

پetroگرافی و ژئوشیمی تراورتهای کواترنری در برشهایی از شمال و غرب ایران

سعید خدابخش^{۱*}، سعیده رحمانی^۲، حسن محسنی^۱، شهاب کاظمی^۲، عزت قائمی^۳

۱- دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

۲- کارشناس ارشد رسوب شناسی و سنگ شناسی رسوبی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

۳- استادیار گروه مواد، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

*پست الکترونیک: skhodabakhsh@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۹/۱۷

چکیده

با وجود این که بیشتر نهشته‌های کواترنری شامل رسوبات آبرفتی است، قسمت مهمی از این نهشته‌ها به ویژه در مناطق فعال تکتونیکی از توفای تراورتن تشکیل شده است. در این پژوهش، تراورتهای هفت برش واقع در سه استان هم جوار قزوین، همدان، کردستان و دو پهنه ایران مرکزی و سندج - سیرجان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. مطالعات پتروگرافی وجود لامیناسیون و تخلخل (۵-۱۰ درصد) در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی را نشان می‌دهند. سنگهای مطالعه شده اغلب بایواسپارایت هستند و بقایای جلبکها و گیاهان در برخی برشها وجود دارد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمایانگر بلورهای کلسیت رشد یافته به فرم هم‌بعد و موزاییکی در فضای تخلخل است. آنالیزهای XRD نشان می‌دهند در تمام برشها کربنات کلسیم از نوع کلسیت کم منیزیم است. در برخی از برشها نیز علاوه بر کلسیت کم منیزیم مقداری کانیهای رسی و کوارتز حضور دارند. آنالیز ژئوشیمیایی به روش XRF نمایانگر میانگین ۵۲/۹۸ و ۱/۹۸ اکسیدهای کلسیم و سیلیسیم (به ترتیب) در نمونه‌هاست. سیلیسیم به صورت رگه‌های سیلیسی و خرده‌های ماسه سنگ وجود دارد. اکسیدهای منیزیم، آلومینیوم (با منشأ کانی رسی) و آهن (عمدتاً به صورت سیمان) نیز به ترتیب با ۰/۶۲، ۰/۴۷ و ۰/۴۱ درصد وجود دارند. بر اساس نوع سیمان، محیطهای دیاژنتیک متوریک و وادوز شناخته شده است.

واژه‌های کلیدی: پتروگرافی، ژئوشیمی، تراورتن، زون ایران مرکزی، زون سندج - سیرجان.

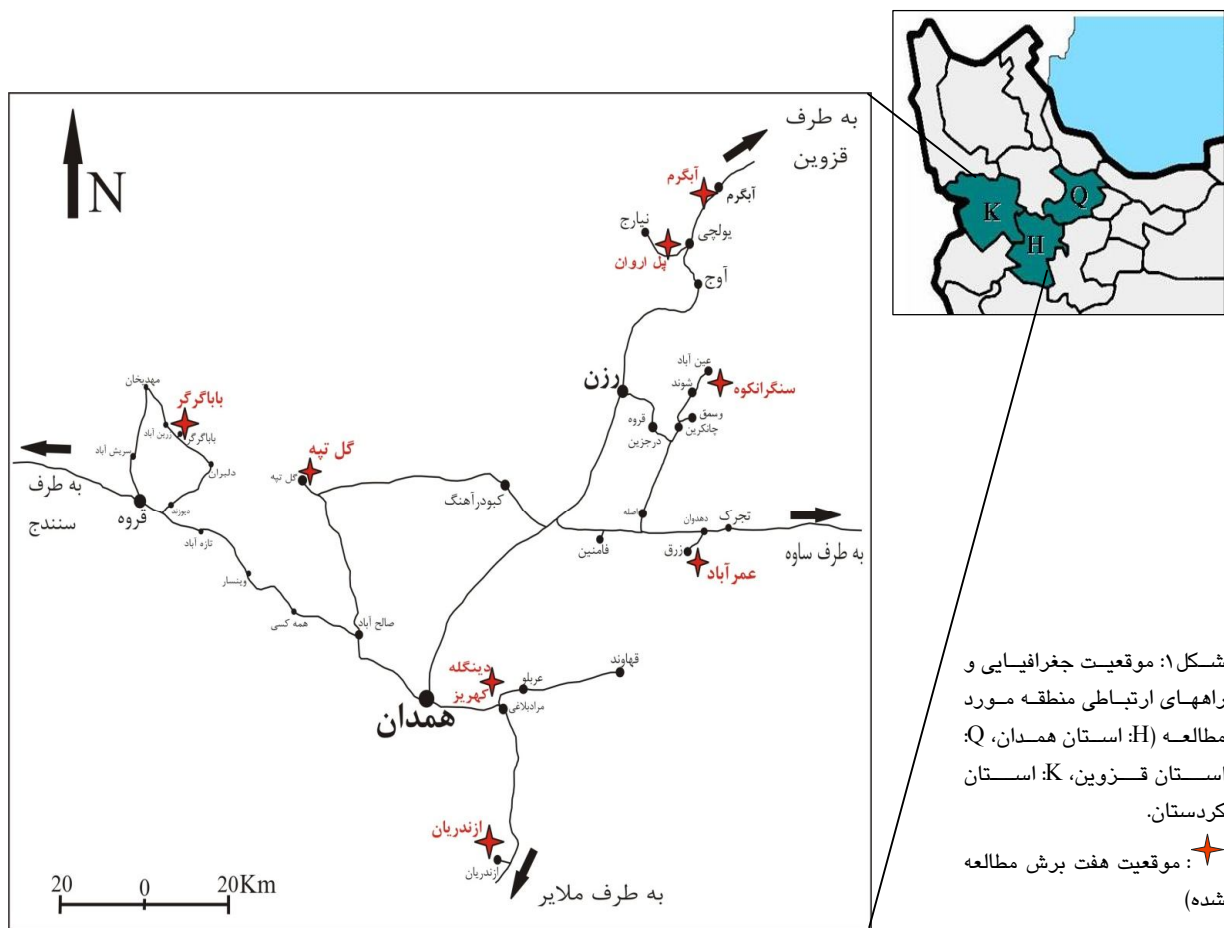
مقدمه

ته‌نشست کربنات کلسیم در اطراف چشمه‌ها، رودخانه‌ها، غارهای آهکی و یا در سطح خاک با نامهای مختلفی از جمله تراورتن، توفای (Jerz, 1983)، توفای گیاهی (Warren, 1982) معرفی می‌شوند. صرف نظر از ابهامهای احتمالی در استفاده از نامهای مختلف، تراورتن سنگ آهکی سیمانی شده و متراکمی است که از ته نشینی سریع کربنات کلسیم از آبهای زیرزمینی و سطحی (سرد یا گرم) و در اطراف چشمه‌ها، رودخانه‌ها، غارها و در امتداد شکستگیها و گسلها دیده می‌شود (Mitchell, 1985). این سنگ دارای رنگهای سفید، قهوه‌ای، کرم و گاهی زرد است که تخلخل نسبتاً بالا

شده و متراکمی است که از ته نشینی سریع کربنات کلسیم از آبهای زیرزمینی و سطحی (سرد یا گرم) و در اطراف چشمه‌ها، رودخانه‌ها، غارها و در امتداد شکستگیها و گسلها دیده می‌شود (Mitchell, 1985). این سنگ دارای رنگهای سفید، قهوه‌ای، کرم و گاهی زرد است که تخلخل نسبتاً بالا

پتروگرافی، فیزیکی و شیمیایی متصور است. با توجه به استفاده گسترده از تراورتن در صنایع مختلف، پژوهش بر روی این گونه سنگها به فعالیتهای اقتصادی جدید در کشور منجر خواهد شد. از این رو، در این مطالعه پتروگرافی، ژئوشیمی و محیط تشکیل هفت برش (شکل ۱) از تراورتنهای سه استان مجاور (همدان، قزوین و کردستان) به طور دقیق بررسی شده است؛ برخی از برشها برای اولین بار معرفی شده‌اند.

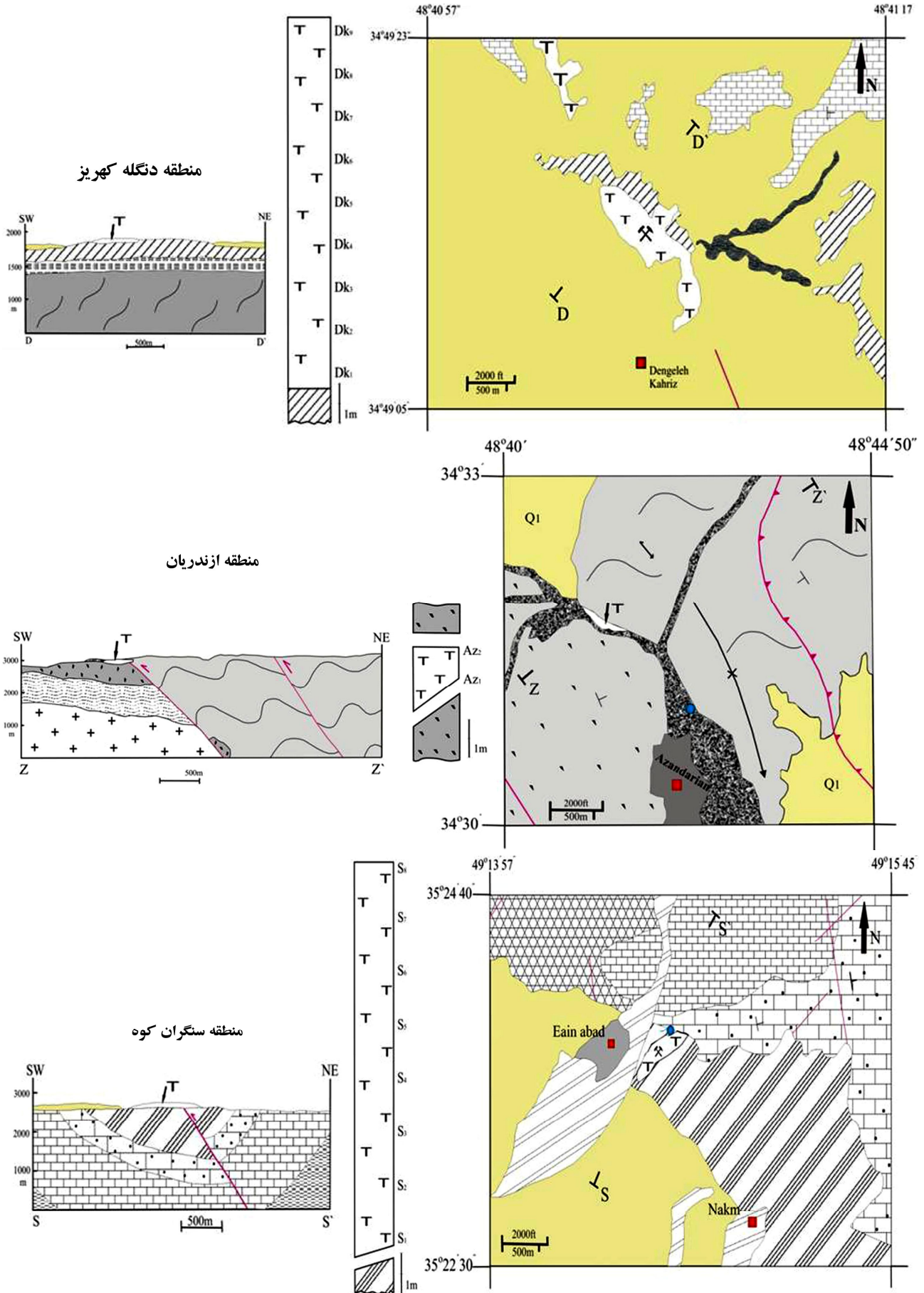
(Bates & Jackson, 1987) و کاربری صنعتی زیادی دارد. کربنات کلسیم در این سنگ شامل دو پلی مورف کلسیت و آراگونیت است. واکنش اصلی با خروج CO₂ از کربنات کلسیم محلول آغاز می‌گردد (Fouke *et al.*, 2000). باکتریها و جلبکها با فعالیت فتوسنتزی خود رسوب گذاری کربنات کلسیم را شدت می‌بخشند (Pentecost & Viles, 1994). با توجه به ویژگیهای متفاوت تراورتنهای تشکیل شده در محیطهای مختلف و نیز اهمیت شرایط دیاژنتیکی آنها، طیف وسیعی از انواع تراورتن از نظر شاخصهای

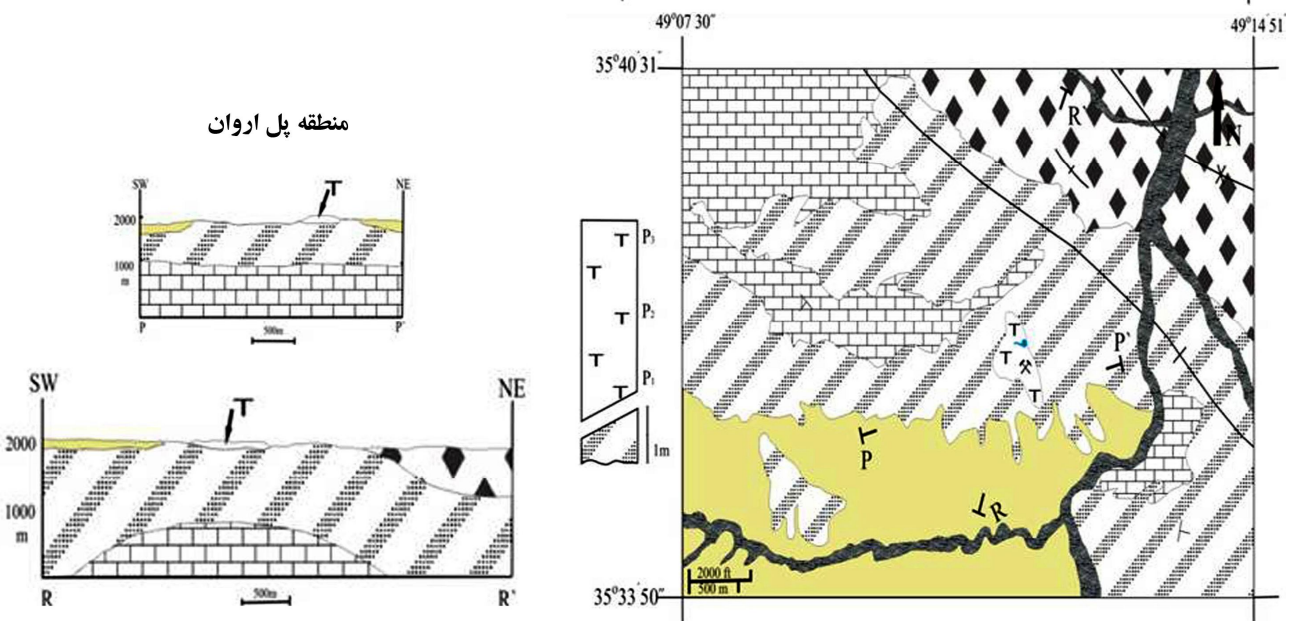
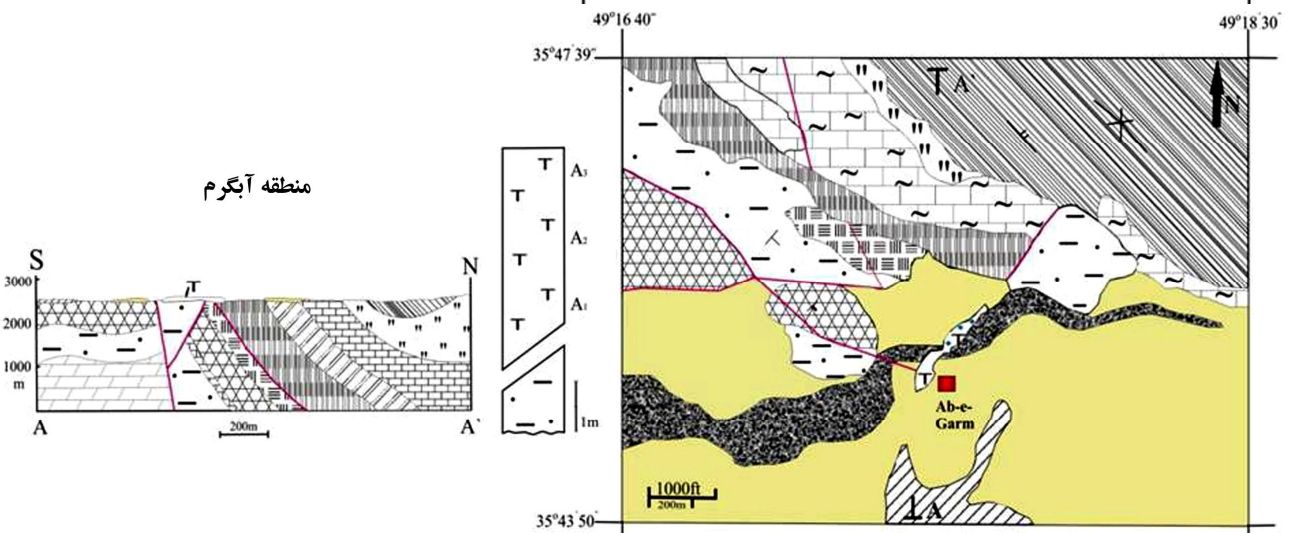
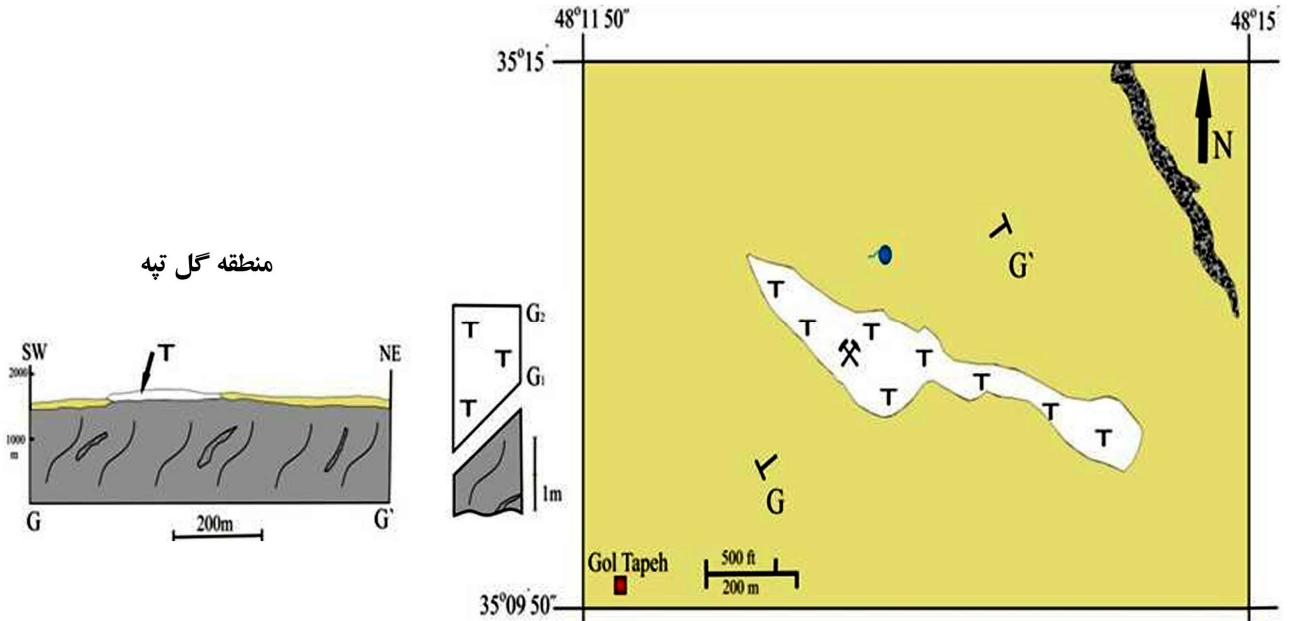


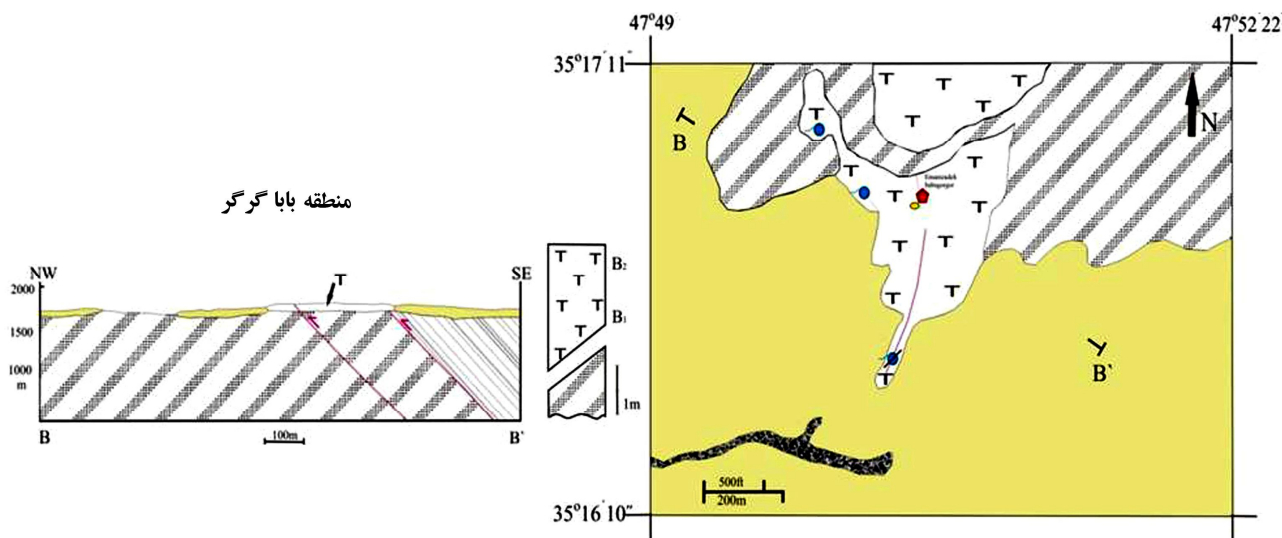
روش مطالعه

برش سنگران کوه، ۲ نمونه از برش گل تپه، ۳ نمونه از برش آبگرم، ۳ نمونه از برش پل اروان، ۲ نمونه از برش بابا گرگر برای مطالعه پتروگرافی برداشت شد (شکل ۲).

نقشه زمین شناسی محدوده‌های مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (Spot 2011) با مقیاس ۱/۵۰۰ و ۱/۲۰۰ تهیه شدند. براساس ضخامت رخنمون؛ ۹ نمونه جهت دار از برش دنگله کهریز، ۲ نمونه از برش ازندریان، ۸ نمونه از







LEGEND

QUATERNARY	Qal: Alluvium, Terraces
	Qr: Travertine
	Ql: Old Alluvial Fan and Terraces
OLIGO-MIOCENE	M2: Conglomerate (BIAB CONGLOMERATE)
	M1: Sandstone, marl (AVAJ RED BEDS (URF))
	Omql: Limestone (QOM FORM.)
	Omql: Limestone (QOM FORM.)
	O: Conglomerate, sandstone, marl (LOWER RED FORM.)
	Omlm: Marl, thick bedded limestone
EOCENE	E1: Green Tuff
	E2-4: Limestone, marl, andesitic tuff, sandstone
CRETACEOUS	K2: Limestone
	Kiv: Andesite, basalt
	Klc: Conglomerate, sandstone
	K1 ² : Dark grey biomicritic orbitolina limestone
	K1 ¹ : Dark strongly foliated biomicritic limestone
JURASSIC	Jt: Dolomite, limestone, gypsum (LAR FORM.)
	Jd: Limestone (DALICHAH FORM.)
	Js: Sandstone, shale (SHEMSHAK FORM.)
	Jsh: Silver-grey biomicritic to spary calc-schist
U. TRIASSIC - JURASSIC	Jm: Slightly metamorphic rocks
	J: Crvstallized limestone
TRIASSIC	Trd: Dolomite
	Pg: Pegmatitic granite

SYMBOLS

Major fault	Spring
Minor fault	Dry spring
Syncline	Mine in operation
Anticline	Exit location of sulfuric gases
Thrust	Emamzade
10°, 29° (Dip)	Town
30°, 59° (Dip)	Cross section

METAMORPHIC ROCKS

Passibly PALEOZOIC	Schg: Garnet schist
??	Schs: Stauroilite, andaluzite, garnet schist
??	Schal: Complex association of allllmanite schist

شکل ۲: نقشه زمین شناسی، ستون چینه شناسی، همراه با محل نمونه برداری و نیمرخ مناطق مورد مطالعه

چهار برش (آبگرم، پل اروان، گل تپه و باباگرگر) دارای چشمه فصلی یا دائمی فعال است (شکل ۳)؛ در بقیه برشها چشمه خشک شده و یا با فاصله زیادی از رخنمون قرار دارد. برای تعیین پلی مورف کربنات کلسیم تعداد ۱۵ نمونه با دستگاه XRD مدل Italstructure (تحت شرایط Cu ka، 30 mA، 40 KW) مورد آنالیز قرار گرفتند. برای تعیین ترکیب شیمیایی تعداد ۱۳ نمونه با دستگاه XRF (PHILIP،) PW، 1480 به روش XRF تجزیه شدند (جدول ۱) و به همراه نتایج آنالیز آب چشمه های فعال منطقه (جدول ۲) مورد بررسی قرار گرفتند.

چهار برش (آبگرم، پل اروان، گل تپه و باباگرگر) دارای چشمه فصلی یا دائمی فعال است (شکل ۳)؛ در بقیه برشها چشمه خشک شده و یا با فاصله زیادی از رخنمون قرار دارد. برای تعیین پلی مورف کربنات کلسیم تعداد ۱۵ نمونه با دستگاه XRD مدل Italstructure (تحت شرایط Cu ka، 30 mA، 40 KW) مورد آنالیز قرار گرفتند. برای تعیین ترکیب شیمیایی تعداد ۱۳ نمونه با دستگاه XRF (PHILIP،) PW، 1480 به روش XRF تجزیه شدند (جدول ۱) و به همراه نتایج آنالیز آب چشمه های فعال منطقه (جدول ۲) مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل ۳: اشکال ریخت شناسی تراورتنهای منطقه: الف) آبشاری (آبگرم)،
ب) شکاف - پشته (باباگرگر)، پ) سدی (پل اروان); براساس طبقه بندی
Pentecost & Viles, 1994

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی تراورتنهای برشهای مورد بررسی (به روش XRF)

Sample		CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃	MnO	Sr	Al ₂ O ₃	L.O.I
		%	%	%	%	%	%	ppm	%	%
Dengeleh Kahriz	DE3	52.12	0.07	0.21	0.49	0.39	0.001	212	0.98	41.54
	DE5	53.75	0.03	0.05	0.43	0.10	0.001	177	0.29	42.84
	DE7	50.89	0.09	0.43	0.54	0.93	0.003	94	2.18	40.00
	Mean	52.25	0.0633	0.23	0.4866	0.473	0.0017	483	1.73	41.46
Sangeran Kuh	SA3	52.92	0.03	0.01	0.22	3.22	0.044	70	0.05	42.67
	SA7	54.79	0.07	0.03	0.25	0.37	0.164	85	0.03	43.40
	SA10	54.80	0.03	0.04	0.23	0.11	0.025	104	0.05	43.59
	Mean	53.96	0.043	0.027	0.233	1.23	0.078	86.333	0.043	43.22
Azandaryan	AZ1	50.03	0.14	0.26	0.99	0.55	0.001	1102	0.98	42.11
	AZ2	50.05	0.13	0.25	0.94	0.56	0.001	1080	0.94	39.09
	Mean	50.04	0.135	0.255	0.965	0.555	0.001	1091	0.96	40.6
Ab-e-Garm	AB1	51.96	0.16	0.17	0.75	0.39	0.007	565	0.70	41.84
	AB2	54.13	0.08	0.02	0.40	0.16	0.001	511	0.04	43.44
	Mean	53.04	0.12	0.095	0.575	0.275	0.004	538	0.37	42.64
Gol Tapeh		55.09	0.06	0.01	0.36	0.03	0.001	267	0.01	43.74
Arvan		52.84	0.13	0.08	0.91	0.23	0.001	698	0.15	43.06
Babagorgor		53.66	0.21	0.04	0.80	0.06	0.049	2933	0.04	43.45

جدول ۲: اطلاعات مربوط به آنالیز شیمیایی آب چشمه‌های منطقه مورد پژوهش
 (شاه بیک، ۱۳۷۲ و اطلاعات موجود در آرشیو سازمان آب استان همدان بر اساس آنالیز شیمیایی چشمه‌های منطقه همدان (۱۳۸۴))

محل نمونه برداری	کاتیون (میلی اکی والان گرم در لیتر)				آنیون (میلی اکی والان گرم در لیتر)				pH	دما (°C)	سختی (کربنات‌ها + غیرکربنات‌ها)	تیپ آب
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃	CO ₃ ²⁻	Cl	SO ₄ ²⁻				
آبگرم (۱۳۷۳)	۱۴/۳۷	۸/۸۸	۷۱/۷۸	۲/۰۱	۱۴/۹۸	۰	۶۹/۴۸	۱۳/۰۹	۶/۴	۳۸	۱۱۷۰	کلرور سدیک
گل تپه (۱۳۸۴)	۵	۳/۶	۱/۸	۰/۰۲	۵	۰	۱/۲	۳/۲۹	۷/۳	۱۰	۴۰۰	بی‌کربنات کلسیک
بابا گرگر ۱ (۱۳۷۳)	۹/۹۸	۸/۶۸	۸/۷۲	۰/۷۴	۱۴/۵۹	۰	۷/۷۲	۵/۶۳	۷/۴	۲۱	۹۴۰	بی‌کربنات کلسیک
بابا گرگر ۲ (۱۳۷۳)	۹/۵۸	۱۰/۰۷	۲۶۱	۱۷/۵۲	۴۰/۸۶	۰	۲۵۳/۸	۷/۰۲	۶/۹	۹	۹۹۰	کلرور سدیک

نام گذاری سنگها به روش Folk (1962) انجام گرفته است. برای تعیین میزان تخلخل ماکروسکپی، از هر برش تعداد دو نمونه انتخاب و هر نمونه سه بار توسط ترازوی ارشمیدس و روش International Society for Rock ISRM (Mechanics) مورد آزمایش و اندازه گیری قرار گرفته و میانگین نتایج گزارش شد (جدول ۳).

تعداد ۵ نمونه دستی به ابعاد ۱cm×۱cm×۱cm تهیه و تخلخل آنها توسط میکروسکپ الکترونی (JEOL, JSM-840A) مورد بررسی و عکس برداری قرار گرفتند. برشهای نازک هر منطقه پس از رنگ آمیزی با آلزارین رداس (Dickson, 1968) توسط میکروسکپ نور عبوری Zeiss, Axioscope 40 مورد مطالعه و عکس برداری قرار گرفتند.

جدول ۳: میزان تخلخل ماکروسکپی منطقه‌های مورد پژوهش

منطقه	میانگین ابعاد نمونه‌ی مکعبی (اعداد بر حسب cm)	درصد تخلخل به روش (ISRM)			درصد تخلخل به روش ترازوی ارشمیدس
		n ₁	n ₂	n ₃	
آبگرم	۵/۲۵×۳/۹۵×۲/۳۶	۶/۸۰	۷/۹۰	۷/۱۳	۱۲/۳۲
پل اروان	۴/۳۱×۳/۷×۳/۲۵	۵/۰۹	۶/۰۶	۵/۲۹	۱۲/۰۵
دنگله کهریز	۴/۹۹×۴/۶۲×۲/۲	۳/۹۱	۴/۳۷	۴/۲۶	۵/۰۳
ازندریان	۴/۷۱×۴/۶۵×۲/۵۱	۷/۸۳	۸/۵۴	۸/۳۶	۱۵/۵۶
گل تپه	۶/۴×۵/۴۶×۴/۲۵	۴/۲۵	۵/۴۰	۵/۱۱	۷/۴۳
سنگران کوه	۸/۰۲×۷/۵۵×۴/۲۲	۶/۶۹	۵/۴۶	۵/۳۳	۶/۷۵
بابا گرگر	۴/۸×۴/۷۶×۲/۸۲	۹/۰۳	۷/۶۴	۷/۷۱	۱۶/۷۱

موقعیت جغرافیایی نواحی مورد مطالعه

ناحیه مورد مطالعه در سه استان هم‌جوار همدان، قزوین و کردستان قرار دارد. در این نواحی هفت برش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند (شکل ۱): (۱) برش دینگله کهریز در ۱۵ کیلومتری شرق شهر همدان، (۲) برش ازندریان، در ۴۵ کیلومتری جنوب شهر همدان، (۳) برش سنگران کوه در ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق همدان (۳۰ کیلومتری شهرستان رزن؛ در بین روستای عین آباد و شوند بخش رزن)، (۴) برش گل تپه در ۴۴ کیلومتری شمال غرب همدان، (۵) برش آبگرم در شمال شهر آبگرم و ۶۵ کیلومتری جنوب غرب قزوین، (۶) برش اروان در ۱۶ کیلومتری شمال شهرستان آوج در جنوب استان قزوین و (۷) برش بابا گرگر در ۳۳ کیلومتری شمال شهرستان قروه از توابع استان کردستان قرار دارد.

سنگها به سن کرتاسه، شامل سنگ آهکهای ضخیم لایه‌ای اوریتولین دار صخره ساز با میان لایه‌های نازک آهکی به رنگ خاکستری تیره تا روشن است که دگرگونی کمی را متحمل شده‌اند. وجود چشمه‌های تراورتن ساز در امتداد گسلها در منطقه دنگله کهریز باعث برجا گذاشتن لایه‌های قابل ملاحظه‌ای از تراورتن شده‌اند. تراورتنهای منطقه سنگران کوه با سطح تماس فرسایشی بر روی رسوبات آهکی الیگومیوسن قرار گرفته‌اند. در منطقه ازندریان، تراورتن مورد مطالعه با تماس گسله در بین سنگهای دگرگونی (استارولیت شیست و گارنت شیست) قرار گرفته است. در منطقه گل تپه سنگهای زیرین تراورتن شامل سنگهای دگرگونی و سنگ آهکهای کریستالین ژوراسیک می‌باشند. در منطقه بابا گرگر تراورتن بر روی سازندهای قرمز بالایی و نهشته‌های مارنی آهکی پلیستوسن قرار دارد.

زمین شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه در دو زون ایران مرکزی و سنندج - سیرجان قرار دارد. وجود دو گسل اصلی حسن آباد و آوج در زون ایران مرکزی باعث ایجاد ویژگیهای چینه شناسی متفاوت در شمال و جنوب ناحیه مورد مطالعه شده است (Bolourchi, 1979). دو برش آبگرم و پل اروان در زون ایران مرکزی و سایر برشها در زون سنندج - سیرجان قرار دارند.

در منطقه مورد مطالعه گسلهای فرعی زیادی که چشمه‌های تراورتن ساز در امتداد آنها ظاهر شده وجود دارند (اقليمی، ۱۳۷۹، شکل ۲). تراورتن در تمام برشهای مورد مطالعه بالاترین (جوانترین) واحد چینه شناسی را تشکیل می‌دهد و از دیدگاه سنگ چینه‌ای سن آنها کوتاه‌تری است. واحدهای سنگی واقع در زیر آنها دارای سنگ شناسی و سن متفاوتی هستند. در منطقه دنگله کهریز و سنگران کوه قدیمی‌ترین

بحث

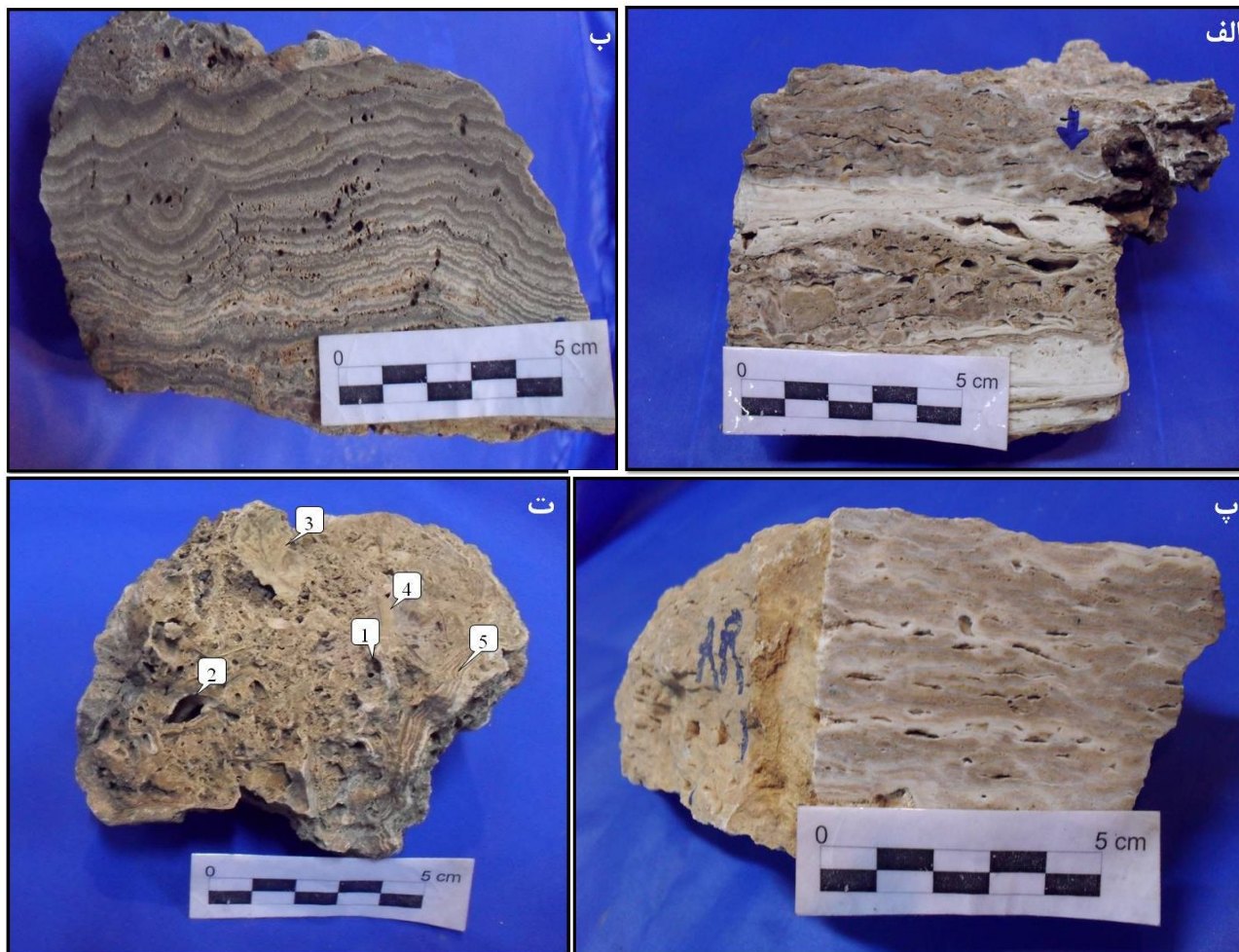
۱- **پتروگرافی:** در این بخش ویژگیهای پتروگرافی، نوع تخلخل و نوع سیمان نمونه‌های تراورتن به تفکیک در هر یک از برشهای مورد مطالعه؛ شرح داده شده است (شکلهای ۴ تا ۷):

۱-۱- برش دنگله کهریز

ضخامت رخنمون: ۹/۲ متر؛ پهنای توده اصلی: ۱۸۱۰ متر؛ نام سنگ: بایواسپارایت؛ نوع تخلخل: حفره‌ای، درون دانه‌ای و روزنه‌ای؛ میزان تخلخل: اغلب ۵-۱۰ درصد (در بعضی از قسمتها کمتر از ۵ درصد)؛ انواع سیمان: بلوکی، تیغه‌ای و دندان سگی شرح: زمینه اسپاری شده و آثاری از جلبکهای میکرویتی (آلومیکرایت) که در نتیجه تبلور، در حال تبدیل شدن به اسپارایت است. حالت لایه بندی در متن سنگ و نمونه میکروسکپی به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵ الف). بلورهای سیمان در اثر تبلور مجدد سیمان درشت‌تری

فضای داخلی آن بر اثر از بین رفتن مواد آلی باعث تشکیل تخلخل درون دانه‌ای شده است.

ایجاد کرده‌اند که موجب کاهش تخلخل شده است (شکل ۵ الف). نوع سیمان تا حدودی مشخص کننده محیط تشکیل متوریک است. دیواره بایوکلست (جلبک) کلسیتی شده و



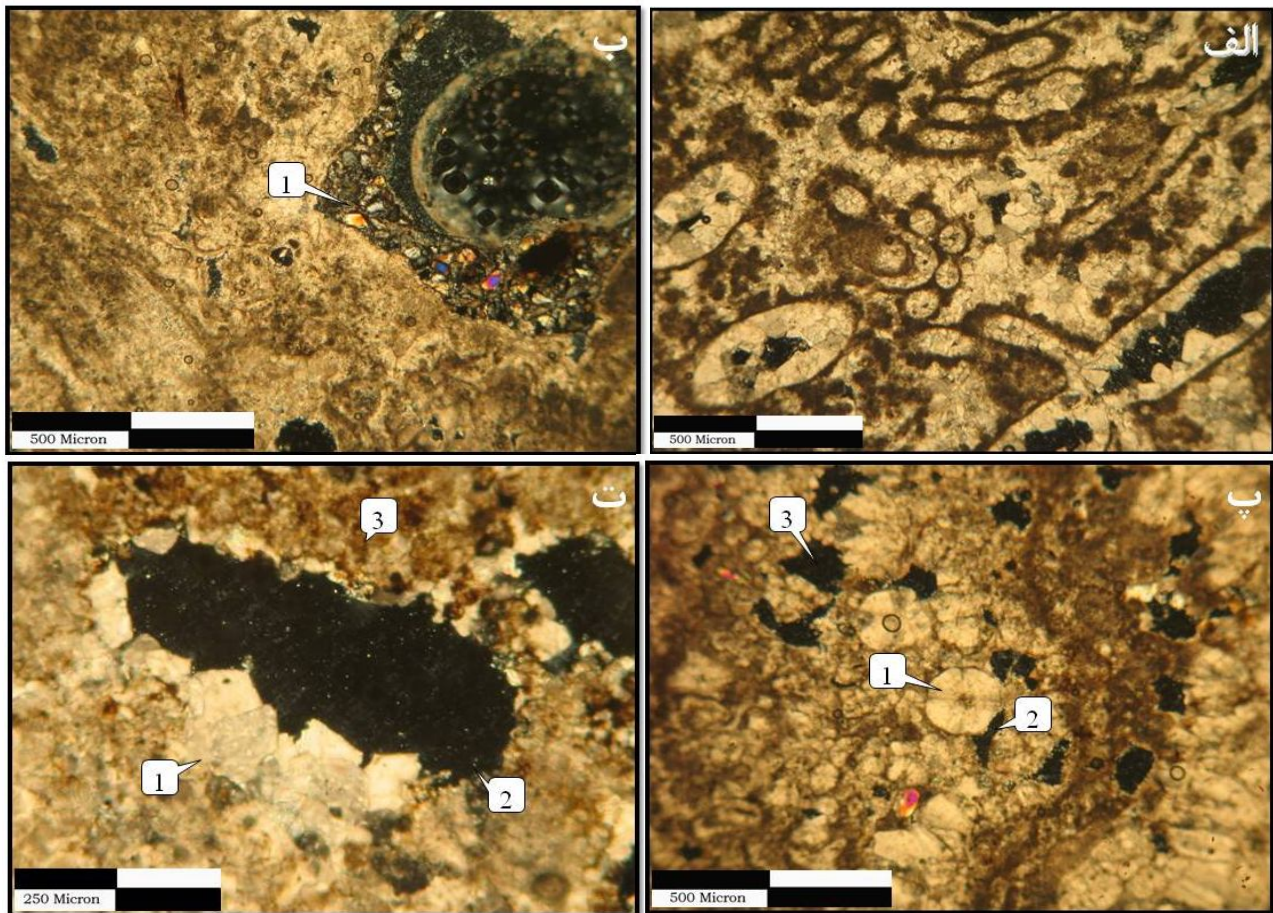
شکل ۴: نمونه‌های ماکروسکوپی از تراورتن منطقه، الف) لامیناسیون صفحه‌ای (بخش سفید)، تخلخل قالبی و حفره‌ای، برش آبگرم (پیکان= جهت بالای لایه بندی)؛ ب) لامیناسیون موجی و تخلخل حفره‌ای و روزنه‌ای، برش سنگران کوه؛ پ) لامیناسیون موجی و تخلخل حفره‌ای، برش پل اروان؛ ت) (۱) تخلخل قالبی (۲) تخلخل پناهگاهی (۳ و ۴) بقایای برگ درخت و نی (به ترتیب) (۵) لامیناسیون، برش ازندریان

می‌باشد. ذرات مسکویت و کوارتز (احتمالاً با منشا شیبستی) به صورت قطعات آواری یا به صورت پرکننده تخلخل دیده می‌شوند. ساقه‌های نی و برگ (گیاهان عهد حاضر) توسط لایه‌ای از رسوب کربنات کلسیم به طور کامل حفظ شده و تشکیل شبکه‌ای از رسوب و گیاه با تخلخل بالا را می‌دهد.

۲-۱- برش ازندریان

ضخامت و پهنای رخنمون: ۸۰ سانتی‌متر و ۵۰۰ متر (به ترتیب)؛ نام سنگ: بایواسپارایت؛ نوع تخلخل: حفره‌ای، پناهگاهی، قالبی؛ میزان تخلخل: حدود ۳۰ درصد؛ نوع سیمان: مینسکوس

شرح: زمینه اسپاریتی است، آلوکم شامل خرده اسکلتی (جلبک و ساقه‌های نی که در برش نازک با خاموشی صلیبی دیده می‌شود) و قطعات آواری (مسکویت و کوارتز)



شکل ۵: تصاویر میکروسکوپی از تراورتهای منطقه: الف) وجود جلبک میکرایتی (در حال تبدیل شدن به اسپارایت) و تخلخل درون دانه‌ای (برش ازندریان)، ب) تخلخل حفره‌ای (قسمتی توسط کوارتز پلی کریستالین پر شده (برش ازندریان)، پ) (۱) آثار نی (۲) تخلخل پناهگاهی (۳) تخلخل حفره‌ای (برش ازندریان)، ت) سیمان دروزی (۱) تبلور مجدد کلسیت (کلسیت دندان سگی) (۲) تخلخل حفره‌ای (۳) میکرایت (برش سنگران کوه)

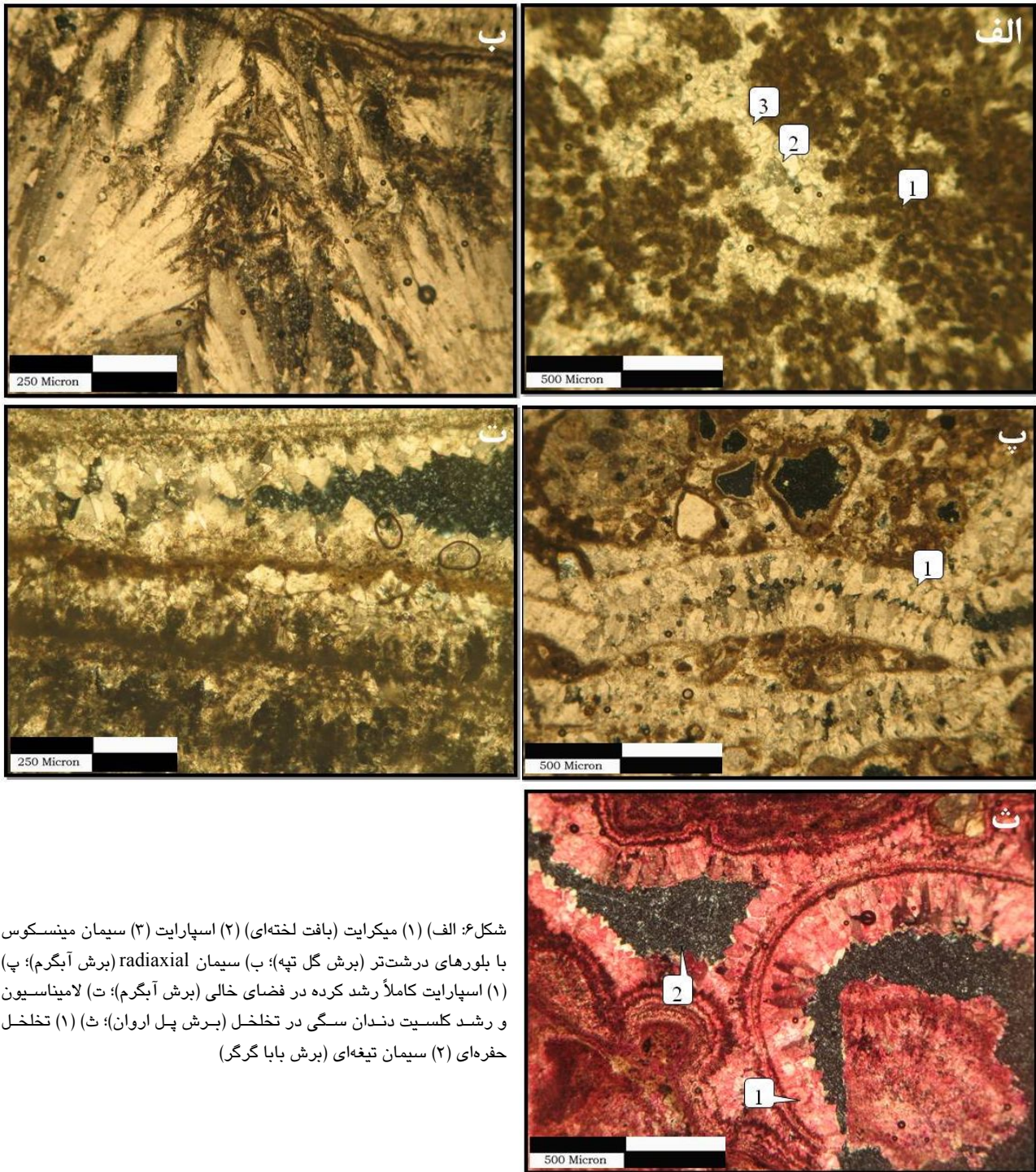
بافت لخته‌ای و دندریتی در برش نازک به خوبی نمایان است. به دلیل حفظ شدگی اجزای گیاهان و ایجاد تخلخل بالا این سنگ بر اساس طبقه بندی Koban & Schweigert (1993) در ردیف توفاق قرار می‌گیرد (Pentecost, 2005)، اما به علت سیمانی و سخت شدن رسوبات کربناتی به خصوص در قسمت‌های عمیق‌تر، در دسته رسوبات تراورتن قرار می‌گیرد (شکل ۵ ب و پ). محیط تشکیل این رسوبات با توجه به وجود سیمان مینسکوس منطقه وادوز است.

اسپاریتی و لایه‌بندی کاملاً مشخص است. بافت لخته‌ای، بافت دندریتی و radiaxial در بعضی از نمونه‌ها مشاهده شده است. لایه‌بندی موجود در برش نازک نشان دهنده رشد فصلی جلبک می‌باشد. با توجه به فابریک سیمانها، محیط تشکیل آنها، متشوریک است.

۱-۴- برش گل تپه

ضخامت و پهنای رخنمون: نزدیک یک متر و ۹۰۶ متر (به ترتیب)؛ نام سنگ: پل اسپارایت؛ نوع تخلخل: حفره‌ای؛ میزان تخلخل: ۵-۱۰ درصد؛ نوع سیمان: اغلب مینسکوس، دندان سگی، دروزی، و بلوکی (به میزان کم‌تر) شرح: زمینه اسپاریتی است و آثاری از لامینه یا ساقه گیاه، در برش نازک سنگ کاملاً مشهود می‌باشد.

۱-۳- برش سنگران کوه
ضخامت و پهنای رخنمون: ۹/۶ متر و ۸۵۰ متر (به ترتیب)؛ نام سنگ: بایواسپارایت؛ انواع سیمان: بلوکی، ستونی و دروزی (شکل ۵ ت) در برشهای نازک مطالعه شده؛ زمینه



شکل ۶: الف) (۱) میکرایت (بافت لخته‌ای) (۲) اسپارایت (۳) سیمان مینسکوس با بلورهای درشت‌تر (برش گل تپه)؛ ب) سیمان radiaxial (برش آبگرم)؛ پ) (۱) اسپارایت کاملاً رشد کرده در فضای خالی (برش آبگرم)؛ ت) لامیناسیون و رشد کلسیت دندان سگی در تخلخل (برش پل اروان)؛ ث) (۱) تخلخل حفره‌ای (۲) سیمان تیغه‌ای (برش بابا گرگر)

میزان تخلخل: ۵-۱۰ درصد؛ نوع سیمان: رشته‌ای هم ضخامت (Isopachous)، دروزی، مینسکوس، دندان سگی در نمونه‌ها، لامیناسیون (تناوبی از لامینه‌های میکرایتی و اسپاری در اثر رشد فصلی جلبکها) به وضوح قابل مشاهده است. بافت دندریتی و لخته‌ای در بعضی از قسمتها دیده شده

وجود گیاه باعث ایجاد بافت لخته‌ای در سنگ شده است. محیط تشکیل سیمان، وادوز می‌باشد.

۵-۱- برش آبگرم

ضخامت و پهناي رخمون: ۳ متر و ۴۷۵ متر (به ترتیب)؛ نام سنگ: بایواسپارایت؛ نوع تخلخل: روزنه‌ای و حفره‌ای؛

است. خاموشی موجی در امتداد صفحات خمیده ماکل بین بلورهای کلسیت از یک طرف سیمان شروع شده و به سمت دیگر ختم می‌شود که باعث تشکیل کلسیت هم محور در برش نازک شده است (شکل ۷). لایه‌های میکرایتی ناشی از مواد آلی و لایه‌های اسپارایتی در نتیجه تجدید تبلور لایه میکرایتی می‌باشد. بافت دندریتی و لخته‌ای ناشی از عملکرد باکتریها و سیانوباکتریهاست. محیط تشکیل فریاتییک متئوریک می‌باشد.

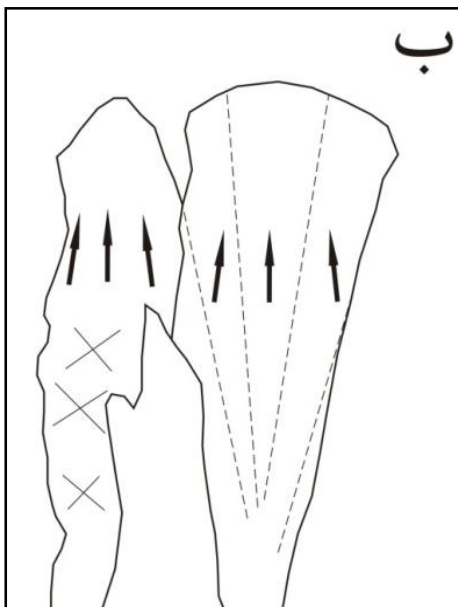
۷-۱- برش بابا گرگر

ضخامت رخنمون: حدود ۱/۵ متر؛ پهنای رخنمون: ۶۲۶ متر (توده اصلی)؛ نام سنگ: میکرواسپارایت؛ نوع تخلخل: تیغه‌ای؛ میزان تخلخل: ۱۰ درصد؛ نوع سیمان: تیغه‌ای
شرح: زمینه اسپارایتی است؛ به علت وجود چشمه‌های فعال تراورتن ساز با تیپ آب کلرور سدیک (آب شور) که تحت تأثیر نفوذ آبهای جوی قرار گرفته‌اند؛ سیمانهای موجود شبیه منطقه اختلاط (mixing zone) بوده است؛ ولی بر اساس مشاهدات صحرایی محیط تشکیل متئوریک است.

است. در زمینه، فضاهاى خالی فراوان با سیمان اسپاری پر شده است. با توجه به فعال بودن چشمه آب گرم تراورتن ساز در منطقه، دو نوع محیط تشکیل سیمان شناخته شده است: ۱- محیط فریاتییک متئوریک که فضاهاى خالی موجود در رسوب توسط آب اشغال شده و باعث تشکیل سیمان ایزوپکوس شده؛ و ۲- محیط تشکیل وادوز که باعث تشکیل سیمان مینسکوس شده است.

۶-۱- برش پل اروان

ضخامت و پهنای رخنمون: ۳ متر و ۹۴۴ متر (به ترتیب)؛ نام سنگ: بایواسپارایت؛ نوع تخلخل: حفره‌ای؛ میزان تخلخل: ۱۰ درصد؛ نوع سیمان: radiaxial fibrous (حاصل رشد کلسیت رشته‌ای).
تناوب لایه‌های میکرایتی و اسپارایتی باعث تشکیل لایه بندی در برشهای نازک این منطقه شده است (شکل ۶ ت). بافت دندریتی و لخته‌ای در متن سنگ قابل مشاهده است. بلورهای کلسیت در نتیجه تبلور دوباره، در جهت محور C و عمود بر لامینه‌ها رشد کرده و لایه میکرایتی را قطع کرده



شکل ۷: کلسیت رشته‌ای از نوع کلسیت هم محور.

(الف) در یک نمونه میکروسکوپی منطقه مطالعه؛ (ب) طرح شماتیک (خاموشی موجی در امتداد صفحات خمیده ماکل بین بلورهای کلسیت؛ Kendall, 1985)

بررسی ژئوشیمیایی این پژوهش بر مبنای آنالیز شیمیایی نمونه‌های آب چشمه‌های منتخب (برای شناخت تیپ آب) و آنالیز XRF (برای شناخت عناصر تشکیل دهنده تراورتن) بوده است. با توجه به ثابت بودن محل چشمه‌های فعال مشاهده شده در طول زمان و نیز ثابت بودن ویژگیهای شیمیایی آب هر چشمه در طول سال (فصلهای خشک و تر متوالی) (جدول ۲) و ثابت بودن خواص فیزیکی (رنگ، تخلخل، سختی، لایه بندی و ...) بر اساس ضخامت رخنمون تعدادی نمونه انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به پراکندگی جغرافیایی برشها و نیز تراکم کم نمونه‌ها در هر برش امکان تهیه لاگ رسوبی فراهم نشد.

۳-۱- آنالیز XRF

روش XRF یکی از متداول‌ترین روشهای تجزیه‌ای برای تعیین عناصر اصلی و فرعی در نمونه‌های سنگی است. نتایج این آنالیز نشان می‌دهد بیشتر ناخالصی و عناصر فرعی در نمونه‌ها Fe و Sr می‌باشند (جدول ۱). مقادیر کم مواد آلی احتمالاً در تمام نهشته‌ها وجود دارد و یک بخش مهم در تراورتنهای فعال است؛ به ویژه در آنهایی که محل زندگی جلبکها بوده‌اند. مقدار L.O.I در همه برشها کم و بیش مشابه و میانگین آن برابر با ۴۲/۵۹٪ می‌باشد.

میزان آهن

آبهای زیرزمینی و متوریک 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) به صورت ناخالصی ته‌نشین می‌کنند. در مواردی که تراورتن با مواد ارگانیکی تجمع یافته‌اند؛ ترکیبات آهن سه‌ظرفیتی پس از احیا شدن نیز می‌توانند در خلال دیاژنز وارد شبکه کلسیت شود. آهن و منگنز ترجیحاً وارد شبکه کلسیت پرمیزیم می‌شوند؛ به طور کلی و در شرایط یکسان، مقدار این دو عنصر در نمونه‌های کلسیتی که منیزیم آنها کمتر از ۱٪ است؛ پایین‌تر از

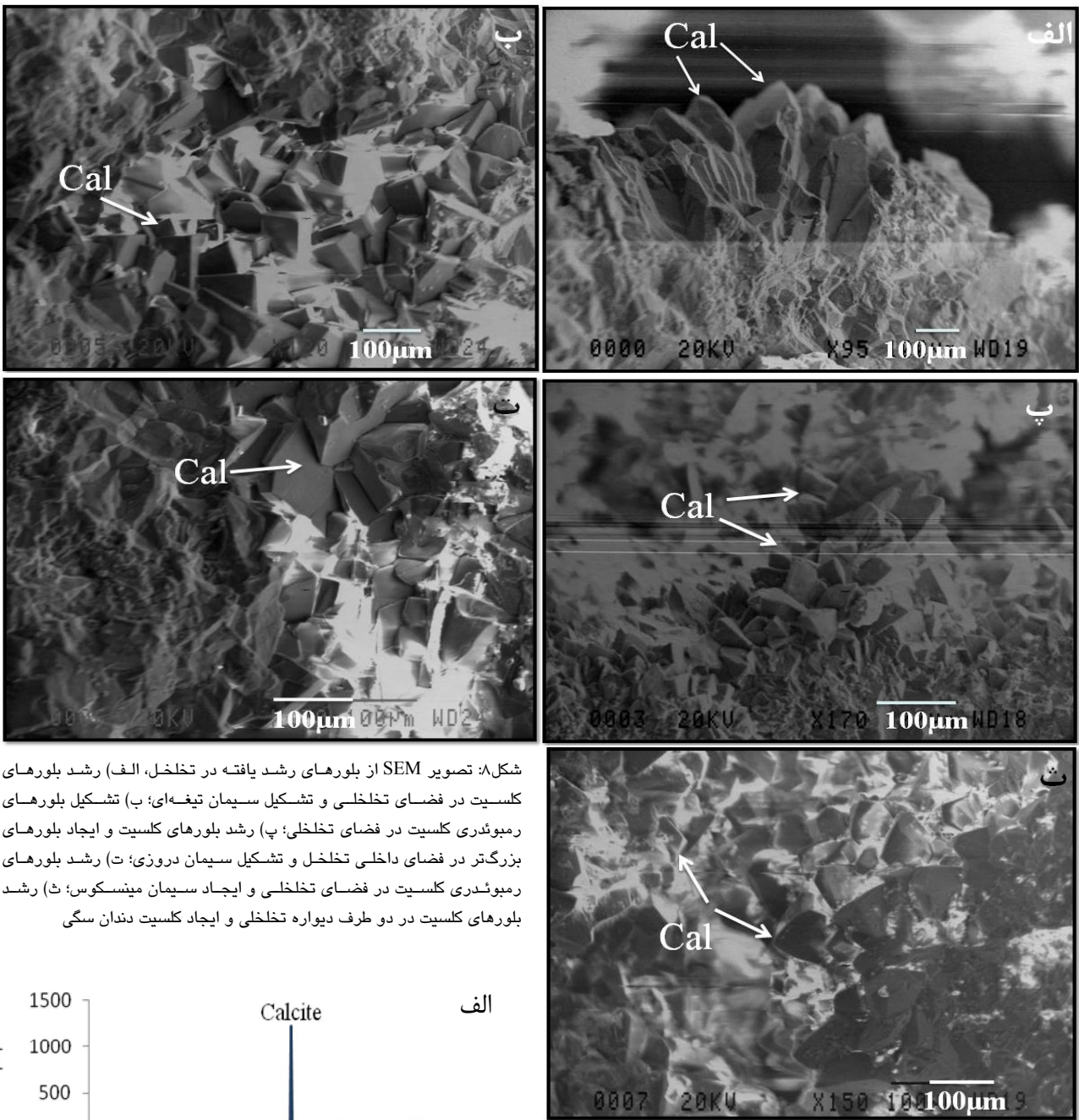
۲- کانی شناسی فابریک و محیط تشکیل بلورها

برای شناسایی اندازه، شکل، تداخل احتمالی بلورهای کلسیت و نحوه پرشدن تخلخل توسط بلورهای کلسیت تعداد ۵ نمونه توسط میکروسکپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۸). در بیشتر نمونه‌ها بلورهای کلسیت به شکل موزائیکی، شفاف و هم بعد از روی بستر (دیواره حفره) به سمت بیرون رشد کرده و به طور بخشی حفره‌های سنگ را پر می‌کنند. رشد این بلورها باعث تشکیل سیمانهای نامنظم و پراکنده در متن سنگ شده است؛ به طوری که بخشی از رسوبات کاملاً سیمانی شده ولی در فاصله چند میلی‌متری از آن، سیمان وجود ندارد. وجود سیمانهای پراکنده و نامنظم به همراه بلورهای کلسیت کم منیزیم و تقریباً هم بعد نشان دهنده محیط دیاژنزی متوریک است (Given & Wilkinson, 1985).

۲-۱- آنالیز XRD

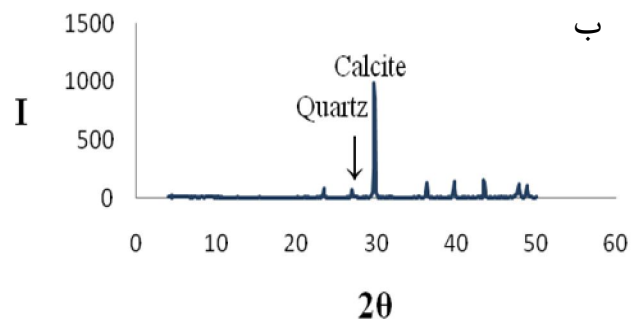
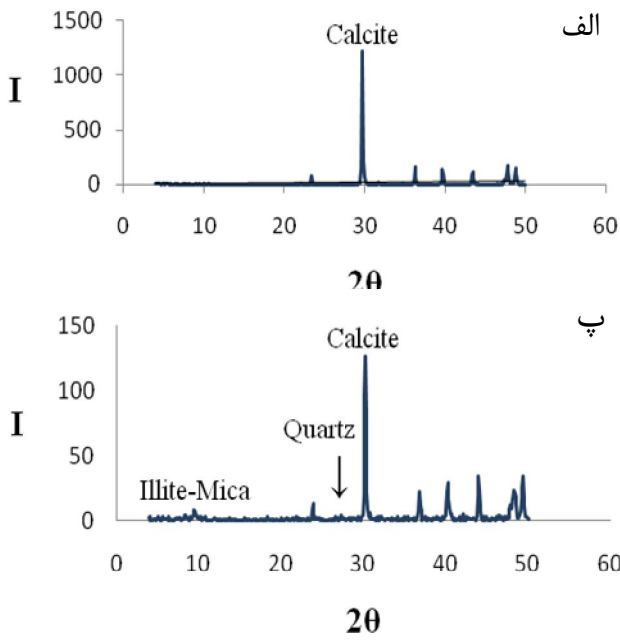
برای شناخت کانیهای تشکیل دهنده تراورتن از آنالیز XRD استفاده شده است. نتایج این آنالیز نشان می‌دهد که کلسیت (از نوع کلسیت کم منیزیم، LMC) کانی اصلی در نمونه‌های تراورتن منطقه است (شکل ۹). قابل ذکر است تعیین نوع کلسیت بر اساس فاصله شبکه‌ای محاسبه شده (از روی پیک) و با استفاده از نرم‌افزار X-Powder انجام گرفته است. وجود کانیهای فرعی در تراورتنهای مورد مطالعه کاملاً تحت تأثیر زمین شناسی منطقه بوده است؛ به طوری که در منطقه ازندریان وجود کوارتز و کانی رسی به دلیل حضور سنگهای شیستی و دگرسانی فلدسپات می‌باشد، و در منطقه دنگله کهریز وجود مقدار کمی کوارتز در نمودارهای XRD به دلیل حضور ماسه سنگهای کوارتزیت در منطقه است (شکل ۹).

۳- ژئوشیمی



شکل ۸: تصویر SEM از بلورهای رشد یافته در تخلخل، رشد بلورهای کلسیت در فضای تخلخلی و تشکیل سیمان تیغه‌ای؛ (ب) تشکیل بلورهای رمبوئدری کلسیت در فضای تخلخلی؛ (پ) رشد بلورهای کلسیت و ایجاد بلورهای بزرگ‌تر در فضای داخلی تخلخل و تشکیل سیمان دروزی؛ (ت) رشد بلورهای رمبوئدری کلسیت در فضای تخلخلی و ایجاد سیمان مینسکوس؛ (ث) رشد بلورهای کلسیت در دو طرف دیواره تخلخلی و ایجاد کلسیت دندان سگی

شکل ۹: نمودارهای XRD تراورتن؛ برشهای الف) آبگرم ب) دنگله کهریز، (پ) ازن‌دریان (تعیین نوع کلسیت با نرم افزار X-powder)



کلی می‌توان گفت که بالا بودن مقدار استرانسیم در کلسیت‌های بیوتیک به دلیل فرآیندهای جنبشی مانند رشد سریعتر آرگانیسرها و نیز ساختار آراگونیتی بعضی از آنهاست. بنابراین با توجه به حضور جلبکها و سیانوباکتریها در برخی نمونه‌ها (به ویژه برش از ندریان) بالا بودن مقدار استرانسیم در آنها قابل توجیه است. قابل ذکر است که پس از برش بابا گرگر، برش از ندریان بیشترین مقدار تخلخل (۱۵/۵۶٪) را داراست؛ میزان استرانسیم در این برش برابر با ۱۰۹۱ ppm بوده است.

میزان منیزیم

میزان این عنصر در نمونه‌های مطالعه شده، کمتر از ۴٪ مول است که نمونه‌ها از نظر نوع کربنات کلسیم در رده کلسیت با منیزیم کم قرار می‌گیرند (Tucker & Wright, 1990). با توجه به محیط تشکیل این کربنات‌ها (محیط متئوریک)، وجود کلسیت کم منیزیم قابل توجیه است.

میزان سدیم و پتاسیم

هرچند این دو عنصر ممکن است جانشین کلسیم شوند ولی اصولاً تمایل به اشغال نقص بلوری دارند و مقدار آنها به سرعت رشد بلور و میزان آراگونیت وابسته است (Pentecost, 2005). مقدار این عناصر با افزایش مقدار آراگونیت افزایش یافته و با تأثیر آبهای متئوریک به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. کمترین مقدار سدیم مربوط به برش سنگران کوه (۰/۰۱٪) است؛ که بیشترین میزان دیازن را تحمل کرده است. بیشترین مقدار سدیم مربوط به برش باباگرگر با میزان ۰/۰۸٪ است؛ این میزان احتمالاً به دلیل تأثیر آبهای شور چشمه‌های فعال تراورتن ساز (جدول ۲) بوده است.

میزان آلومینیوم

حضور مقدار اندکی Al_2O_3 در بعضی از نمونه‌ها را می‌توان به وجود کانی رسی در برشهای مورد مطالعه نسبت داد. کانی رسی موجود در منطقه از دگرسانی کانیهای

نمونه‌هایی است که مقدار منیزیم بیشتر از ۱٪ است (آدابی، ۱۳۸۳). مقدار آهن با رنگ سنگ تراورتن نیز رابطه مستقیم دارد، رنگ تراورتنهای منطقه متناسب با میزان آهن سفید، کرم روشن و لیمویی (به ترتیب افزایش آهن) است. آهن در تراورتنهای منطقه به صورت سیمان، پراکنده در متن و یا داخل شبکه بلوری کلسیت وجود دارد؛ اکسید آهن کل نمونه‌ها بین ۰/۰۱٪ (گل تپه) تا ۰/۰۴٪ (سنگران کوه) متغیر است. اکسید آهن به صورت نوارهای مجزا نیز در نمونه‌ها دیده شده است.

میزان استرانسیم

میزان این عنصر در کلسیت می‌تواند به عوامل زیر بستگی داشته باشد: ۱) تغییر شکل آراگونیت (ناپایدار) به کلسیت (پایدار)؛ در این صورت میزان درصد استرانسیم به حدود ۰/۰۲٪ کاهش می‌یابد (Pentecost, 2005)؛ ۲) سرعت رسوب‌گذاری (با افزایش سرعت رسوب‌گذاری میزان استرانسیم افزایش می‌یابد)؛ ۳) تخلخل رابطه مستقیمی بین تخلخل و میزان درصد استرانسیم وجود دارد (Cipriani et al., 1977) (شکل ۱۰ و ۴ وجود ادخالهای کربنات استرانسیم). میزان استرانسیم نمونه‌های مورد مطالعه را به دلایل زیر می‌توان به سه دلیل اول نسبت داد:

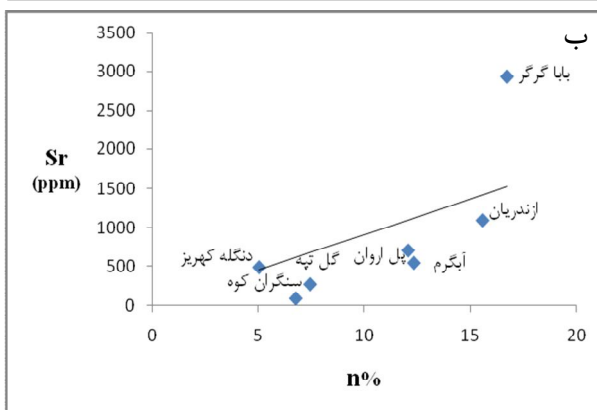
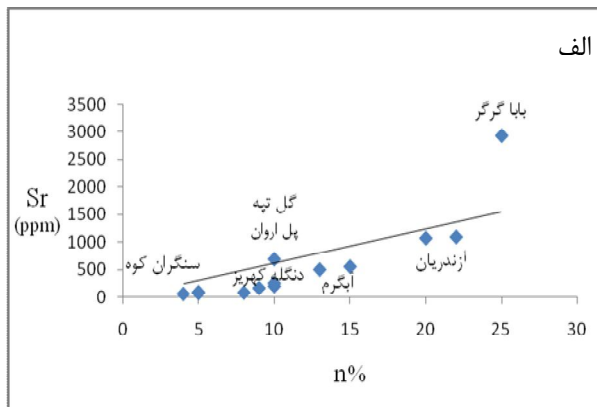
۱- بیشترین مقدار استرانسیم (۲۹۳۳ ppm) در برش بابا گرگر مشاهده شده است. به دلیل فعال بودن چشمه‌های تراورتن‌ساز این منطقه، رسوبات تراورتنی جوان و دارای تراکم پایین و نیز بالاترین مقدار تخلخل (۱۶/۷۱٪) در منطقه می‌باشند.

۲- پژوهشها نمایانگر اثر مثبت فعالیت جلبکها و سیانوباکتریها در سرعت ته‌نشست کلسیت است؛ میانگین سرعت رسوب کلسیت زیستی حدود $1500 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{h}$ است در حالی که سرعت ته‌نشست کلسیت غیر زیستی ۱۵ تا $15 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{h}$ می‌باشد (Carpenter & Lohmann, 1992). به طور

فرعی بوده که مقدار بالایی را در تراورتنهای منطقه دارا می‌باشند. مقدار بالای استرانسیم در تراورتن منطقه، به دلیل افزایش سرعت رسوب گذاری کربنات کلسیم؛ که ناشی از عملکرد و فعالیت گیاهان و ارگانیسرها در منطقه بوده است؛ می‌باشد. از طرفی افزایش سرعت رسوب گذاری کربنات کلسیم باعث افزایش تخلخل اولیه می‌شود؛ که وجود تخلخل زیاد، خود عامل دیگری برای وجود استرانسیم بالا در تراورتنهای منطقه است. وجود آهن (عمدتاً به صورت سیمان) موجب رنگ کرم و لیمویی تراورتن شده است.

مقایسه نتایج فیزیکی نشان می‌دهد به دلیل تخلخل بالای تراورتن و وجود تخلخل سطحی فراوان، میزان تخلخل اندازه گیری شده به روش ترازوی ارشمیدس نزدیک تر به واقعیت می‌باشد. بهترین و واضح ترین لامیناسیون در نمونه دستی منطقه آبگرم، پل اروان و سنگران کوه قابل مشاهده است. این ویژگی از نظر زیبایی و ارزش صنعتی تراورتن اهمیت دارد.

آلومینیوم دار سیلیکاته مانند فلدسپات و نیز تغییر و تبدیل کانیهای رسی تخریبی و قدیمی مستقیماً درجا تشکیل شده است.



شکل ۱۰: الف) نمودار دو متغیره استرانسیم و تخلخل میکروسکپی؛ که بیانگر ارتباط مستقیم بین میزان استرانسیم و مقدار تخلخل میکروسکپی است؛ ب) نمودار دو متغیره استرانسیم و تخلخل ماکروسکپی؛ که بیانگر ارتباط مستقیم بین میزان استرانسیم و مقدار تخلخل ماکروسکپی است

نتیجه گیری

مطالعه پتروگرافی ۷ برش تراورتن از استانهای همدان، قزوین و کردستان؛ آثار ارگانیسرها و به ویژه بقایای سالم گیاهان در تراورتنهای منطقه و فعال بودن چشمه‌های تراورتن ساز در بعضی از برشها نشان از جوان بودن تراورتنهای منطقه است. براساس زمین شناسی منطقه ازندریان (سنگهای شیست و رگه‌های کوارتز) و منطقه دنکله کهریز (ماسه سنگ کوارتزی) می‌توان حضور سیلیس در آنالیز XRD را توجیه کرد. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز XRF آهن و استرانسیم از جمله عناصر

منابع

- آدابی، م.ح.، ۱۳۸۳. ژئوشیمی رسوبی. انتشارات آراین زمین، ۴۴۸ ص.
- اقلیمی، ب.، ۱۳۷۹. نقشه زمین شناسی چهار گوش همدان با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رحمانی، س.، خدابخش، س.، محسنی، ح.، قائمی، ع.، ۱۳۹۰. اهمیت ژئوتوریسمی چشمه‌های آهک ساز و رسوبات تراورتن، مطالعه موردی از منطقه بابا گرگر (شمال شرق قروه)، پنجمین همایش تخصصی زمین شناسی، ابهر.
- حسینی، م.، ۱۳۷۸. نقشه زمین شناسی چهار گوش قروه با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شاه بیگ، ا.، ۱۳۷۲. آبهای معدنی و گرم. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ۲۱۲ص.
- Adabi, M.H., & Rao, C.P., 1991. Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic carbonates (Mozduran Formation), Sarakhs area, Iran. *Sed. Geology*, 27: 253-267.
- Bates, R.L., & Jackson, J.A., 1987. Glossary of Geology. 3rd ED., Alexandria, Va. American Geology Institute, 788 p.
- Bolourchi, M.H., 1979. Explanatory text of the Kabudar Ahang quadrangle map, 1:250000. *Geol. Surv. Iran*, Rep. No. D5.
- Carpenter, S.J., & Lohmann, K.C., 1992. Sr/Mg ratios of modern marine calcite: empirical indicators of ocean chemistry and precipitation rate. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 56: 1817-1849.
- Cipriani, N., Malesani, P., & Vannucci, S., 1977. I travertinidell'Italia centrale. *Boll. Serv. Geol. Ital.*, 98: 85-115.
- Dickson, J.A.D., 1965. A modified staining technique for carbonate in the thin section. *Nature.*, 205: 587.
- Folk, R.L., 1962. Spectral subdivision of limestone type. In: Ham, W.E., (ed.), Classification of Carbonate Rocks-A Symposium. *Ame. Assoc. Petrol. Geol. Mem*, 1: 62-84.
- Fouke, B.W., Farmer, J.D., Des Marais, D.J., Pratt, L., Sturchio, N.C., Burns, P.C., & Discipulo, M.K., 2000. Depositional facies and aqueous-solid geochemistry of travertine-depositing hot springs (Angel Terrace, Mammoth Hot Springs, Yellowstone National Park, U.S.A.). *J. Sed. Res.*, 70: 565-585.
- Given, R.K., & Wilkinson, B.H., 1985. Kinetic control of morphology composition and mineralogy of abiotic sedimentary carbonates. *J.Sed. Petrol.*, 55: 109-119.
- Jerz, H., 1983. Kalksinterbildung in Sudbayern und ihre zeitliche Einstufung. *Geol. Jb, Reihe, A*: 291-300.
- Kendall, A.C., 1985. Radial fibrous calcite: a reappraisal. In: Schneidermann, N., & Harris, P.M., (eds), Carbonate cements. *SEPM*, Sp. Pub., NO. 36: 59-77.
- Koban, C.G., & Schweigert, G., 1993. Microbial origin of travertine fabrics- two examples from Southern Germany (Pleistocene Stuttgart travertine and Miocene Riedoschingen travertine). *Facies*, 29: 251-264.
- Mitchell, R.S., 1985. Dictionary of rocks. *Van Nostrand Reinhold*, New York. 228 pp.
- Pentecost, A., 2005. Travertine. *Springer-Verlage*, Berlin Heidelberg, Netherland, 445 pp.
- Pentecost, A., & Viles, H.A., 1994. A review and reassessment of travertine classification. *Geogr. Phys. Quaternary*, 48: 305-314.

Tucker, M.E., & Wright, V.R., 1990. Carbonate Sedimentology. *Blackwell Science*, Oxford, 482 pp.

Tucker, M.E., 1981. Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. *Blackwell Science*, Oxford, 252 pp.

Warren, J.K., 1982. The hydrological significance of Holocene tepees, stromatolites, and boxwork limestone in coastal Salinas in South Australia. *J. Sed. Petrol.*, 52: 1171-1201.

Petrography and Geochemistry of Quaternary travertines in some sections from N and W Iran

Khodabakhsh, S.^{1*}, Rahmani, S.², Mohseni, H.¹, Kazemi, Sh.³, Ghaemi, E.⁴

1- Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

2- M. Sc. in Sedimentology, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Materials Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

4- Lecturer, Faculty of Chemistry, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

*E-mail: skhodabakhsh@yahoo.com

Abstract

Despite the majority of Quaternary deposits consist of alluvial sediments, an important proportion of deposits (in active tectonic zones) are formed as tufa and travertine. The studied travertine in this research (from seven measured sections) are located in three neighboring provinces (Qazvin, Hamedan and Kurdistan), situated in the Central Iran and Sanandaj-Sirjan structural zones. Petrographic studies show distinct lamination, microscopic and macroscopic porosity (5-10%) in the samples. Most studied samples are biosparite; plant and algae debris present in some sections. SEM analysis shows mosaic and equant calcite crystals, grows in pore spaces. XRD analysis indicates low-magnesium calcite is present in all studied sections; some clay minerals and quartz are present in few sections. Geochemical analysis (XRF method) indicates that the average CaO and SiO₂ in samples are 52.98% and 1.98% respectively; Si mainly occurs as quartz veins and sandstone clasts. MgO (0.062%), Al₂O₃ (0.47%, as clay minerals) and Fe₂O₃ (0.41%, as iron oxide) are also exists. Based on the cement type, meteoric and vadose diagenetic environments were recognized.

Keywords: Petrography, geochemistry, travertine, Central Iran zone, Sanandaj-Sirjan zone.