



پالئوسل‌های سازند پادها با سن دونین در زون البرز شرقی: ویژگی‌های بافتی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی

مریم کیا اشکوریان، غلامحسین شمعانیان^{*}، بهنام شفيعی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان

(دریافت مقاله: ۹۰/۲/۱۳، نسخه نهایی: ۹۰/۱۰/۱۱)

چکیده: پالئوسل‌های منطقه مورد بررسی که در فاصله‌ی ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی آزادشهر قرار دارد، بخشی از زون البرز شرقی محسوب می‌شود. این پالئوسل‌ها در رخساره‌های دشت سیلابی و دریاچه‌ای سازند پادها با سن دونین قرار دارند. بر اساس شواهد صحرایی و بافتی دو افق اصلی پالئوسل به نام‌های A و B شناسایی شدند. افق A از پالئوسل‌های کالکریتی و غیرکالکریتی تشکیل یافته است و در رخساره‌ی دشت سیلابی سازند پادها قرار دارد. افق B در رخساره‌ی دریاچه‌ای مشاهده می‌شود و بیشتر کالکریتی است. کوارتز، کلسیت، دولومیت، میکروکلین، همتایت، آلبیت، سرپسیت، ایلیت، کلریت و مونتموریلونیت در پالئوسل‌ها شناسایی شدند. تجزیه و تحلیل‌های زمین‌شیمیایی پالئوسل‌ها بیانگر غنی‌شدگی عناصر نام‌تحرک و تهی‌شدگی عناصر متحرک است. بررسی شاخص‌های هوازدهی شیمیایی و هوازدهی مؤثر شیمیایی دلالت بر هوازدهی متوسط در منطقه‌ی مورد بررسی دارد. تظاهر پالئوسل‌های غیرکالکریتی و کالکریتی پیشنهادکننده‌ی تغییرات آب و هوایی از مرطوب به خشک در طول تشکیل خاک است. تلفیق داده‌های بافتی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی نشان‌دهنده‌ی سنگ مادر بازالتی برای پالئوسل‌های مورد بررسی است.

واژه‌های کلیدی: پالئوسل، کالکریت، سازند پادها، البرز شرقی.

مقدمه

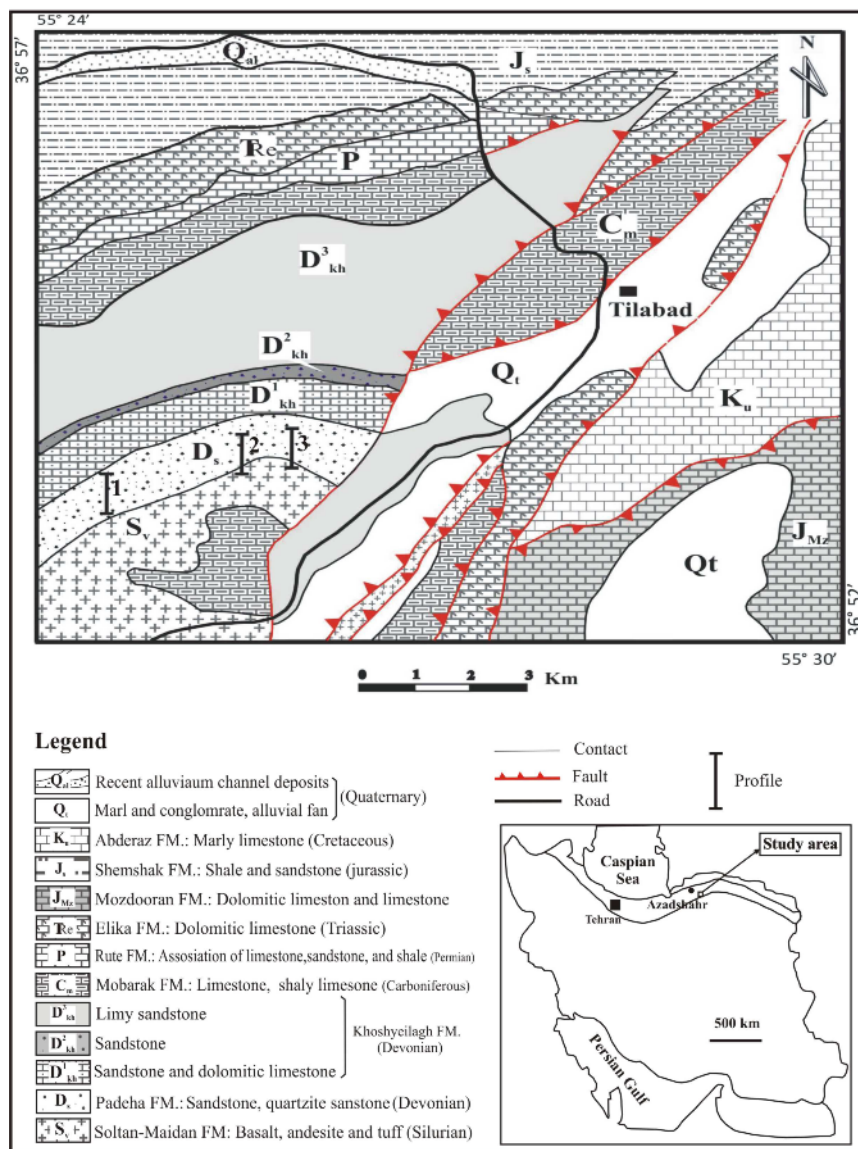
ریخت‌شناسی منطقه، بارندگی، دما و زمان بستگی دارد [۶]. پالئوسل‌ها از نظر مکانی در محیط‌های مختلف قاره‌ای مانند دشت‌های سیلابی [۷]، مردابی [۸]، دلتایی [۹]، محیط‌های بادی [۱۰]، رسوب‌های دریایی [۵] و مخروط‌افکنه‌ها و از نظر زمانی در زمان‌های مختلف زمین‌شناسی از پرکامبرین تا کواترن [۱۱] شناخته شده‌اند. بررسی پالئوسل‌ها دارای کاربردهای فراوانی در تفسیر محیط‌های رسوبی و تحلیل‌های چینه‌شناسی [۵]، تحلیل شرایط بوم‌شناسی [۱۲] و بررسی مجموعه‌های گیاهی و جانوری [۴] در زمان‌های گذشته است. پالئوسل‌ها توسط مک و همکاران [۱۳] براساس حضور کانی‌های پایدار و ویژگی‌های ریخت‌شناختی به انواع مختلفی مانند آرزیلیتی،

مواد سخت نشده‌ی حاصل از هوازدهی سنگ‌ها که بر روی سنگ بستر تشکیل شده، خاک خوانده می‌شوند [۱]. توده‌های خاک را می‌توان بر پایه ویژگی‌های کانی‌شناسی، فیزیکی، شیمیایی و زیستی به افق‌هایی با ضخامت‌های متفاوت تفکیک و بر مبنای این ویژگی‌ها رده‌بندی کرد [۲،۳]. به گروهی از خاک‌ها که پس از تشکیل در زیر رسوب‌های آبرفتی، لس‌ها و نهشته‌های آتشفشانی مدفون شده و در مقابل هوازدهی و فرسایش محفوظ می‌مانند، پالئوسل یا خاک‌فسیل گفته می‌شود [۴،۵]. پالئوسل‌ها طی وقفه‌های رسوبگذاری تشکیل می‌شوند و تشکیل آن‌ها به طور کلی به نوع سنگ بستر،

آهن‌دار، کلسیتی یا کالکریتی رده‌بندی شده‌اند.

کالکریت‌ها دارای انباشت‌های فراوانی از کربنات کلسیم با خاستگاه خشکی‌زاد است که از طریق سیمانی شدن ذرات خاک به وسیله‌ی کربنات کلسیم در شرایط آب و هوایی خشک تا نیمه‌خشک با میانگین بازندگی ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال تشکیل می‌شوند. کالکریت‌ها از نظر محتوای مواد زیستی به دو نوع α (بدون شواهد زیستی) و β (دارای شواهد زیستی) تقسیم می‌شوند [۱۴]. پالئوسل‌های کالکریتی مهم‌ترین نشانگرهای رخنمون‌های نیمه‌سطحی، سطوح پایدار زمین-ریختی و نواحی نیمه‌فعال در سامانه‌های آبرفتی هستند [۱۵].

پالئوسل‌های منطقه خوش‌بیلاق با موقعیت جغرافیایی ۵۰' ۳۶° عرض شمالی و ۲۳' ۵۰° طول شرقی در فاصله‌ی ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان آزادشهر و ارتفاع ۱۵۰۰ متری از سطح دریا واقع شده‌اند (شکل ۱). این پالئوسل‌ها در سازند پادها با سن دونین قرار دارند [۱۶] و تاکنون بررسی‌های دقیق و جامعی روی آن‌ها انجام نشده است. در این مقاله، این پالئوسل‌ها بر پایه‌ی مشاهدات صحرایی، بررسی‌های میکروسکوپی و داده‌های زمین‌شیمیایی مورد بررسی قرار گرفته و درباره‌ی شرایط تشکیل و خاستگاه آن‌ها اظهار نظر شده است.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی با تغییرات از [۳۴]. موقعیت زون زمین ساختی- رسوبی البرز در بخش شمالی نقشه‌ی ایران و موقعیت نیمرخ‌های مورد بررسی بر روی نقشه زمین‌شناسی نشان داده شده‌است.

روش بررسی

برای شناخت ماهیت کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی پالئوسل‌های خوش‌ییلای، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی به انجام رسید. در بخش صحرایی، کلیه ویژگی‌های ساختی و بافتی پالئوسل‌ها و چگونگی ارتباط آنها با طبقات بستر و سنگ پوشش در راستای سه نیم‌رخ عمود بر لایه‌بندی بررسی شدند و از بخش‌های مختلف به روش‌های کلک‌خه‌ای و تکه‌ای نمونه-برداری به عمل آمد. بررسی‌های آزمایشگاهی شامل بررسی‌های بافتی، کانی‌شناسی و تجزیه شیمیایی روی پالئوسل‌ها و سنگ

دیواره انجام گرفت. بررسی‌های بافتی و کانی‌شناسی به روش-های مرسوم میکروسکوپی روی ۲۸ مقطع نازک انجام شد. شناسایی کانی‌های مجهول در ۶ نمونه به روش پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود انجام گرفت (جدول ۱). برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، تعداد ۷ نمونه به روش فلئوئورسانی پرتو ایکس (XRF) برای اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی و عناصر جزئی Zr, Cu, Cr, Co, V, Ga, Ni و Ba در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود تجزیه شد (جدول ۲).

جدول ۱ شناسایی کانی‌های مجهول در پالئوسل‌های مورد بررسی به روش پراش پرتو ایکس (XRD).

شماره نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
P1-3	کوارتز، کلسیت، میکروکلین	آلیت، کلریت، دولومیت
P1-4	کوارتز، کلسیت، دولومیت	آلیت، میکروکلین
P1-8	کوارتز	آلیت، میکروکلین، کلسیت، دولومیت، هماتیت، مونتموریلونیت، سریسیت، اپلیت
P1-11	کوارتز، کلسیت	سریسیت، هماتیت
P1-15	کوارتز، ارتوکلاز، دولومیت، آلیت	مونتموریلونیت، کلریت، سریسیت، اپلیت
P1-16	کوارتز، کلسیت، میکروکلین	آلیت، اپلیت، هماتیت، کانولینیت

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی و شاخص‌های هوازدگی شیمیایی در پالئوسل‌های منطقه‌ی مورد بررسی. مقادیر اکسیدهای اصلی و جزئی به روش فلئوئورسانی پرتو ایکس (XRF) اندازه‌گیری شده است.

شماره نمونه	P1-3	P1-4	P1-8	P1-11	P1-15	P1-16	P1-19
(Wt%) SiO ₂	۵۷٫۹۸	۵۵٫۲۸	۶۲٫۸۲	۵۷٫۵۷	۵۶٫۹۱	۵۷٫۲۸	۵۱٫۴۲
TiO ₂	۰٫۷۳	۰٫۳۱	۰٫۴۷	۰٫۷۸	۰٫۸۵	۰٫۶۴	۲٫۶۶
Al ₂ O ₃	۱۱٫۹۲	۵٫۸۹	۱۱٫۶۷	۱۰٫۲۱	۱۴٫۶۰	۱۱٫۱۳	۱۶٫۸۷
Fe ₂ O ₃	۲٫۷۴	۲٫۵۹	۳٫۲۲	۵٫۳۹	۲٫۹۰	۴٫۶۴	۱۰٫۹۱
MnO	۰٫۲۸	۰٫۸۶	۰٫۴۵	۰٫۹۵	۰٫۳۱	۰٫۳۵	۰٫۵۱
MgO	۵٫۹۹	۵٫۶۴	۵٫۴۱	۰٫۹۲	۹٫۱۱	۳٫۶۴	۴٫۱۲
CaO	۶٫۹۴	۱۲٫۷۱	۴٫۰۳	۱۰٫۴۴	۲٫۶۴	۸٫۱۶	۴٫۱۴
Na ₂ O	۰٫۳۹	۰٫۱۲	۰٫۶۳	۰٫۱۷	۰٫۲۱	۰٫۴۲	۲٫۹۸
K ₂ O	۳٫۵۳	۱٫۷۳	۳٫۴۹	۳٫۴۱	۴٫۹۳	۴٫۱۹	۳٫۲۳
P ₂ O ₅	۰٫۲	۰٫۰۹	۰٫۱۰	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۱۷	۰٫۸۷
L.O.I	۹٫۲۶	۱۵٫۲۰	۷٫۵۲	۱۰٫۶۴	۷٫۲۴	۹٫۲۷	۲٫۸۷
Zr (ppm)	۲۸۵	۱۶۵	۳۰۴	۱۸۲	۲۳۲	۲۵۵	۳۴۶
Cu	۱۷۶	۲۷	۱۶	۹	۷۷	۱۶	۶
Cr	۵۸	۲۳	۲۷	۲۸	۸۹	۴۶	۴
Co	۳	۱	۱	۳	۲	۲	۱
V	۱۰۳	۴۲	۷۶	۱۰۰	۱۴۹	۸۸	۲۵۱
Ga	۱۴	۱۰	۱۶	۱۳	۲۰	۱۳	۱۸
Nb	۱۱	۲۳	۱۶	۳	۲۴	۱۶	۳۱
Ni	۶۲	۴۵	۵۳	۵۲	۸۷	۶۳	۳۶
Ba	۶۲۰	۳۶۶	۶۳۵	۱۷۱	۳۷۳	۴۰۳	۶۸۳
CIA index	۵۲	۲۸	۵۸	۴۲	۶۵	۴۷	۶۱
MgI index	۶۶	۵۱	۶۸	۹۱	۶۱	۷۵	۸۰

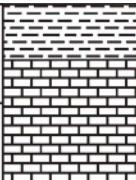
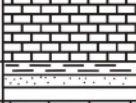
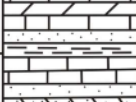
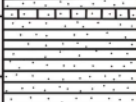
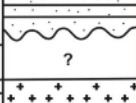
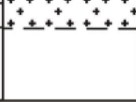
زمین‌شناسی و چینه‌شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی از نظر زمین‌شناسی به زون زمین-ساختی- رسوبی البرز وابسته است (شکل ۱). این زون که به نظر لاسمی [۱۷] بر اثر برخورد گندوانا و اورازیا در اواخر تریاس تشکیل شده است، با پهنای ۱۰۰ کیلومتر و درازای ۲۰۰۰ کیلومتر با راستای شرقی- غربی در شمال ایران قرار گرفته است و ارتفاع آن از ۵۰۰۰ متر در مناطق مرتفع تا ۲۸- متر در خط ساحلی خزر در تغییر است. ویژگی‌های رسوبی و چینه‌شناسی در سرتاسر این زون یکنواخت نبوده و از این‌رو به سه زیر زون البرز شرقی، البرز مرکزی و البرز غربی تقسیم شده است. منطقه‌ی مورد بررسی به زیر زون البرز شرقی وابسته است و در آن مجموعه‌ای از سنگ‌های با سن سیلورین تا کرتاسه رخنمون دارد (شکل ۱).

قدیمی‌ترین واحد رخنمون یافته در منطقه‌ی مورد بررسی واحد آتشفشانی سازند سلطان‌میدان متشکل از بازالت‌ها و آندزیت‌های با سن سیلورین است که با ناپیوستگی فرسایشی با سازند پادها پوشیده شده است (شکل ۲). بازالت‌های این سازند دارای بافت پورفیری و تراکیتی است و به طور کلی از پلاژیوکلاز با اندازه‌ی ۰/۳ میلی‌متر و فراوانی بیش از ۵۰ درصد

تشکیل یافته است. بلورهای درشت پیروکسن که اغلب به کلریت دگرسان شده‌اند از کانی‌های اصلی سنگ محسوب می-شوند. پیریت‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار از کانی‌های فرعی هستند که بر اثر فرآیندهای سطحی به اکسیدهای آهن ثانویه تبدیل شده‌اند.

سازند پادها با سن دونین تحتانی- میانی به طور کلی از سه رخساره‌ی اصلی شامل رخساره‌ی مخروط‌افکنه‌ای متشکل از کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سیلت‌سنگ در بخش پایینی، رخساره‌ی دشت سیلابی متشکل از ماسه‌سنگ و شیل در بخش میانی و رخساره‌ی دریاچه‌ای متشکل از قطعات آتشفشانی، سیلیسی و کربناتی در بخش بالایی تشکیل یافته است [۱۶]. رخساره‌های دشت سیلابی و دریاچه‌ای که تنها رخساره‌های دارای رخنمون در منطقه‌ی مورد بررسی هستند، دارای افق‌های پالئوسل هستند. سازند پادها با گذر تدریجی به طبقات ماسه‌سنگی، شیلی و سنگ‌آهکی سازند خوش‌یلاق با سن دونین میانی- بالایی تبدیل می‌شود. سازند خوش‌یلاق که از گسترش وسیعی در منطقه‌ی مورد بررسی برخوردار است، به تدریج به سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه‌ی سازند مبارک با سن کربونیفر تبدیل می‌شود (شکل ۲).

CARBONIFEROUS	LOWER	Viséan		Mobarak FM.: Limestone and shaly limestone
		Tournaisian		
DEVONIAN	UPPER	Famennian		Khosheylagh FM.: Sandstone, limy sandstone and dolomitic limestone
		Frasnian		
	MIDDLE	Givetian		Padeha FM.: Sandstone and quartzite sandstone
		Eifelian		
		Emsian		
	LOWER	Pragian		Soltan meidan FM.: Basalt, andesite and tuff
		Lochkovian		
SILURIAN	UPPER	Pridoli		
		Ludlow		
		Wenlock		
SILURIAN	LOWER	Llandvery		

شکل ۲ ستون چینه‌شناسی در منطقه‌ی خوش‌یلاق، اقتباس از [۱۶، ۳۵].

بحث و بررسی

ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی

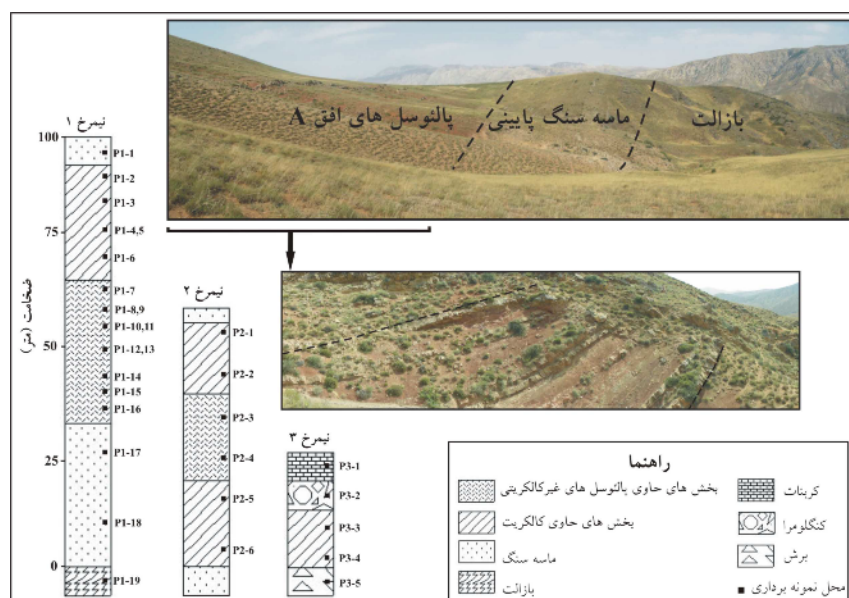
بر اساس بررسی‌های صحرایی، افق‌های پالئوسل در منطقه‌ی مورد بررسی در دو رخساره‌ی دشت سیلابی و دریاچه‌ای دیده می‌شوند که در این مقاله به ترتیب به نام پالئوسل‌های افق A و پالئوسل‌های افق B نام‌گذاری شده‌اند. برای بررسی ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی این دو افق، دو نیمرخ زمین‌شناسی در رخساره‌ی دشت سیلابی و یک نیمرخ در رخساره‌ی دریاچه‌ای مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳).

پالئوسل‌های افق A

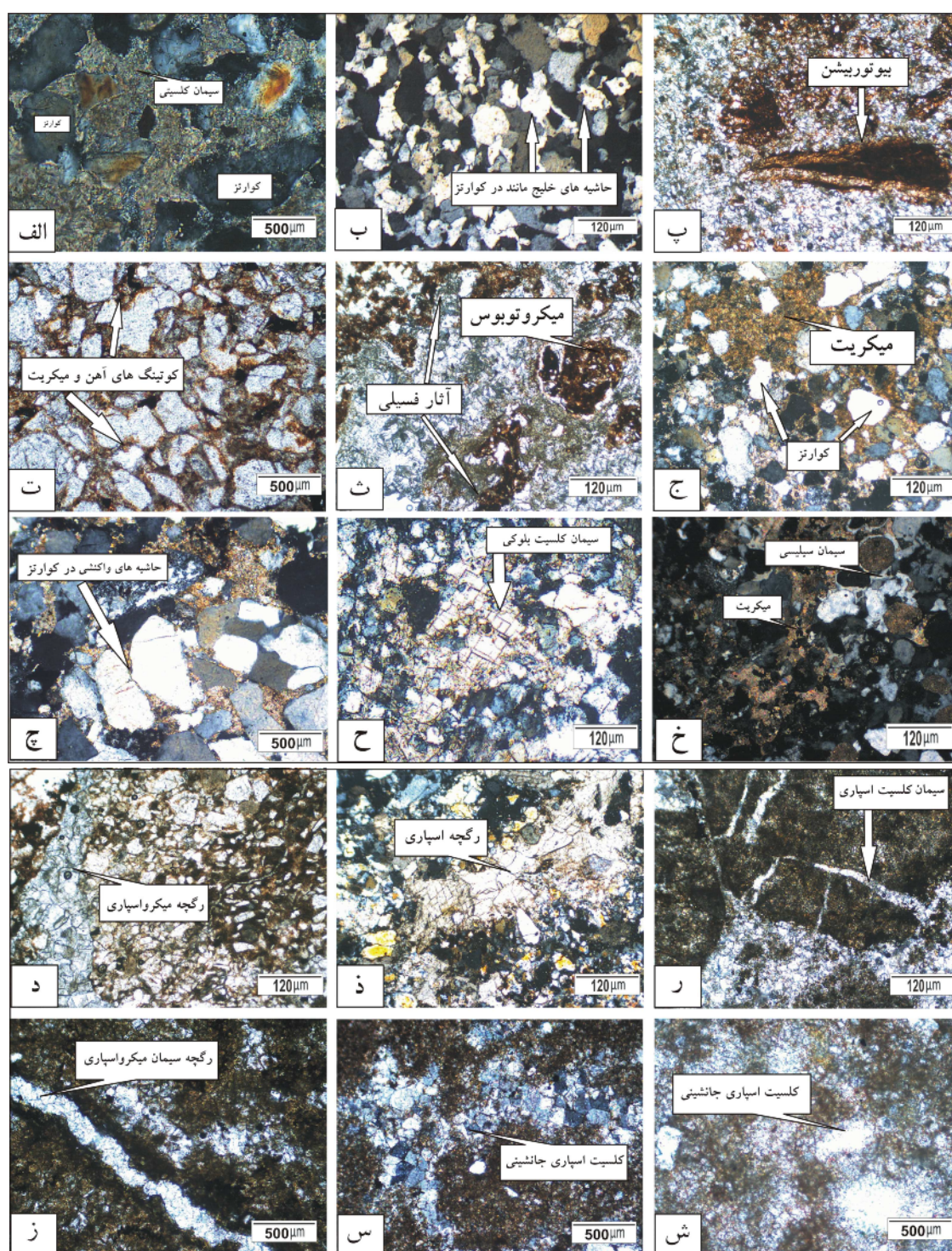
حدود ۴۰ تا ۷۰ متر از نیمرخ‌های مورد بررسی در رخساره‌ی دشت سیلابی واقع در بخش میانی سازند پادها حاوی پالئوسل-هایی به رنگ ظاهری قرمز است که روی طبقات ماسه‌سنگی قرار گرفته و با یک افق ماسه‌سنگ کوارتز آرنایتی پوشیده شده است. ماسه‌سنگ‌های زیرین دارای رنگ ظاهری شیری تا کرم بوده و به طور کلی از کانی‌های تک بلورین کوارتز با اندازه‌ی ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر و فراوانی ۶۰ تا ۷۰ درصد تشکیل یافته که دارای جورشدگی و گردشدگی متوسط بوده و با کلسیت اسپاری سیمانی شده است (شکل ۴-الف). برخی از دانه‌های کوارتز در این ماسه‌سنگ‌ها دارای حاشیه‌های خلیجی است (شکل ۴-ب) و توسط اهری‌پور و همکاران [۱۶] برای آن‌ها خاستگاه آتشفشانی در نظر گرفته شده است. ماسه‌سنگ‌های

بالایی با رنگ ظاهری سفید تا خاکستری مشخص می‌شوند و به طور کلی از کوارتزهای درشت دانه با اندازه ۰/۱ تا ۰/۵ میلی-متر با جورشدگی خوب تشکیل یافته است و دارای میکروکلین و قطعات سنگی به عنوان اجزای فرعی و سیمانی از کلسیت هستند. کوارتز، کلسیت، دولومیت، میکروکلین، هماتیت، آلبیت، سرپسیت، ایلیت، کلریت و مونتموریلونیت از کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی پالئوسل‌های افق A هستند که به روش پراش پرتو ایکس شناسایی شدند.

براساس شواهد میکروسکوپی، پالئوسل‌های افق A از دو بخش کالکریتی و غیرکالکریتی تشکیل یافته است. پالئوسل-های غیرکالکریتی با حضور بافت‌های با آشفستگی زیستی و پوششی اکسیدهای آهن [۱۸] شناسایی شدند. آشفستگی زیستی (شکل ۴-پ) در نتیجه‌ی به هم‌ریختگی ساختار رسوب‌ها طی فعالیت‌های موجودات زنده که منجر به انباشت اکسیدهای آهن می‌شود، به وجود می‌آید [۱۹]. وجود دانه‌های کوارتز با گردشدگی کم تا متوسط و آشفستگی زیستی در پالئوسل‌های منطقه‌ی مورد بررسی نشان دهنده‌ی انرژی کم در محیط تشکیل آن‌هاست. تلفیق این نتایج با یافته‌های زمین-شناسی پیشنهادکننده‌ی تشکیل پالئوسل‌های مورد بررسی در محیط‌های کم‌شیب و با فاصله‌ی زیاد از مخروط افکنه‌های دشت سیلابی است که با نتایج اهری‌پور و همکاران [۱۶] همخوانی دارد. پوشش اکسیدهای آهن با وجود پوشش نازکی



شکل ۳ ستون چینه‌ای سه نیمرخ مورد بررسی و تصاویر صحرایی آن‌ها. نیمرخ‌های ۱ و ۲ در بخش میانی سازند پادها و نیمرخ ۳ در بخش بالایی این سازند واقع شده‌است.



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی از پالئوسل‌های افق A و B در منطقه مورد بررسی. الف) ماسه‌سنگ آهکی در بخش پایینی پالئوسل، ب) کوارتز آرنایت با جورشدگی و گردشدگی متوسط، پ) بافت آشفته زیستی یا بیوتوربیشن در ماسه‌سنگ کوارتزوکی، ت) کوتینگ‌های اکسید آهن، میکريت و رس در اطراف دانه‌های کوارتز، ث) میکروتوبوس و آثار فسیلی، ج) بافت میکریتی در بین دانه‌های کوارتز، چ) کوتینگ میکریتی و حاشیه‌های جانیشینی در اطراف دانه‌های کوارتز، ح) سیمان کلسیتی بلوکی، خ) سیمان سیلیسی که قطعات کاملاً گرد شده میکريت را در بر گرفته‌اند به همراه بافت میکریتی، د، ذ) رگچه‌های حاوی کلسیت اسپاری و رگچه اسپاری، ر) برش برجا دارای قطعات زاویه‌دار آهکی که با کلسیت اسپاری سیمانی شده‌اند، ز) رگچه حاوی کلسیت اسپاری در سنگ آهک، س، ش) جانیشینی کلسیت میکرواسپاری در بطن سنگ آهک (تصاویر ت، ث، د، ش در نور عبوری عادی و بقیه تصاویر در نور عبوری قطبیده گرفته شده‌اند).

[۲۴]. در برخی از نمونه‌های مورد بررسی، حضور توأم سیمان سیلیسی و کلسیتی در اطراف دانه‌های کوارتز و گاه انباشت‌های میکریته مشاهده شدند (شکل ۴-ج). تشکیل سیمان سیلیسی (شکل ۴-خ) را می‌توان به حضور آب‌های زیرزمینی ابر اشباع از سیلیکا نسبت داد که بر اثر انحلال فشاری ماسه‌سنگ‌های بالایی به سمت پایین مهاجرت کرده‌اند [۲۴].

رگچه‌های اسپاری حاوی کلسیت‌های با اندازه بیش از ۰/۵ میلی‌متر و رگچه‌های میکرواسپاری کلسیتی در اغلب نمونه‌های مورد بررسی شناسایی شدند (شکل ۴-د، ز). به نظر می‌رسد این رگچه‌ها بر اثر انقباض توده‌های خاک طی دوره‌های متناوب خشک و مرطوب تشکیل شده‌اند.

برخی از دانه‌های کوارتزی موجود در پالئوسل‌های مورد بررسی دارای شواهدی از جانشینی با کلسیت است (شکل ۴-چ). این پدیده که در پالئوسل‌های کالیفرنیا نیز شناسایی شده است [۲۵] نتیجه‌ی برهم کنش محلول‌های تحت اشباع از سیلیکا با دانه‌های کوارتز و نهشت کلسیت است.

پالئوسل‌های افق B

پالئوسل‌های افق B که به طور کلی از کانی‌های کوارتز و کلسیت تشکیل یافته در بخش بالایی سازند پادها قرار دارند و با ماسه‌سنگ، سنگ‌آهک و کنگلومرا پوشیده شده‌اند. برشی-شدن قطعات میکریته، رگچه‌های کلسیت اسپاری و تشکیل کلسیت‌های میکرواسپاری به صورت جانشینی و در بطن کانی-های دیگر از شواهد وجود پالئوسل‌های کالکریته [۱۱] در این افق است. قطعات میکریته برشی شده با ابعاد چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر و پرشدگی فضای خالی برش‌ها با کلسیت اسپاری (شکل ۴-ر) نشان دهنده‌ی فعالیت ریشه‌ی گیاهان، انحلال و تبلور کلسیت طی دوره‌های متناوب مرطوب و خشک است. رگچه‌های حاوی کلسیت اسپاری با ضخامت بیش از ۲۰ میکرون در برخی از نمونه‌های مورد بررسی یافت شدند (شکل ۴-ز). کلسیت‌های میکرواسپاری با اندازه ۱۰ تا ۵۰ میکرون به صورت جانشینی دیده می‌شوند که به بهای از بین رفتن کانی‌های دیگر تشکیل شده‌اند (شکل ۴-س، ش).

ویژگی‌های زمین‌شیمیایی

رفتار عناصر طی فرآیندهای هوازدهی به طور کامل قابل پیش-بینی نیست و تحت تأثیر عواملی مانند زمان، نوع سنگ خاستگاه، آب و هوا، توپوگرافی، pH و Eh محیط قرار دارد [۲۶، ۲۷]. با پیشرفت فرآیندهای هوازدهی شدت جدایش

از هماتیت‌های ریز دانه در پیرامون دانه‌های کوارتز مشخص می‌شود (شکل ۴-ت) و پیشنهادکننده‌ی تفاوت در شرایط احیایی و زهکشی نامناسب خاک طی دوره‌های خشکی است [۲۰]. یکی از ویژگی‌های قابل توجه پالئوسل‌های غیرکالکریته در منطقه‌ی مورد بررسی وجود شواهدی از مواد آلی است که با حضور میکروتوبوس^۱هایی با ابعاد ۲ میلی‌متر و حفره‌های حاصل از فعالیت موجودات (آثار فسیل اسکونیا^۲) (شکل ۴-ث) مشخص می‌شود. میکروتوبوس‌ها بر اثر پرشدن بخش‌های درونی اسفنج‌ها با رسوب‌ها و حفظ بخش‌های خارجی آن‌ها توسط پوسته‌هایی با خاستگاه باکتریایی تشکیل می‌شود [۱۱].

پالئوسل‌های کالکریته با بافت میکریته، سیمان کلسیتی، رگچه‌های اسپاری و میکرواسپاری، جانشینی کوارتز با کلسیت، حاشیه‌های واکنشی در دانه‌های کوارتز [۱۱] و سیمان سیلیسی [۲۱] شناسایی شدند. این شواهد نشان دهنده‌ی وجود کالکریته‌های غیرآلی یا نوع α [۱۸] در منطقه‌ی مورد بررسی است. بافت میکریته با وجود انباشته‌های بسیار ریزدانه کلسیت و دولومیت شناسایی شد (شکل ۴-ج) که در اغلب کالکریته‌های قدیمی [۲۲] نیز گزارش شده است. در برخی از نمونه‌های مورد بررسی، پوشش‌های میکریته متشکل از انباشته‌های ریزدانه کربناتی و کانی‌های رسی در اطراف دانه‌های کوارتز مشاهده شد (شکل ۴-ت). این بافت که از بافت‌های رایج در کالکریته‌ها محسوب می‌شود، نشان‌دهنده‌ی مراحل اولیه کالکریته‌شدن است [۱۱]. این بافت توسط قازانچی و همکاران [۲۰] در پالئوسل‌های ناهارخوران گرگان شناسایی شده است که وجود آن را به فروشت رس طی دوره‌های مرطوب و نهشت آن طی دوره‌های خشک نسبت داده‌اند. وجود بافت میکریته، پوششی میکریته و پوششی اکسیده‌های آهن در منطقه‌ی مورد بررسی، از ویژگی پالئوسل‌های چند خاستگاهی و پیشنهادکننده‌ی چندین دوره تکاملی است [۲۳].

سیمان کلسیتی در کالکریته‌ها شامل انواع میکریته، دروزی و بلوکی است [۱۱]، که در منطقه‌ی مورد بررسی سیمان‌های کلسیتی میکریته (شکل ۴-چ) و بلوکی (شکل ۴-ح) شناسایی شد. تشکیل سیمان‌های کلسیتی نتیجه‌ی افزایش غلظت یون کربنات در محلول‌های منفذی بر اثر تبخیر آب‌های زیرزمینی در منطقه وادوز یا در نزدیکی سطح زمین است

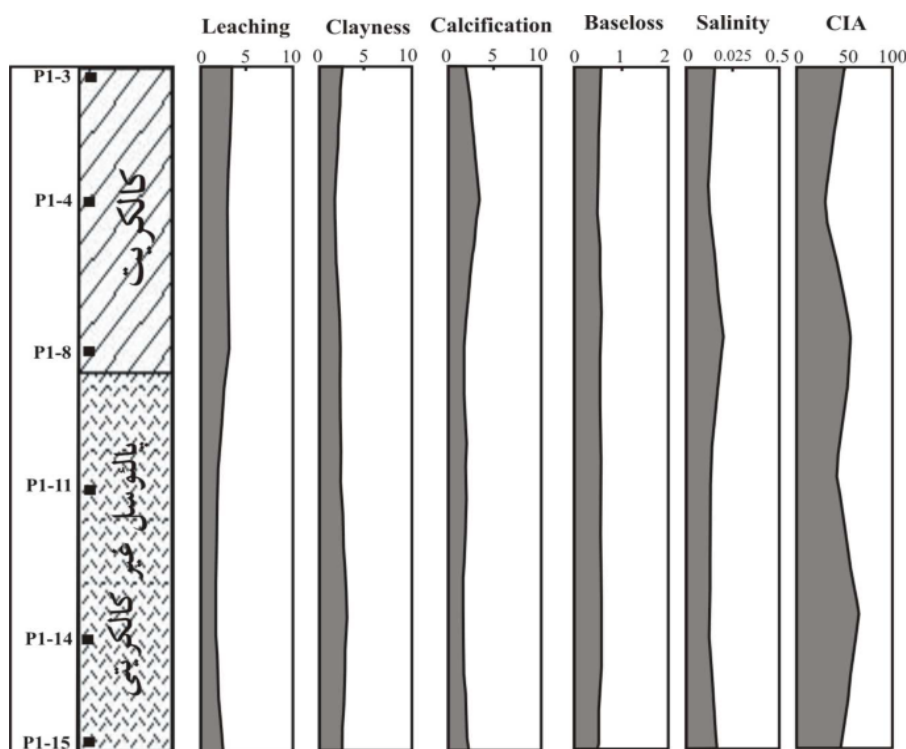
1- Microtubus
2- Scoyenia

می‌شود. Na_2O در مقایسه با اکسیدهای دیگر دارای روند افزایشی در بخش کالکریتی است که نشانگر شسته شدن آن طی فرآیندهای هوازدگی است. بررسی تغییرات غلظت عناصر جزئی مانند Zr ، V و Ce نشان دهنده‌ی شستشوی عناصر V و Ce از بخش‌های بالایی نیمرخ و تمرکز آن در بخش‌های پایینی است. غلظت Zr به عنوان یک عنصر نامتحرک تغییرات زیادی را نشان نمی‌دهد.

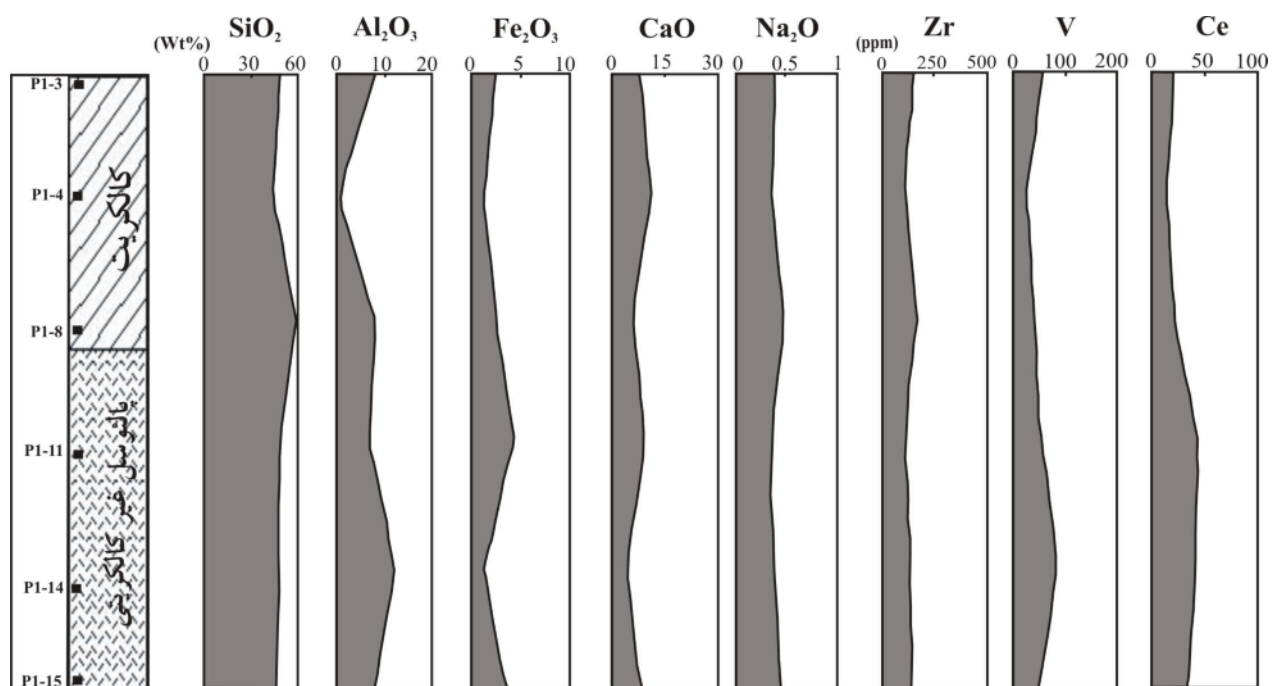
برای بررسی هرچه بهتر تغییرات غلظت اکسیدهای اصلی، تعیین شدت هوازدگی و ارزیابی چگونگی فرآیندهای خاکزایی از معیارهای مختلف زمین‌شیمیایی استفاده شد. یکی از معیارهای مورد استفاده، محاسبه‌ی نسبت‌های مولکولی هوازدگی [۲۹،۴] برای اکسیدهای اندازه‌گیری شده و چگونگی تغییرات آن در نیمرخ مورد بررسی است (شکل ۶). شاخص‌های انباشت رس ($\text{Clayness} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$) و تهی‌شدگی کاتیون‌های بازی ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) = $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$ + MgO + Na_2O + K_2O) برای بررسی غنی‌شدگی اکسید آلومینیوم و شدت هوازدگی مورد استفاده قرار می‌گیرند که به دلیل عدم تغییرات معنی‌دار در پالئوسل‌های افق A، نشان‌دهنده‌ی هوازدگی ضعیف، شستشوی ناقص عناصر متحرک و عدم تشکیل

عناصر از یکدیگر افزایش می‌یابد و عناصر متحرک موجود در خاک با گردش آب‌های جوی فرورو شسته شده و با انتقال به بخش‌های پایینی و ایجاد شرایط مناسب نهشته می‌شوند. در مقابل، عناصر نامتحرک وارد محلول‌های فرورو نمی‌شوند و با تبدیل به ترکیبات جدید در شرایط سطحی پایدار می‌مانند.

بررسی تغییرات غلظت عناصر در پالئوسل‌های افق A نشان‌دهنده‌ی تغییرات کم و بیش مشابه اکسیدهای Al_2O_3 و SiO_2 در نیمرخ مورد بررسی است (شکل ۵). رفتار مشابه این دو اکسید و عدم جدایش آن‌ها از یکدیگر پیشنهاد کننده‌ی شرایط هوازدگی ضعیف تا متوسط است [۲۸]. مقدار SiO_2 در بخش میانی نیمرخ مورد بررسی دارای افزایش معنی‌دار است و از نظر کانی‌شناسی منطبق بر حضور کانی‌های کوارتز، آلبیت، میکروکلین و مسکویت است (جدول ۱). بررسی تغییرات مقدار Fe_2O_3 نشان‌دهنده‌ی روند افزایشی این اکسید از سطح به عمق و به ویژه در بخش میانی نیمرخ مورد بررسی است که با حضور هماتیت و کلریت در مجموعه‌ی کانی‌شناسی همخوانی دارد و نشان‌دهنده‌ی هوازدگی ناهوازی است. غلظت CaO به دلیل تمرکز دوباره در بخش کالکریتی به طور ناگهانی افزایش یافته و با فراوانی کلسیت در مجموعه کانی‌شناسی مشخص



شکل ۵ نمودارهای تغییرات غلظت اکسیدهای SiO_2 ، Al_2O_3 ، Fe_2O_3 ، CaO ، Na_2O و عناصر جزئی Zr ، V ، Ce در پالئوسل‌های افق A.



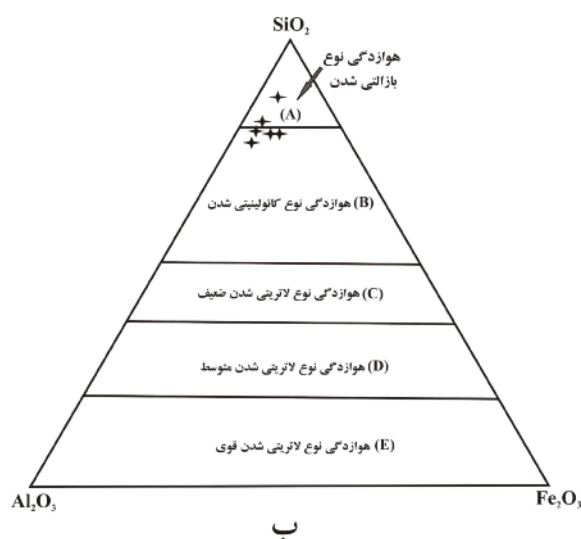
شکل ۶ نمودارهای تغییرات نسبت‌های مولکولی و شاخص شیمیایی دگرسانی (CIA = $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 100 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) در پالئوسل‌های افق A.

بر هوازده نشدن سنگ‌ها، ۵۰ تا ۶۰ بر هوازده‌گی متوسط و بیش از ۸۰ بر هوازده‌گی شدید شیمیایی سنگ‌ها دلالت دارد [۳۰]. این شاخص در منطقه‌ی مورد بررسی از ۲۸ تا ۶۵ درصد (با میانگین ۴۸/۶۶) در تغییر است (جدول ۲). مقادیر بسیار کم CIA اشاره به نهشت دوباره‌ی کلسیت در بخش کالکریتی دارد. در صورت حذف CaO از رابطه‌ی CIA، مقدار این شاخص دارای میانگین ۷۲/۶۶ خواهد بود که دلالت بر هوازده‌گی متوسط دارد. شاخص $\text{MgI} = \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 100 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{MgO})$ به محاسبه‌ی هوازده‌گی مؤثر شیمیایی می‌پردازد و مقادیر بیش از ۷۵ بیانگر هوازده‌گی شدید شیمیایی است. این شاخص در منطقه‌ی مورد بررسی از ۵۱ تا ۹۱ در تغییر است. وجود پالئوسل‌های کالکریتی در منطقه‌ی مورد بررسی و پایین بودن شاخص CIA در مقایسه با MgI دلالت بر نهشت دوباره‌ی کلسیت در بخش کالکریتی دارد.

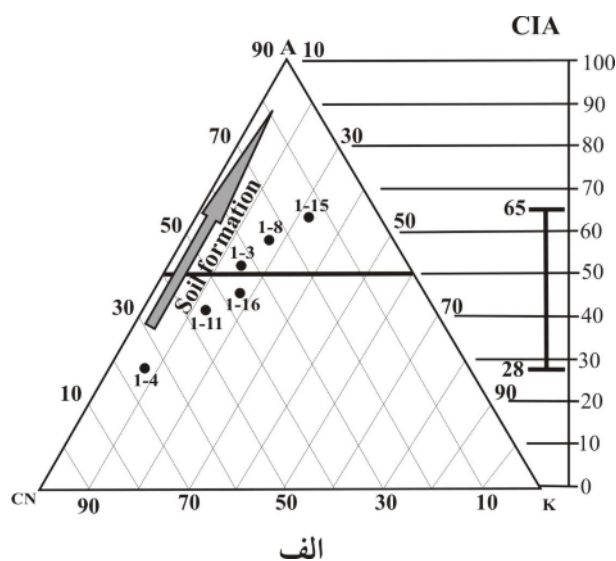
روش دیگری که از آن برای نشان دادن مقدار CIA استفاده شد، رسم نمودار مثلثی A-CN-K [۳۰] است که بر اساس مقادیر $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O}) - \text{K}_2\text{O}$ ترسیم می‌شود. در این نمودار (شکل ۷-الف) تمامی نمونه‌های وابسته به پالئوسل‌های مورد بررسی به دلیل هوازده‌گی ضعیف تا متوسط و

گسترده‌ی کانی‌های رسی در منطقه‌ی مورد بررسی هستند. بررسی شاخص شوری ($\text{Salinity} = \text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O}$) بیانگر افزایش مقادیر آن در بخش‌های میانی و پایینی افق پالئوسل ناشی از فروشست Na_2O است. شاخص کلسیتی‌شدن ($\text{Calcification} = \text{CaO} + \text{MgO} / \text{Al}_2\text{O}_3$) که معرف افزایش CaO است، در بخش بالایی پالئوسل افزایش یافته و با تشکیل پالئوسل‌های کالکریتی در این بخش منطبق است. شاخص شستشو ($\text{Leaching} = \text{Ba} / \text{Sr}$) که به عنوان معیاری برای بررسی میزان شستشوی خاک به کار می‌رود، نشان‌دهنده‌ی کاهش آن به سمت پایین است و دلالت بر کاهش شستشو از سطح به عمق دارد. بر اساس تمور و همکاران [۲۷] باریم در این شرایط همراه با کلسیت در بخش کالکریتی تمرکز یافته و استرانسیم به سمت پایین فروشسته می‌شود و همراه با MgO در کانی‌های کلریت و مونتموریلونیت تمرکز می‌یابد (جدول ۲). برای تعیین شدت هوازده‌گی از دو شاخص هوازده‌گی شیمیایی (CIA = Chemical Index of Alteration) و شاخص هوازده‌گی مؤثر شیمیایی ($\text{MgI} = \text{Mg Index}$) استفاده شد. شاخص CIA ($\text{CIA} = \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 100 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) برای بررسی هوازده‌گی شیمیایی به کار می‌رود و مقدار آن از ۰ تا ۱۰۰ تغییر می‌کند [۱۲]. مقادیر کمتر از ۵۰

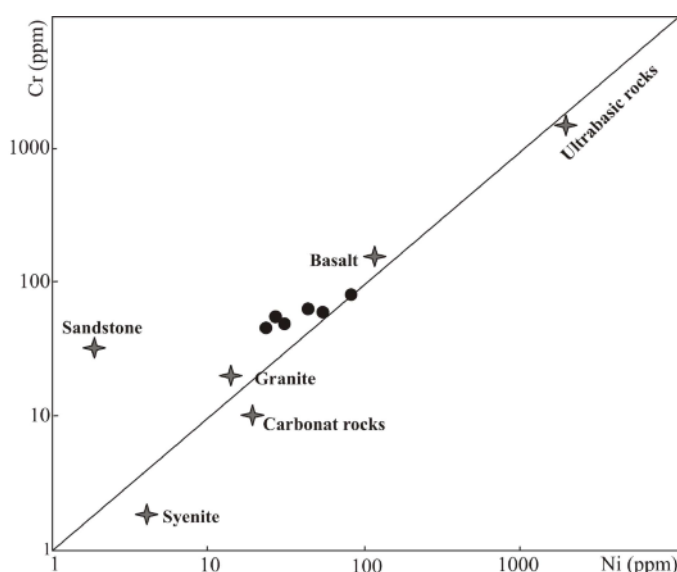
در گستره‌ی هوازدگی نوع بازالتی شدن و کائولینیتی شدن قرار می‌گیرند (شکل ۷-ب). بررسی تغییرات غلظت Ni نسبت به Cr [۳۲] پیشنهادکننده سنگ خاستگاه بازالتی برای پالتوسل-های منطقه مورد بررسی است که با شواهد صحرایی و رخنمون گسترده بازالت‌های سلطان میدان در این منطقه سازگار است (شکل ۸).



نهشت کلسیت ثانویه در بخش کالکریتی، دارای روند خطی موازی با ضلع A-CN هستند. به دلیل افزایش مقدار K_2O در بخش پایینی نیمرخ، نمونه‌های وابسته به این بخش به سمت ضلع A-K متمایل شده‌اند که با حضور کانی‌های سربسیت و ارتوز در مجموعه کانی‌شناسی همخوانی دارد. برای تعیین نوع دگرسانی از نمودار مثلثی شلمن ($SiO_2-Al_2O_3-K_2O$) استفاده شد [۳۱]. بر اساس این نمودار، نمونه‌های مورد بررسی



شکل ۷ الف) نمودار مثلثی $A(Al_2O_3)-CN(CaO + Na_2O) - K(K_2O)$ [۳۰] برای پالتوسل‌های منطقه مورد بررسی و قرارگیری آن‌ها در گستره‌ی هوازدگی ضعیف تا متوسط، ب) نمودار سه‌تایی شلمن ($Al_2O_3-SiO_2-Fe_2O_3$) [۳۱] برای تعیین نوع هوازدگی پالتوسل‌های افق A.



شکل ۸ نمودار تغییرات غلظت Ni نسبت به Cr برای تعیین سنگ مادر پالتوسل‌های منطقه خوش‌بیلاق. نمونه‌های پالتوسل با دایر توپر نشان داده شده‌اند. نمودار پایه از [۳۲].

برداشت

پالئوسل‌های منطقه‌ی مورد بررسی روی سنگ بستر بازالتی سازند سلطان‌میدان و درون رخساره‌های دشت سیلابی و دریاچه‌ای سازند پادها با سن دنین آغازی- میانی قرار گرفته - است. بازالت‌های سلطان‌میدان در یک حوضه کافتی درون قاره‌ای در زمان سیلورین و بر اثر ایجاد پالئوتتیس تشکیل شده است [۱۷]. این بازالت‌ها بلافاصله پس از تشکیل و به دلیل نبود رسوبگذاری و ایجاد شرایط مناسب از قبیل افزایش دما و CO_2 [۳۳] دستخوش هوازدگی شده است که نتیجه‌ی آن شستشوی عناصر متحرک، تمرکز عناصر نامتحرک و تشکیل افق‌های پالئوسل بوده است. بر اساس نمودار Cr-Ni (شکل ۸)، بازالت‌های سلطان‌میدان را می‌توان به عنوان سنگ مادر پالئوسل‌های منطقه‌ی مورد بررسی در نظر گرفت. این نتایج با استفاده از نتایج کانی‌شناسی مبنی بر حضور کانی‌های ایلیت و مونتموریلونیت در مجموعه‌ی کانی‌شناسی پالئوسل‌ها که دارای خاستگاه آتشفشانی هستند، و نیز قطعات بازالتی در کالکریت‌ها [۱۶] تایید می‌شود.

بررسی شاخص هوازدگی شیمیایی (CIA)، عدم جدایش SiO_2 و Al_2O_3 از یکدیگر و عدم تغییر مشخص و معنی‌دار در مقادیر اکسیدهای اصلی و جزئی، نشان‌دهنده‌ی رخداد هوازدگی ضعیف تا متوسط در منطقه‌ی مورد بررسی است. حضور پالئوسل‌های غیر کالکریتی، افزایش مقدار MgO و حضور کلریت و کائولینیت در بخش پایینی پالئوسل‌های افق A نشانگر افزایش سطح آب، ایجاد شرایط احیایی کوتاه مدت و سپس هوازدگی شدیدتر و زهکشی مناسب است که با حضور هماتیت به صورت پوششی و آشفته‌گی زیستی مشخص می‌شود و دلالت بر حاکم بودن شرایط آب و هوایی گرم و نیمه‌مرطوب دارد. بخش میانی تا بالایی افق A با حضور کالکریت‌های قرمز-رنگ، سیمانی شدن و تشکیل رگچه‌های کلسیتی مشخص می‌شود که نشان‌دهنده‌ی شرایط آب و هوایی گرم و خشک و افزایش مقدار CaO در منطقه وادوز است. بالاترین بخش پالئوسل‌های افق A با حضور سیمان سیلیسی مشخص می‌شود که می‌تواند بیانگر وجود شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب باشد [۲۱]. این نتایج پیشنهاد دهنده‌ی نوسان‌های آب و هوایی طی تشکیل پالئوسل‌های افق A است. پالئوسل‌های افق B که از نوع کالکریتی و دارای بافت برشی و غنی از رگچه‌های کلسیت اسپاری است، در شرایط آب و هوایی گرم و خشک تشکیل شده‌اند. رنگ قرمز پالئوسل‌های مورد بررسی را می‌توان

به تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آزدایی گوتیت و تبدیل آن به هماتیت در محیطی با زهکشی مناسب طی دوره-های خشک و مرطوب نسبت داد که باعث ایجاد ماتریکس قرمز رنگ در پالئوسل‌ها شده است.

علیرغم وجود شواهدی از فعالیت‌های زیستی در بخش غیر کالکریتی پالئوسل‌های افق A که با حضور میکروتوبوس و اثرهای فسیلی مشخص می‌شود، به نظر می‌رسد با توجه به فراوانی بسیار کم این نوع شواهد، تشکیل پالئوسل‌های مورد بررسی در منطقه‌ای با فعالیت‌های زیستی محدود رخ داده است. عدم وجود شواهد زیستی در بخش کالکریتی پالئوسل-های مورد بررسی نیز مؤید این فرضیه است و از این رو می‌توان این کالکریت‌ها را از نوع کالکریت‌های α [۱۴] در نظر گرفت.

مراجع

- [1] Bates R. L., Jackson J. A., "Dictionary of geological terms", 3rd edition, New York, (1984) 571p.
- [2] Birkeland P. W., "Soils and geomorphology", 3rd edition, New York (1984) 430p.
- [3] Jenny H., "Factors of soil formation; a system of quantitative pedology", Dover, New York, (1994) 281p.
- [4] Retallack G. J., "Soils of the Past: An Introduction to paleopedology", Unwin Hyman, Boston, (1990) 520p.
- [5] Kraus M., "Paleosols in clastic sedimentary rocks: their geologic applications", Earth-Science Reviews 47 (1999) 41-70.
- [6] Retallack G. J., "The fossil record of soils. IN - Paleosols: Their Recognition and Interpretation", Princeton University Press, (1986) 1-57.
- [7] Tandon S. K., Good A., Andrews J. E., Dennis P. F., "Palaeoenvironments of the dinosaur-bearing Lameta Beds Maastrichtian, Narmada Valley, Central India", Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol 117 (1995) 153-184.
- [8] Tandon S. K., Gibling M. R., "Calcretes at sequence boundaries in upper Carboniferous cyclothems of the Sydney Basin, Atlantic Canada", Sediment Geol 112 (1997) 43-67.
- [9] Arndorff L., "Lateral relations of deltaic palaeosols from the Lower Jurassic Ronne Formation on the Island of Orholm, Denmark", Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol 100 (1993) 235-250.
- [10] Soreghan G.S., Elmore R.D., Katz B., Cogoini M., Banerjee S., "Pedogenically enhanced

- [23] Duchaufour P., "Pedology: pedogenesis and classification", George Allen & Unwin, London, (1982) 448p.
- [24] موسوی حرمی ر.م.، محبوبی ا.، "سنگ‌شناسی رسوبی" (ترجمه)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، (۱۳۸۵) ۴۹۳ ص.
- [25] Leyva S. M., Ramirez P. C., "Development and Distribution of Lateritic Paleosols in the Paleogene Silverado Formation, San Joaquin Hills", Long Beach, California, (2000) 60p.
- [26] Ohmoto H., "Evidence in pre-2.2 Ga paleosols for the early evolution of atmospheric oxygen and terrestrial biota", *Geology* 24 (1996) 1135-1138.
- [27] Temur S., Orhan H., Deli A., "Geochemistry of the Limestone of Mortas Formation and Related Terra Rossa, Seydisehir, Konya, Turkey", *Geochemistry International* 47 (2009) 67-93.
- [28] Sposito, G., "The Chemistry of Soils", Oxford: Oxford University Press (1989) 277 p.
- [29] Mitchell R. L., Sheldon N. D., "Weathering and paleosol formation in the 1.1Ga Keweenaw Rift", *Precambrian Research* 168 (2009) 271-283.
- [30] Nesbitt H. W., Young G. W., "Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites", *Nature* 299 (1984) 715-717.
- [31] Schellmann W., "A new definition of laterite. In: Banerji, P.K. (Ed.), *Laterization processes*", Geological Survey of India, Memoir 120 (1986) 11-17.
- [32] Mongelli G., Acquafredda A., "Ferruginous concretions in a Late Cretaceous karst bauxite: composition and conditions of formation", *Chemical Geology* 158 (1999) 315-320.
- [33] Mahmudy gharaie M. H., Matsumoto R., Atsumoto Kakuwa Y., Paul G., "Late Devonian facies variety in Iran: volcanism as a possible trigger of the environmental perturbation near the Frasnian-Famennian boundary", *Geological International* 48 (2004) 323-332.
- [34] جعفریان م.، جلالی ا.، "نقشه زمین‌شناسی خوش‌یلاق به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۳).
- [35] Wendt J., Kaufmann B., Belka Z., Farsan N., Karimibavadpur A., "Devonian/Lower Carboniferous stratigraphy, facies patterns and palaeogeography of Iran", *Acta Geologica Polonica* 55 (2005) 31-97.
- magnetic susceptibility variations preserved in Paleozoic loessite, *Geology* 25 (1997) 1003-1006.
- [11] Flugel E., "Microfacies of Carbonate Rocks", Springer, Germany, (2004) 750p.
- [12] Maynard J. B., "Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols", *Journal of Geology* 100 (1992) 279-289.
- [13] Mack H. G., James W. C., Monger H. C., "Classification of paleosols", *Geological Society of American Bulletin* 105 (1993) 129-136.
- [14] Wright V. P., "A micromorphological classification of fossil and recent calcic and petrocalcic microstructures", Elsevier, Amsterdam, (1990) 401p.
- [15] Wright V. P., Tucker M. E., "Calcretes: an introduction", Blackwell, Oxford, (1991) 1222p.
- [16] Aharipour R., Moussavi R., Mosaddegh H., Mistiaen B., "Facies features and paleoenvironmental reconstruction of the Early to Middle Devonian syn-rift volcano-sedimentary succession (Padeha Formation) in the Eastern-Alborz Mountains, NE Iran", *Facies* 56 (2010) 279-294.
- [۱۷] لاسمی ی.، "رخساره‌ها، محیط‌های رسوبی و چینه نگاری سکansı نهشته‌های سنگ‌های پرکامبرین بالایی و پالئوزویک ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، شماره ۷۸ (۱۳۷۹)، ۱۸۰ ص.
- [18] Alonso-Zarza A. M., Tanner L. H., "Continental Sequence Stratigraphy and Continental Carbonates", Elsevier, Netherlands, (2010) 215-273.
- [19] Richard A., "The Regolith Glossary, surficial geology, soils and landscapes", Cooperative Research Centre for Landscape Evolution and Mineral Exploration, (2001) 152p.
- [۲۰] قازانچی ر.، پاشایی ا.، خرمالی ف.، ایوبی ش.، "بررسی برخی خصوصیات میکرومورفولوژیک یک توالی لس-پالئوسول نهارخوران گرگان"، *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان*، شماره دوم (۱۳۸۷).
- [21] Chen X. Y., Lintern M. J., Roach I. C., "Calcrete: Characteristics, Distribution and use in Mineral Exploration", Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploration, Western Australia, (2002) 170p.
- [22] Khadkikar A.S., "Elemental composition of calcites in Late Quaternary pedogenic calcretes from Gujarat, Western India". *Journal of Asian Earth Sciences* 25 (2005) 893-902.