن رسوبات کربناته همیشه لازم نیست حتماً بستر محکم و سختی وجود داشته باشد. فرآیند رسوب‌گذاری می‌تواند حتی در محیطی مثل ستون آب و یا سطح آب نیز صورت گیرد که در این حالت این نهشته‌ها به صورت

¹ *Microfacies raft boundstone*

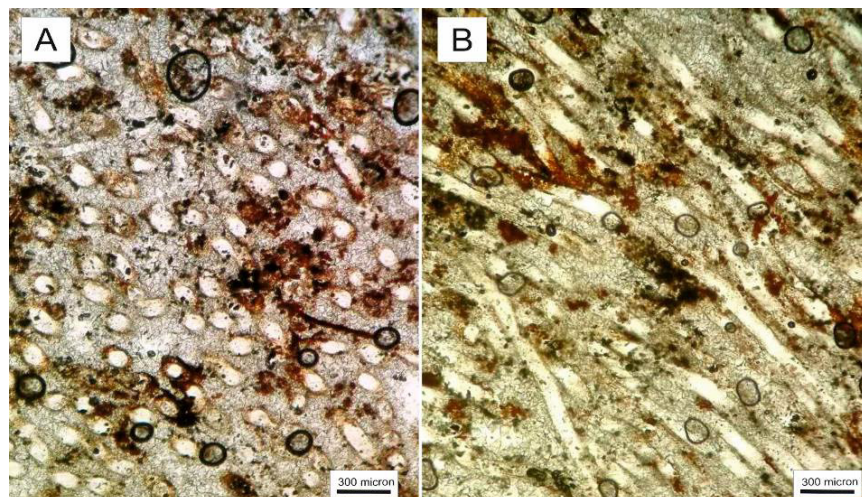
² *Microfacies Crystalline crusts*

لامینه‌های روشن کلسیت‌اسپارایتی و لامینه‌های تیره‌رنگ میکرایتی است. این میکروفاسیس عمدتاً ناشی از ته‌نشست سریع از جریان‌های با سرعت زیاد روی شیب‌های صاف، حاشیه‌ها و دیواره قائم تراس‌ها و دیواره حوضچه‌ها است. ضخامت این میکروفاسیس از چند سانتی‌متر تا چند ده سانتی‌متر بالغ می‌شود. بلورهای کلسیت و آراگونیت به فرم رشته‌ای و یا تیغه‌ای عمود بر لامینه‌های میکرایتی است به‌صورت بادبزی می‌باشد (رنجبران، ۲۰۱۱؛ رحمانی جوانمرد و همکاران، ۲۰۱۲b). در این مطالعه از روش رنگ‌آمیزی در آزمایشگاه جهت تشخیص و تفکیک کانی‌های کربناته استفاده شده است. از محلول میگن (*Meigen's solution*) برای تمایز بین آراگونیت و کلسیت استفاده شد. آراگونیت با محلول میگن بنفش رنگ می‌شود ولی کانی کلسیت بی‌رنگ باقی می‌ماند. لازم به ذکر است ساختار بلوری کلسیت به گونه‌ای است که فقط کاتیون‌های کوچک از قبیل

Ni و Zn ، Fe ، Mn ، Mg را در خود جای می‌دهد ولی بلور ارتورومبیک آراگونیت کاتیون‌های بزرگ‌تر مانند Ba ، Sr و Pb را در خود جای می‌دهد. اساس این رنگ‌آمیزی ساختار متفاوت این دو بلور است. کاتیون کبالت موجود در محلول میگن وارد ساختار آراگونیت می‌شود (گوباک و همکاران، ۲۰۰۹؛ رفیعی و همکاران، ۱۳۸۹). کانی آراگونیت بیش‌تر در نمونه‌های در حال تشکیل دیده می‌شود، در حالی‌که در نهشته‌های قدیمی و فسیل شده کانی غالب کلسیتی می‌باشد. این فابریک‌ها را می‌توان به توجه به منشأ آن‌ها در دو گروه اصلی شامل (۱) فابریک‌های غیرآلی و (۲) فابریک‌های میکروبی طبقه‌بندی کرد. لازم به ذکر است فابریک‌های حدواسط نه کاملاً میکروبی و به کاملاً غیرآلی نیز در این بین دیده می‌شود. نمونه‌های مورد مطالعه بیش‌تر از نوع میکروبی می‌باشند. زیرا رسوبات کربنات کلسیم و دانه‌های کربناته در لابلای رشته‌های جلبکی محصور می‌باشند.



شکل ۱۱. A: گراف شماتیکی از بافت رفت در نهشته‌های تراورتنی (کانو و همکاران، ۲۰۱۹) ریزرخساره رفت در نهشته‌های تراورتنی منطقه آب اسک (رنجبران و رحمانی، ۲۰۱۹) و B: برش میکروسکوپی از بافت رفت‌ها (*Rafts*) با تخلخل در نمونه‌های فسیل شده.



شکل ۱۲. مقاطع میکروسکوپی میکروفاسیس جلبکی، A: برش عرضی رشته‌های جلبکی به‌صورت دایره‌ای و B: در امتداد طول جلبک به‌صورت لوله‌ای شکل دیده می‌شود که مربوط به نمونه‌های در حال تشکیل می‌باشد.

۸- هیدروشیمی چشمه شوراب

چشمه شوراب محصول زهکشی آب‌های زیرزمینی از داخل تونل قطار از درز و شکستگی‌های سنگ‌های شیلی و دولومیتی سازند باروت می‌باشد که بر روی شیب دامنه به سمت رودخانه به فرم پله‌ای جاری می‌شود. چشمه در مسیر خود املاح محلول را به صورت نهشته‌هایی رنگی روی سازندهای زاگون و باروت به جای می‌گذارد. آب چشمه مذکور مصارف خاصی ندارد و بعد از طی سرایشی آب چشمه به داخل رودخانه زیرآب می‌ریزد که نهایتاً آب این چشمه به دریای خزر وارد می‌شود. آب چشمه تراورتن‌ساز شوراب منشا جوئی (در اثر نفوذ آب‌های جوئی و سطحی در زمین) داشته و در این ناحیه از فعالیت‌های آذرین که می‌تواند سبب شکل‌گیری چشمه‌های با منشأ هیدروترمالی باشد اثری دیده نمی‌شود. آب‌های جوئی در شبکه گسل‌ها و شکستگی‌ها نفوذ می‌کند و پس از مهاجرت و تعامل با سنگ‌های زیرزمینی به عنوان آب‌های معدنی در امتداد گسل‌ها پدید می‌آید. فرایندهای تبخیر، هوازدگی و انحلال سنگ‌ها و تعویض یونی از جمله عواملی هستند که باعث تغییرات فیزیکی و شیمیایی آب می‌شوند. شیمی آب ارتباط مستقیمی با دما دارد و میزان رسوب را نسبت به چشمه کنترل می‌کند و رشد باکتری‌ها، جلبک‌ها و ماکروفیت‌ها را افزایش می‌دهد. (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۹؛ گوا و ری‌دینگ، ۱۹۹۸). در جدول ۲ آنالیز هیدروژئوشیمیایی به همراه متغیرهای صحرایی اندازه‌گیری شده، ارائه شده است. با استفاده از نمودار پایپر می‌توان تیپ آب و تبادل یونی و نیز مسیر تکامل هیدروژئوشیمیایی منابع آب یک منطقه را مورد مطالعه قرار داد (پایپر، ۱۹۴۴). نتایج آنالیز هیدروشیمی ترکیب آب این چشمه در ردیف آب‌های کلرور سدیم سرد^۱ با واکنش نزدیک به خنثی است. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب این چشمه در جدول ۲ آورده شده است. رخساره غالب در چشمه شوراب سدیک است و براساس نمودار پایپر، نمونه آب این چشمه از نوع کلرور سدیک می‌باشد (شکل ۱۵).

۹- بحث

خروج آب از شکستگی‌ها و درزه‌های داخل تونل قطار و ادامه حرکت آب به سمت سرایشی باعث گاززدایی CO_2

۴-۶- میکروفاسیس باندستون بوته‌ای: واژه بوته توسط (چفتز و فولک، ۱۹۸۴؛ کیتانو، ۱۹۶۳) برای مطالعه تراورتن‌ها استفاده شده است. این میکروفاسیس به صورت توده‌ای بوده و شامل لایه‌های میکرایتی با ساختمان بوته‌ای شکل می‌باشد. هم‌چنین چافتز و گادری (۱۹۹۳) سه نوع از بوته‌ها را تشخیص دادند (باکتریایی، بلوری و بلورهای شعاعی). نمونه‌های موجود از نوع بلورهای شعاعی می‌باشد (دارابی و ارزانی، ۱۳۹۴). این بوته‌ها به‌طور نوعی به صورت لایه‌هایی از کلسیت مات و سفید تشکیل شده‌اند. بوته‌ها به‌طرف بالا، ساختارهای کمپلکس ایجاد کرده است. رشته‌های جلبکی بیش‌تر با تراورتن‌های متئوزن سرد مرتبط هستند. در این میکروفاسیس میکرایت‌ها یا رسوبات میکروبی ناشی از فعالیت جلبک‌ها به شکل بوته‌ای در بین اسپارایت‌ها رشد کرده‌اند (پنتکاست، ۲۰۰۵) (شکل B13).

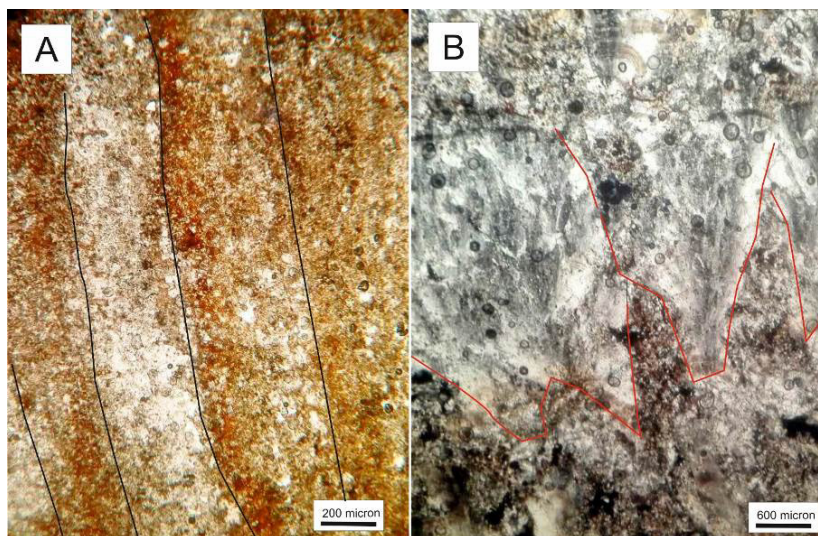
۷- کانی‌شناسی نهشته‌های چشمه شوراب بر

اساس مطالعات SEM

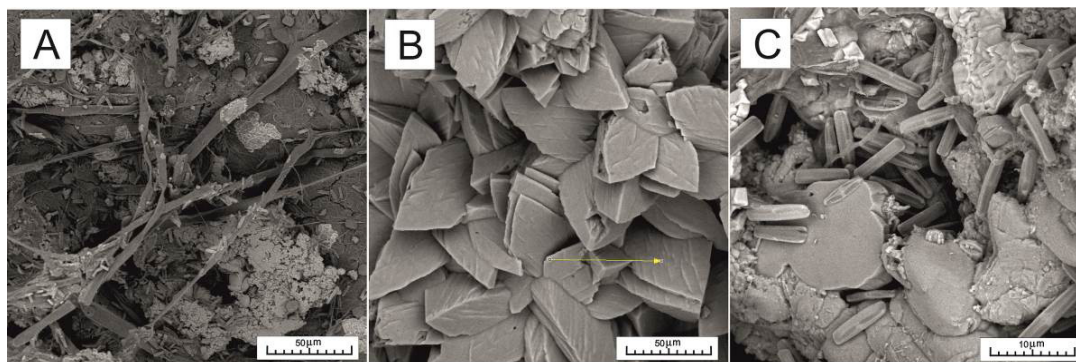
گیاهان اغلب نقش بسزایی در تشکیل توفا و تراورتن به‌ویژه در نهشته‌های سطحی‌زاد ایفا می‌کنند. حضور جلبک‌های ماکروسکوپی در نمونه‌های تراورتن منطقه در نمونه‌های دستی و میکروسکوپ به‌وضوح قابل مشاهده و تفکیک است. بررسی‌های انجام‌شده از طریق برش‌های نازک و آنالیز SEM نشان می‌دهد که در تشکیل این تراورتن‌ها میکروارگانسیم‌های فتوسنتزی مانند جلبک‌های سبز- آبی و دیاتومه‌ها نقش بسزایی داشته‌اند (رحمانی جوانمرد و همکاران، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱). بررسی‌های پتروگرافی و نتایج حاصل از آنالیز SEM-EDX نمونه‌ها نشان می‌دهد که این تراورتن‌ها بیش‌تر از کربنات کلسیم و درصد مقادیر ناچیزی از کوارتز و ناخالصی‌هایی از اکسید آهن، پیریت، تشکیل شده است. در نمونه‌ها سه بافت واضح قابل شناسایی هست. (۱) بافت رشته‌های جلبکی در خصوص جلبک‌های تثبیت‌کننده بلورهای میکروبی کلسیت و آراگونیت، (۲) بافت غیرآلی مربوط به بلورهای خود شکل کلسیت است که به صورت خوشه بلوری مشاهده می‌شود، (۳) بافت مربوط به اسکلت ریزفیل‌های سیلیسی نظیر جلبک‌های دیاتومه است که در نهشته‌های در حال تشکیل مشاهده می‌شود پراکنده شده است (شکل ۱۴).

رحمانی، ۲۰۱۹). این ویژگی تراورتن‌ها عموماً سیستم‌های هیدرولوژیکی متفاوتی در سطح جهانی را سبب می‌شود، ولی در مجموع منشأ این رسوبات، مرتبط با فعالیت‌های تکتونیکی و سیستم‌های گسلی کششی می‌باشد (هنکاک و همکاران، ۱۹۹۹؛ گرازینسکی و همکاران، ۲۰۱۰، ۲۰۱۳).

شده و طی زمان سبب تشکیل رسوبات متنوع و رنگارنگ کربنات کلسیم به فرم تופا و تراورتن شده است. تغییر در شرایط رسوب‌گذاری و ترکیب شیمیایی آب چشمه در طی زمان باعث ایجاد فرم‌ها و رنگ‌های متفاوت شده است که حاصل آن به وجود آمدن مورفولوژی‌های متنوع در دامنه کوه می‌باشد (فورد و پدلی، ۱۹۹۶؛ رنجبران و



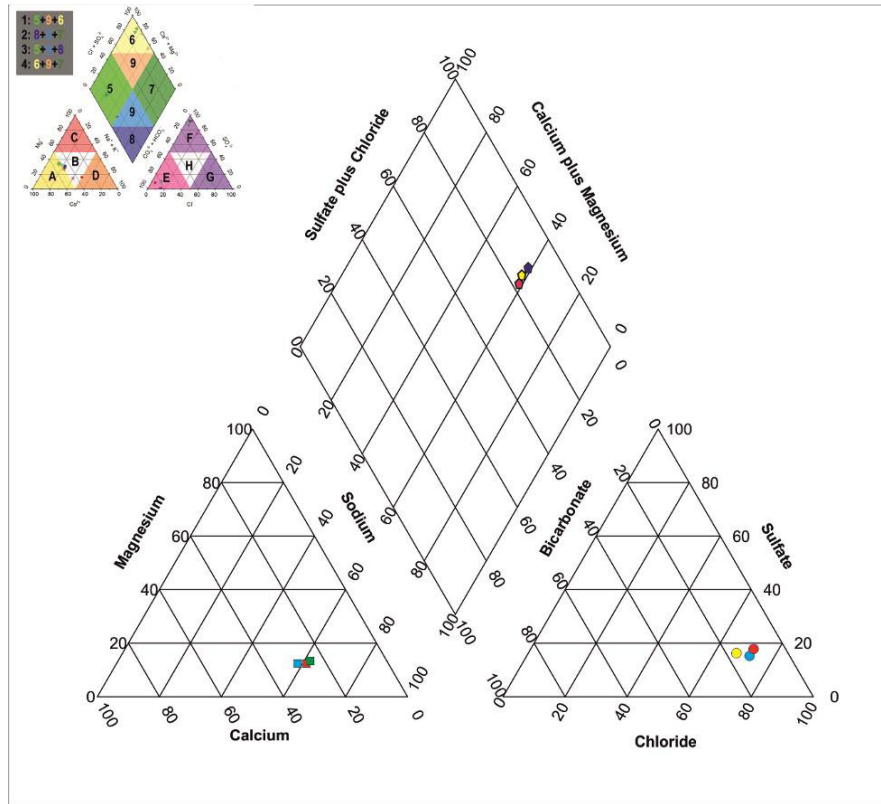
شکل ۱۳. تصاویر میکروسکوپی از میکروفاسیس‌های تراورتن و تופا در ناحیه شوراب، A: میکروفاسیس باندستون لامینه‌های تیره و روشن، نشان‌دهنده تناوب لامینه‌های تیره و روشن کربنات کلسیم و اکسیدها و هیدروکسید آهن می‌باشد و B: میکروفاسیس باندستون پوته‌ای یا دندریت اسپاریتی می‌شود که مربوط به نمونه‌های قدیمی و فسیل شده می‌باشد.



شکل ۱۴. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های تופا و تراورتن، A: رشته‌های جلبکی باعث به دام اداختن قطعات آهکی و نیز به دام افتادن بلورهای کربنات کلسیم می‌شود را نشان می‌دهد، B: تشکیل بلورهای رمبوندری کلسیت در فضای خالی تופاها و تراورتن‌ها و C: جلبک‌های دیاتومه که توسط رشته‌های جلبکی در بر گرفته شده است. هر سه شکل مربوط به نمونه‌های در حال تشکیل می‌باشد.

جدول ۲. ترکیب آب چشمه شوراب

Chemical and physical composition data of Shurab spring from Firuzkuh area										
Spring name	pH	EC	HCO ₃	Cl	SO ₄	K	Na	Mg	Ca	Temp.
#		μs/cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	(°C)
Shurab spring # 1	7.39	10130	734.6	2956.3	683.9	27.48	1847.5	172.4	699.8	13
Shurab spring # 1	7.34	9920	502.9	3005.1	626.2	26.11	1898.2	167.7	549.2	13
Shurab spring # 1	7.39	10150	481.5	3308.5	730.6	39.5	2066.4	185.8	580.9	13



شکل ۱۵. نمودار پایپر (۱۹۴۴) تیپ آب چشمه از نوع کلرورکلسیک می‌باشد (شاه‌بیگ، ۱۹۹۳).

نزدیک‌تر به سطح نهشته‌ای رسوبی کربناته تراورتن و تופا، باکتری‌های هتروتروف از اکسیژن محلول برای تجزیه مواد آلی استفاده می‌کنند. در بخش‌های عمیق‌تر رسوب که کمبود اکسیژن (و کمبود نیترات) حاکم است، میکروارگانیسم‌ها از سولفات استفاده می‌کند. در نتیجه فرآیند احیا سولفات ترکیبات سولفیدی به‌عنوان محصول جانبی متابولیک شناخته می‌شود. آب‌های زیرزمینی و متئوریک در حین عبور از واحدهای سنگی منطقه، مواد محلول (از جمله آهن) را با خود حمل کرده و در سطح به سبب تغییرات pH و Eh به همراه کربنات کلسیم (تراورتن) به‌صورت ناخالصی ته‌نشین می‌کنند (خدابخش و همکاران، ۱۳۹۲). سولفید ایجاد شده در این پدیده در بسیاری از محل‌های تشکیل تراورتن مشاهده می‌شود. جایی که آب حاوی غلظت کافی یون‌های سولفیدی است. ترکیبات سولفیدی به رنگ سیاه است و حد بالایی لایه سیاه عمق مصرف اکسیژن را نشان می‌دهد. سولفید فلزی ترکیبی ناپایدار است و به راحتی در حالت اکسیک تجزیه می‌شود. رنگ سطحی تراورتن‌ها اساساً بر میزان گسترش بیوفیلیم‌ها کنترل می‌شود، درحالی‌که در درون تراورتن‌ها

مطالعه تופا و تراورتن‌های منطقه شوراب بر اساس ریخت‌شناسی و نیز ژنز استوار بوده است. ابتدا با توجه به تغییرات ریخت‌شناسی، تغییرات رنگ نمونه‌برداری شد و سپس با توجه به تهیه مقاطع میکروسکوپی به توصیف آن‌ها پرداخته شد. در نهشته‌های همراه لایه‌های کربناتی لامینه‌های به رنگ سیاه مشاهده می‌شود که در اثر تجزیه مواد میکروبی مدفون تحت شرایط احیا سولفاتی ایجاد شده است؛ و دیگری رسوب ترکیبات آهنی است که در نزدیکی دهانه‌های برخی از محل‌های ایجاد تراورتن توسعه یافته است (خنشا و همکاران، ۱۳۹۵). لایه‌های سیاه حاصل از احیا سولفات بسیاری از تراورتن‌ها همراه با بیوفیلیم و پوشش میکروبی می‌باشند و این تراورتن‌ها ترکیبی از بلورهای کربناته و مواد آلی در نظر گرفته می‌شوند که در تعامل با مجموعه‌های میکروبی و با افزایش فعالیت‌های شیمیایی با عمق هست. مواد آلی با فتوسنتزهای میکروبی مکرر روی سطوحی که توسط کربنات‌ها دفن می‌شود، انرژی لازم برای فعالیت‌های زیستی باکتری‌های هتروتروف را که در فضای خالی تراورتن‌ها قرار دارد را تأمین می‌کند. در قسمت‌های

این رنگ‌ها توسط تشکیل‌دهنده سولفیدهای فلزی کنترل می‌شود. لذا ترکیبات سولفیدی دارای رنگ سیاه، و در نهایت این رنگ سیاه به صورت لایه سیاه تجلی می‌کند (شکل ۱۶) که نشان‌دهنده عمق مصرف اکسیژن می‌باشد. سولفیدهای فلزی ناپایدار بوده، لذا رنگ سیاه این‌گونه از نمونه‌ها در طی چند روز پس از نمونه‌برداری ناپدید می‌شود. در بخش عمقی‌تر رسوب کربنات کلسیم، به علت کمبود اکسیژن (و کمبود نیترات) میکروب‌ها از سولفات استفاده می‌کنند. محصول فرایند متابولیسمی در طی احیا ترکیبات سولفات در زیر رسوب تراورتنی، ترکیب سولفیدی می‌باشد. نهشته‌های آهن در نزدیکی دهانه‌های خروج آب موجود در آبخوان عمیق معمولاً فقیر از اکسیژن بوده و معمولاً حاوی یون‌های فلزی است. یون آهن (Fe^{+2}) رایج‌ترین یون فلزی احیایی در چشمه‌های آب گرم است. با این حال در شرایط اکسیدی، این یون به سرعت به یون آهن (Fe^{+3}) تبدیل می‌شود که تقریباً در آب نامحلول است. هنگامی که آب از دهانه چشمه خارج می‌شود، این یون فلزی به سرعت با اکسیژن جوی واکنش داده و در نتیجه آهن به رنگ قرمز، زرد و نارنجی را رسوب می‌دهد (شکل ۱۶C). رنگ قرمز این تراورتن‌ها در نزدیکی دهانه خروج چشمه به علت مخلوط شدن با کربنات کلسیم و فری هیدریت $Fe(OH)_3$ است (کانو و همکاران، ۲۰۱۹). تمام نهشته‌هایی که امروزه در حال تشکیل می‌باشد و آن‌هایی که قبلاً تشکیل شده‌اند (نهشته‌های فسیل شده) محصول شکستگی‌ها و درز و ترک‌های موجود در سنگ‌های منطقه شورای می‌باشد. و این چشمه در بازه زمانی حداکثر صد ساله شکل گرفته است. نهشته‌های در حال تشکیل بیش‌تر ترکیب کانی‌شناسی از نوع آراگونیتی و نهشته‌های قدیمی‌تر و فسیل شده از نوع کلسیتی می‌باشد و این امر بیش‌تر ناشی از تغییرات دباؤنزی می‌باشد.

۱۰- نتیجه‌گیری

چشمه شوراب در مرز استان‌های تهران و مازندران در مجاورت روستای شوراب در گردنه گدوک واقع شده است. منشأ و ژنز این چشمه گسل خوردگی و شکستگی‌های موجود در منطقه گردنه گدوک در واحدهای دوران پرکامبرین و پالئوزوئیک زیرین می‌باشد که با زهکشی آب‌های داخل سازندها به سطح زمین

راه‌یافته و از طریق مجرای داخل تونل از کنار ریل راه‌آهن به بیرون هدایت می‌شود. با توجه به فعال بودن ناحیه گردنه گدوک از نظر زمین‌ساختی وجود درز و ترک و شکستگی‌ها مکانیسم مهمی برای به وجود آمدن چشمه آبی بوده است. با توجه به حفر تونل در حدود صدسال گذشته جهت احداث خط راه‌آهن شمال ایران (تهران گرگان) به واسطه وجود و درز و ترک‌های متعددی که در سازندهای باروت، زاگون و لالون وجود داشته است. آب‌های موجود با یک کانال به بیرون از تونل هدایت شده است. در ادامه خروج پیوسته این آب زهکشی شده در طی مدت زمان مذکور به صورت چشمه در سطح زمین ظاهر شده است. در طی حرکت آب از دامنه کوه به سرازیری و نیز گاززدایی سریع CO_2 و فعالیت‌های بیولوژیکی نهشته‌های کربناته به صورت آبشاری زیبا و رنگارنگ از نوع تراورتن‌ها و توفها از آن رسوب کرده‌اند، و چشم‌اندازهای زیبا را سبب شده است. مورفولوژی عمده تراورتن‌ها و توفها در چشمه شوراب از نوع آبشاری، لایه‌ای و تپه‌ای است. در مجاورت این نهشته‌های امروزی آثار تراورتن‌ها و توفهای قدیمی که متحمل شکستگی‌ها و ریزش‌های متعددی شده است قابل رؤیت است. از ویژگی‌های این نهشته‌های کربناته‌ای که امروزه در حال تشکیل می‌باشد، فراوانی آثار دیاتومه‌ها در مطالعات SEM می‌باشد که اکثراً توسط رشته‌های جلبکی محاصره شده است. ترکیب کانی‌شناسی نهشته‌های چشمه شوراب از نوع کربنات کلسیم می‌باشد. ترکیب هیدروشمی چشمه شوراب نزدیک به خنثی و دمای آب آن در حدود ۲۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. چشمه‌های تراورتن‌ساز یکی از نشانه‌های بسیار خوب برای پی بردن به فعال بودن منطقه از نظر شکستگی‌ها و گسل‌ها می‌باشد. زیرا محل‌های مناسبی برای خروج آب می‌باشد. در منطقه شوراب، توفها و تراورتن‌ها در زیر محیط‌های مختلف رسوب‌گذاری (حوضچه‌ای، آبشار، شیب نزدیک به منشأ و دور از منشأ) و در قالب رخساره‌های متفاوت باندستون فیتوهرمی، فریم‌ستون فیتوهرمی، توفای و توفای فیتوکلسیتی رسوب کرده‌اند. توده تراورتنی و چشمه‌های تراورتن‌ساز بر روی سازند زاگون و لایه‌های قرمز بالایی قرار دارند و در ارتباط با گسل‌های منطقه هستند. نهشته شدن تراورتن در این منطقه‌ها را می‌توان به دلیل خروج گاز CO_2 ، فوق اشباع شدن و تاثیرات زیستی دانست. با

استفاده از تکنیک‌های شیمیایی در آزمایشگاه. بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین. رنجبران، م (۱۳۹۰) مورفولوژی و پتروگرافی چشمه‌های تراورتن‌ساز باداب سورت- شمال دامغان، ایران، نشریه یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۵، شماره ۹، ص ۴۷-۵۶.

روشنک، ر، زراسوندی، ع، پورکاسب، ه، مُر، ف (۱۳۹۶) بررسی تراورتن‌های ارومیه- دختر شمالی و مقایسه آن‌ها با تراورتن‌های سنندج- سیرجان شمالی با استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار ^{18}O و ^{13}C . سال بیست و هفتم، شماره ۱۰۶، ص ۱۴۳-۱۵۲.

گلیچ، ف، محبویی، ا، خانه‌باد، م، موسوی‌حرمی، ر (۱۳۹۶) رسوب‌شناسی و ژئوشیمی تופا و ارتباط آن‌ها با هیدروژن‌شیمی چشمه‌ها به همراه مثالی از توفای آبگرم کلات- شرق حوضه کپه‌داغ، نشریه پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال سی و سوم، شماره پیاپی ۶۹، شماره چهارم، ص ۱-۲۰.

Altunel, E (2005) Travertines: neotectonic indicators. In: Ozkul M, Yagiz S, Jones B (eds) *Travertine, Proceedings of 1st international symposium on travertine, Denizli-TurkeyKozan Ofset, Ankara*. 120-127.

Altunel, E., Hancock, P. L (1993a) *Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Turkey. Geological Journal*, 28: 335 - 346.

Atabey, E (2002) *The formation of fissure ridge type laminated travertine-tufa deposits: microscopical characteristics and diagenesis, Kirsehir Central Anatolia. Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 123-124: 59-65.

Broggi, A., Capezzuoli, E (2009) *Travertine deposition and faulting: the fault-related travertine fissure-ridge at Terme S. Giovanni, Rapolano Terme (Italy). Int J Earth Sci Geol Rundsch*, 98: 931-947.

Chafetz, H. S. Guidry, S. A (1999) *Bacterial shrubs Crystal shrubs and ray-crystal crust bacterially induced vs. abiotic mineral precipitation. Sedimentary Geology*, 126: 57-74.

Chafetz, H. S., and Folk, R. L (1984) *Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. Journal of Sedimentary Petrology*, 54: 289-316.

Claes, H., Soete, J., Van Noten, K., El Desouky, H., Erthal, M. M., Vanhaecke, F., Özkul, M., Swennen, R (2015) *Sedimentology, three-dimensional geobody reconstruction and carbon dioxide origin of Pleistocene travertine deposits in the Ballik area (south-west Turkey). Sedimentology*, 62: 1408-1445.

توجه به موقعیت مکانی چشمه شوراب، تنوع مورفولوژی نهشته‌های کربناته، پوشش گیاهی و تاسیسات فنی در خصوص پل‌ها و تونل‌ها این محل می‌تواند به عنوان یک ژئوسایت به دستداران زمین‌گردشگری معرفی شود.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت لجستیکی دانشگاه تهران صورت گرفته است.

منابع

خدابخش، س، رحمانی، س، محسنی، ح، کاظمی، ش، قائمی، ع (۱۳۹۲) پتروگرافی و ژئوشیمی تراورتن‌های کواترنری در برش‌هایی از شمال و غرب ایران. نشریه رخساره‌های رسوبی، ۱۶(۱)، ص ۳۱-۴۸.

خنشاه، ج، آموزگار، م، ع، رنجبران، م (۱۳۹۵) بررسی معدنی شدن زیستی در نهشته‌های تراورتنی چشمه بادآب سورت، کیاسر، مازنداران. فصلنامه علمی- پژوهشی زیست‌شناسی میکروارگانیسم‌ها، ۱۷(۵)، ص ۱۴۱-۱۵۸.

دارابی، ف، ارزانی، ن (۱۳۹۴) ویژگی‌های رسوبات تراورتن از نظر رخساره‌ها و ریزرخساره‌ها در چشمه آبگرم فعال امروزی و پلیستوسن - هولوسن در منطقه ورتون، شمال اصفهان، مجموعه مقالات نوزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و نهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور، ۷۵۵-۷۶۲.

رحمانی جوانمرد، س، طوطی، ف، امیدیان، ص، و رنجبران، م (۱۳۹۰) منشأ تراورتن‌های تیپ پشته- شکافی آب‌اسک واقع شده در جنوب شرق آتشفشان دماوند بر اساس آنالیزهای ایزوتوپی SEM ، XRD ، $\delta^{13}C$ و مطالعات میکروسکوپی، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تهران، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت‌معلم.

رحمانی جوانمرد، س، طوطی، ف، امیدیان، ص، و رنجبران، م (۱۳۹۱) کانی‌شناسی و ژنز تراورتن‌های تیپ پشته‌ای- شکافی و رگه‌ای آب‌اسک بر اساس آنالیزهای ایزوتوپی کربن و اکسیژن، نشریه زمین‌شناسی ایران، دوره ۶، شماره ۲۲، ص ۶۱-۵۱.

رفیعی، ب، محسنی، ح، رحمانی، س، غضنفری، س (۱۳۹۹) ریخت‌شناسی، ژئوشیمی و پیدایش تراورتن‌های وابسته به گسل در تاقدیس آران، آوج، جنوب استان قزوین، نشریه رسوب‌شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۱۵، ص ۹۴-۱۱۶.

کیانپور، س، محمودی‌قزائی، م، ح، امجدی، ص (۱۳۸۹) تفکیک پلی‌مورف‌های کربناتی آراگونیت و کلسیت با

- Kitano, Y (1963) *Geochemistry of calcareous deposits found in hot springs*. *Journal of Earth Science*. Nagoya University, 11: 68-100
- Koban, C. G., Schweigert, G (1993) *Microbial origin of Travertine fabrics. Two examples from southern Germany (Pleistocene Stuttgart Travertines and Miocene Riedosching Travertine)*. *Facies*, 29: 251-264.
- Lohmann, K. C (1988) *Application of carbon and oxygen isotopic techniques for unraveling the diagenetic history of carbonate sequences*. In Allan, J. R. and Harris, P. M., eds., *Stable Isotope, Trace Element, and Fluid Inclusion Workshop*, Chevron Oil Field Research Co., unpublished report, 1-49.
- Muir -Wood, R (1993) *Neohydrotectonics*. *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary*, 94: 275-284.
- Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F., Akmaluddin, K. A (2012) *Textural transition in an aragonite travertine formed under various flow conditions at Pancuran Pitu, Central Java, Indonesia*. *Sedimentary Geology*, 265–266: 195–209.
- Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F., Nishida, S., Kano, A (2013) *Processes forming daily lamination in a microbe-rich travertine under low flow condition at the Nagano-yu hot spring, southwestern Japan*. *Geomicrobiology Journal*, 30: 910–927.
- Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F., Nishida, S., Yukimura, K., Naganuma, T., Koike, H., Arp, G., Kano, A (2011) *Microbial processes forming daily lamination in an aragonite travertine, Nagano-yu hot spring, southwest Japan*. *Geomicrobiology Journal*, 28: 135–148.
- Pedley, H. M., Andrews, J., Ordonez, S., Gonzales-Martin, J. A., Garcia Del Cura, M. A., Taylor, D (1996) *Does climate control the morphological fabric of freshwater carbonates? A comparative study of Holocene barrage tufas from Spain and Britain*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121: 239-257.
- Pedley, H. M (1990) *Classification and environmental models of cool freshwater tufas*. *Sedimentary Geology*, 68: 143–154.
- Pedley, M (2009) *Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments*. *Sedimentology*, 56(1): 221-246.
- Pentecost, A (1993) *British travertines: a review*. *Proceedings of the Geologists' Association*, 104: 23–39.
- Pentecost, A (1995) *The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor*. *Quaternary Sciences Review*, 14: 1005-1028.
- 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.
- Erthal, M. M., Capezzuoli, E., Macini, A., Claes, H., Soete, J., Swennen, R (2017) *Shrub morpho-types as indicator for the water flow energy - Tivoli travertine case (Central Italy)*. *Sedimentary Geology*, 347: 79-99.
- Ford, T. D., Pedley, H. M (1996) *A review of tuff and travertine deposits of the world*. *Earth Science Review*, 41: 117–175.
- Freytet, P., Verrecchia, E. P (1999) *Calcitic radial palisadic fabric in freshwater stromatolites: diagenetic and recrystallized feature or physicochemical sinter crust? Sedimentary Geology*, 126: 97–102
- Gandin, A. and Capezzuoli, E (2008) *Travertine versus calcareous tufa: distinctive petrological features and stable isotopes signatures*. *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 21(1B): 125–136.
- Gobac, Ž. Ž., Posilović, H., Bermanec, V (2009) *Identification of biogenetic calcite and aragonite using SEM*. *Geologica Croatica*, 62(3): 201–206.
- Gradzinski, M (2010) *Factors controlling growth of modern tufa: results of a field experiment*. In: *Tufas and Speleothems: Unravelling the Microbial and Physical Controls* (Eds H.M. Pedley and M. Rogerson), Geological Society London Special Publications, 336: 143–191.
- Gradziński, M., Wróblewski, W., Duliński, M., Hercman, H (2013) *Earthquake affected development of a travertine ridge*. *Sedimentology*, 61: 238–263.
- Guo, L., Riding, R (1998) *Hot-spring travertine facies and sequences, late Pleistocene, Rapolano Terme, Italy*. *Sedimentology*, 45: 163–180.
- Hancock, P. L., Chalmers, R. M. L., Altunel, E., Cakir, Z (1999) *Travertines: using travertines in active fault studies*. *Journal of Structural Geology*, 21: 903–916.
- Janssen, A. Swennen, R. Podoor, N., Keppens, E (1999) *Biological and diagenetic influence in recent and fossil tufa deposits from Belgium*. *Sedimentary Geology*, 126: 75-95.
- Jones, B., Renaut, R. W (2010) *Calcareous Spring Deposits in Continental Settings*. In: Alonso-Zarza, A. M., Tarnner, L. H. (Eds), *Carbonates in Continental settings. Facies, Environments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, 177-224.
- Kano, A., Okumura, T., Takashima, C., Shiraishi, F (2019) *Geomicrobiological Properties and Processes of Travertine*. *Springer Geology*, 176.

- palaeoclimatic interpretations of Middle to Late Pleistocene travertines: Kocabas, Denizli, south-west Turkey. Sedimentology*, 62: 1360–1383.
- Uysal, T., Feng, Y., Zhao, J., Isik, V., Nuriel, P., Golding, S. D (2009) Hydrothermal CO₂ degassing in seismically active zones during the late Quaternary: *Chemical Geology*, 265: 442-454.
- Pentecost, A (1995a) The Quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quaternary Science Reviews*, 14: 1005–1028.
- Pentecost, A (1995b) The microbial ecology of some Italian hot-spring travertines. *Microbios*, 81: 45–58.
- Pentecost, A (2005) *Travertine*. Springer-Verlage, Berline Heidelberg, Netherland, 445.
- Pentecost, A. and Viles, H. A (1994) A review and reassessment of travertine classification. *Geographie Physique et Quaternaire*, 48: 305-314.
- Pentecost, A., Viles, H (1994) A review and reassessment of travertine classification. *Geographie physique et Quaternarie*, 48: 305–314.
- Piper, A. M (1944) A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Trans. American Geophysical Union*, 25 (6): 914-928.
- Rahmani Javanmard, S., Toti, F., Omidian, S., Ranjbaran, M (2012a) Mineralogy and genesis of fissures hill and vein from Ab-e Ask based on petrographic studies and carbon- oxygen isotope. *Iranian Journal of Geology*, 22: 51-61. (in Persian with English abstract).
- Rahmani Javanmard, S., Tutti, F., Omidian, S., and Ranjbaran, M (2012b) Mineralogy and stable isotope geochemistry of the Ab Ask travertines in Damavand geothermal field, Northeast Tehran, Iran. *Central European Geology*, 55: 187-212.
- Ranjbaran, M (2011) Geomorphology and petrography of Badab-e Surt travertine springs north of Damghan, Iran. *Journal of New Findings in Applied Geology*, 9: 47-56.
- Ranjbaran, M. Somayeh Rahmani Javanmard, S (2019) Petrography and Geochemistry of Quaternary travertines in the Ab-Ask region, Mazandaran Province- Iran. *Geopersia*, 9(2): 351.
- Rollinson, H. R (1993) *Using Geochemical Data*, Longman Scientific and Technical, 420.
- Roshanak, R., Mar, F., Keshavarzi, B., Omidian, S (2018) Petrography and Classification of Qorveh-Takab Travertines Based on Isotopic Analysis and SEM Images. *Journal of Earth Knowledge Research*, 111(1): 64-74.
- Salamati, M. R (2018) Geological map of Firouzkuh, scale 1:250000, Geological Survey of Iran.
- Shahbeig, A (1993) Mineral and thermal waters of Iran. *Geological Survey of Iran*. p. 397.
- Sotohian, F., Ranjbaran, M (2015) Depositional system and facies analysis of travertine deposits: Badab-e Surt Spring Mazandaran, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(7): 4939-4947.
- Toker, E., Sezgül Kayseri-Özer, M., Özkul, M., Kele, S (2015) Depositional system and