



گزارش زمین‌شناسی نقشه ۱:۱۰۰,۰۰۰ سلطان‌آباد

موقعیت جغرافیایی و ژئومورفولوژی
موقعیت ورقه زمین‌شناسی سلطان‌آباد، با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ در شمال خاوری کشور (استان خراسان) قرار دارد. این ورقه در جنوب خاوری ورقه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰,۰۰۰ سبزوار و در محدوده میان طولهای جغرافیایی خاوری ۰۰' ۵۸° تا ۳۰' ۳۶°، عرضهای جغرافیایی شمالی ۰۰' ۳۶° تا ۳۰' ۳۶°، جایی گرفته است.

بزرگترین روستای این منطقه، سلطان‌آباد است که مرکز بخش خوشاب بوده، و در فاصله ۴۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان سبزوار واقع شده است. سایر روستاهای مهم این منطقه عبارتند از: همت‌آباد، معدن بالا، گرماب، نسک، بتو، سلیمانی، نورآباد، فیض‌آباد، شورگشت، فدیشه، حسین‌آباد، جنگل، یحیی‌آباد و زعفرانیه.

مهمترین راههای ارتباطی این منطقه جاده آسفالتی مشهد-سبزوار-تهران و جاده قدیم مشهد-سبزوار و راه آسفالتی سلطان‌آباد به اتوبان مشهد-قوچان است. راههای شوسه نیز ارتباط میان روستاهای این منطقه را انجام پذیر می‌نماید. راه آهن مشهد-تهران از دشتی گسترده، در شمال ورقه، می‌گذرد.

از آنجا که سلطان‌آباد (بخش خوشاب) در کناره کویر است، آب و هوایی گرم و خشک دارد. تنها رودخانه اصلی آن رود کال شور است، که در بخش جنوبی ورقه از خاور به باختر در جریان است. بخش خوشاب، دارای دشتهای گسترده‌ای است که برای کشاورزی مناسب هستند. محصولات کشاورزی آن شامل: گندم، جو، چغندر قند، پنبه، صیفی‌جات و . . . می‌باشند.

از دیدگاه زمین‌ریخت‌شناسی منطقه سلطان‌آباد از دو برونزد اصلی، یکی نوار افیولیتی سبزوار و دیگری بخش کوچکی از دامنه جنوبی ارتفاعات پهنه زمین‌ساختی بینالود، هر دو با روند شمال‌باختری-جنوب خاوری و همچنین دشتهای گسترده پوشاننده گستره میان دو برونزد یاد شده و بخش جنوبی ورقه پدید آمده است. بلندترین نقطه ارتفاعی منطقه، ۱۹۴۹ متر از سطح دریا بلند است و در بلندی‌های زون بینالود جایی گرفته است.

برونزدهای سنگی، در برگزیده نهشته‌های آواری-رسوبی (آواری و کربناته)، سنگهای آذرین (آتشفشانی و نفوژی)، آذر آواری (توف و آگلومرا) و مجموعه افیولیتی هستند. بخش‌های شیلی و مارنی دارای توپوگرافی پست، ماسه سنگهای آذر آواری و پریدوتیت‌ها (به ویژه بخش‌های سرپانتینی‌شده) توپوگرافی میانه، اما برخی سنگهای آتشفشانی از مجموعه افیولیتی و همچنین سنگهای آهکی، توپوگرافی بلند دارند.

دشتهای سیلابی پای ارتفاعات، از نهشته‌های مخروط افکنه پدید آمده‌اند. این نهشته‌ها را در دامنه جنوبی افیولیت‌ها و کوه‌های شمال خاوری، می‌توان گواه بود. پادگان‌های آبرفتی جوان و کهن (Q^{11} و Q^{12}) نیز گسترشی به نسبت زیاد دارند. درون بخش‌های Q^{12} ، زمینهای

کشاورزی وسیعی گسترش دارند که در نقشه سلطان آباد تفکیک شده اند. پهنه های رسی Q^{cf} و تپه های ماسه ای Q^{sd} ، حاصل فرسایش رخنمونهای سنگی پیرامون هستند و در بخش جنوبی ورقه گسترش دارند.

زمین شناسی عمومی منطقه

بخشی از زون زمین ساختی بینالود و نوار افیولیتی سبزوار در نقشه سلطان آباد جای دارند. از اینرو در اینجا اشاره ای به ویژگیهای زمین شناختی آنها می شود:

زون بینالود، یکی از زونهای زمین ساختی ایران به شمار می رود، که در امتداد رشته بلندیهای البرز است و روندی خاوری- باختری دارد. اما به سوی باختر روند آن شمال باختری- جنوب خاوری می شود. در مورد این زون گمان هایی گوناگون ابراز شده است. اشتوکلین این زون را در شمار واحد البرز می داند. در حالیکه افتخارنژاد (۱۳۵۹) رشته بلندی های باختر بینالود را به واحد ایران مرکزی وابسته می داند. نبوی (۱۳۵۵) زون بینالود را بعنوان یک زون تدریجی میان البرز و ایران مرکزی به شمار می آورد. در این بررسی، تنها بخشی اندک از دامنه جنوبی این زون را، در شمال خاور نقشه با گسترشی نه چندان زیاد، گواہ خواهیم بود.

نوار افیولیتی سبزوار، در شمار افیولیت های کشیده شده گرداگرد ایران مرکزی است. اشتوکلین (۱۹۷۴) همه این افیولیت ها را بنام نوارهای حلقوی می خواند، که خرد قاره مرکز و خاور ایران را فراگرفته اند. این همان قاره ای است که تکین (۱۹۷۲) آنرا ورقه قاره ایران مرکزی نامید. و امروزه مرزهای آن به وسیله گسلها و افیولیت های نواری شکل مشخص است.

به عقیده اشتوکلین (۱۹۷۴)، مقدمه تشکیل اقیانوس باریک در پیرامون خردقاره ایران مرکزی در ژوراسیک آغاز شد. وی این اقیانوس را شاخه ای از گودال اقیانوسی زاگرس- عمان می پندارد، که بتدریج از جنوب به شمال بازر می شده و بیشترین گسترش آن در کرتاسه پایانی بوده است. در این زمان خردقاره ایران مرکزی در پیکر زمینی کوچک هستی وجود داشت که از هر سو در برابر شستشو و فرسایش اقیانوس های پیرامونی اطراف قرار داشته است (اشتوکلین، ۱۹۷۴b).

فرایند جایگزینی افیولیت ها در کرتاسه پایانی همزمان با کوهزایی آلپ انجام شده است و در شمال و مرکز ایران با چین خوردگی و کوهزایی همراه بوده است. حرکات کوهزایی فاز لارامید، در جنوب و خاور ایران، به بالازدگی لبه ها و کناره های نوار افیولیتی انجامیده است. که در عین حال با فرونشینی محور میانی گودال همراه بوده است. این رخداد باعث انباشتگی نهشته های بسیار ستر در انوسن شده است (اشتوکلین، ۱۹۷۴b).

در منطقه مورد بررسی، نهشته های آواری (کنگومرا، ماسه سنگ، شیل، کربنات، مارن گچ دار و مارن نومولیت دار) و آذر آواری (انواع توفها) بر جای گذاشته شده اند.

سن نهشته های یاد شده از پالئوسن تا پلیوسن است. این حوضه رسوبی، نخست کم ژرفا بوده و سپس در طول انوسن ژرفتر شده است. در الیگوسن، همزمان با رخداد پیرینه، تکاپوی آتشفشانی آندزیتی انجام شده است. دوباره پس از وقفه ایجاد شده، در رسوبگذاری، در روند دوره میوسن و اوایل پلیوسن نهشته های مارنی قرمز و مارن گچ دار و گچ و نمک در این حوضه رسوبی، پدیدار شده اند.

در مجموعه افیولیتی پدید آمده در محدوده نقشه سلطان آباد همه اعضا یک ردیف افیولیتی را می توان دید. اما ترتیب جای آنها بدلیل جایگزینی تکتونیکی، بهم خورده و درهم ریخته شده است. در افقی ویژه بر روی توده پریدوتیتی سرپانتینی شده بر جای مانده هایی از سفره-

هاي روراندي ديده ميشوند. اين برجاي مانده ها شامل: گابرو، ديوريت، دياباز، بازاليت بالشي، چرت راديولردار، آهك پلاژيك گلوبوترونكانادار هستند، كه با مرز خرد شده و برشي شده (Sheared) و بيريجه، بر روي توده پريدوتيي جاي گرفته اند. در مرز شمالي بخش پريدوتيي، يكسري سنگهاي بازالتي غير بالشي و آگلوئرا با برونزدهاي برجسته آهك پلاژيك (واحد ولكانوسديمانتري) يافت ميشود كه مرز آنها با پريدوتيتها روراندي است. در واحد ياد شده پنجره هاي تكتونيكي (Tectonic Windows) پرشمار و بسيار كوچك و ناگنجيدي در مقياس منظور ما در نقشه برداري از پريدوتيت، به چشم ميخورند.

در شمال خاور منطقه مورد بررسي، سنگهاي آتشفشاني آندزيتي و تراكي آندزيتي بهمراه آگلوئرا حضور دارند، كه در مقاله اي تحت عنوان :
Geochemistry of the post-ophiolitic tertiary volcanics between sabzevar and Quchan/NE IRAN
نگاشته شده در صفحه ۲۴۷ گزارش شماره ۵۱ سازمان زمين شناسي و اكتشافات معدني كشور توسط (A.Mihm, G.Lensch O.spies (1983)، تحليل و تفسير شده اند.

در اين مقاله نمونه هايي از اين سنگها، در هشت نمودار گوناگون پلات شده و در تعبير و تفسير نمودارها سنگهاي ياد شده به سري كالكوآلكالن نسبت داده شده اند. اين پژوهشگران، سنگهاي آتشفشاني را از افيلوليت پنداشته و بعنوان نوار آتشفشاني مشكان شناسانده اند و حضورشان را با جايگزيني افيلوليتها وابسته دانسته اند، اين گفته واپسين و ديگر گواهان ياد شده، نشان از جايگزيني اين افيلوليتها در اثر همگرابي و برخورد ليتوسفر اقيانوسي باريك با ليتوسفر قاره اي واقع در حاشيه شمالي اقيانوس و فرارانش بخشي از ليتوسفر اقيانوسي به سوي جنوب باختر، بر روي لبه خرد قاره ايران مركزي، است.

در طي پليوكواترنر، فرسايش رخنمونهاي سنگي انجام شده و كنگلومراي جوان و نهشته هاي آبرفتي كهن و جوان پديد آمده اند. چين خوردگي اين كنگلومرا نشان از تكاپوي فاز كوهزايي پاسادنين در اين منطقه دارد.

چينه نگاري:

رخنمونهاي گستره چهارگوش سلطان آباد وابسته به همه دورانهاي زمين شناسي هستند. در زير به شرح مختصري درباره هريك از اين دورانها مي پردازيم:

الف) ديرينه زيستي (Paleozoic)

- واحد دگرگوني (Pz): اين واحد مجموعه اي درهم رخته و تكتونيزه و تفكيك ناشدني از سنگ آهك، ماسه سنگ و شيل دگرگون شده با رنگ خاكستري تا كرم است كه در هسته يك تا قديس نامتقارن جاي گرفته است. بر اثر پديده دگرگوني سنگ آهك موجود به مرمري با نوارهاي خاكستري و سفيد تبديل شده است، اين آهكهاي دگرگون شده صخره سازند و بلندترين نقطه ارتفاعي ورقه سلطان آباد در آنها جاي دارد. در ماسه سنگها كاني هاي ميكايي تكوين و توسعه يافته اند و شيستوزيته ضعيفي را نشان مي دهند. كاني اصلي آنها كوارتز است كه به دليل تحمل فشار خاموشي موجي نشان مي دهد. تيغكهاي سريسيست و مسكويت زيادي در زمينه سنگ يافت ميشود و فضاي ميان آنها را كوارتز ريزبلور پر کرده است. رگچه هاي كربنات آغشته به اكسيد آهن نيز در سنگ ديده ميشود. بخش شيلي نيز به اسليت تبديل شده است. درون مجموعه ياد شده بودين هاي كوارتز شيري رنگ (Quartz budings) نيز ديده ميشود. اين نوع كوارتز محصول دگرگوني است. از آنجائيكه اين واحد متحمل دگرگوني شده، نمونه هاي كنودونت و

پلینولوژی پاسخی درباره سن این واحد نداده‌اند. از این رو با توجه به ویژگی‌های سنگ شناختی و چینه شناختی؟ سن واحد یاد شده، به گمان، پالئوزوئیک در نظر می‌گیریم. مرز واحد پالئوزوئیک با واحدهای ائوسن پیرامون گسله است و به دلیل درهم ریختگی زیاد و مرزهای گسله، ستبرای راستین واحد مشخص نیست.

- واحد شیلی (O^{sh}): این واحد از شیل‌های سبز زیتونی و خاکستری رنگ با توپوگرافی ملایم پدید آمده است. شیستوزیته ضعیف آنها نشان از تحمل دگرگونی است. این رخداد دگرگونی موجب تغییر رنگ پالینومورفها، در رنگ قهوه‌ای تا سیاه در این سنگها نیز شده است.

نمونه‌های گزیده شده برای بررسی‌های مطالعه پالینولوژیکی در بردارنده فسیل‌های پالینومورف زیر هستند:

-Chitinozoa, Cono chitina sp., Sphaerochitina sp.

- Acritarch

با توجه به فسیل‌های پالینومورف یاد شده سن این واحد اردوئین است.

واحدهای پالئوزوئیک در شمال خاوری منطقه بررسی شده (تاق‌دیس سلیمانی) گسترش دارند.

(ب) میانه زیستی (Mesozoic)

۱- کرتاسه زیرین و زیرین (L. & U. Cretaceous)

- واحد آهک اربیتولین‌دار (K_1^1): این واحد از طبقات سنگ آهک اربیتولین‌دار خاکستری رنگ با لایه بندی ستر در یک ساختمان ناودیس به نسبت کوچک، در خاور روستای رباطی شاهزاده، یافت می‌شود. با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی سنگ آهک یاد شده «بیواینترامیکرواسپاریت» (Bioi-intra microsparite) است. مرز زیرین این واحد با کنگلومرای ائوسن بگونه‌ای گسله است. در محل این مرز خردشدگی سنگ آهک و فراوانی واریزه‌های آهکی واحد یاد شده بخوبی دیده می‌شود.

فسیل‌های مشروح زیر در این واحد وجود دارند:

Orbitolina sp., Cunelina sp., Dictyoconus sp., Nummuloculina sp.

با توجه به فسیل‌های یاد شده سن این واحد کرتاسه زیرین (آپسین - آلبن) تعیین می‌شود. بدلیل مرز گسله این واحد با واحد ائوسن زیرش، ستبرای راستین آن شناخته نیست.

- واحد توفی (K_1^t): این واحد از توف‌های بلورین، (Crystal tuff) با رنگ سبز مایل به آبی (فیروزه‌ای) و در پیکر طبقات با لایه‌بندی متوسط و دانه‌بندی متوسط پدید آمده است. درون ساختمان ناودیس خاور روستای رباطی شاهزاده، بخشی از این توف‌ها یک درمیان با واحد آهک اربیتولین‌دار (واحد پیشین) و بخشی بزرگتر از آن بر روی آهک یاد شده جای دارد. از اینرو در لژاند نقشه سنگ آهک اربیتولین‌دار و بخش یک درمیان یا تناوبی توف را به کرتاسه زیرین و بخش جای گرفته توف روی آهکها را به کرتاسه بالایی (با خط مرز چین) نسبت داده شده است.

- واحد آهکی (K_2^1): این واحد از سنگ آهک میکریتی ماسه‌ای خاکستری تا قهوه‌ای رنگ (Sandy bio-microsparite) به شدت تکتونیزه و سرشار از ماکروفسیل‌های رها شده (اسامی این فسیل‌ها در زیر آمده‌اند) و با

لایه‌بندی متوسط تا ستر پدید آمده است. مرز این واحد با کنگلومرای ائوسن گسله است. گسترش آن محدود به شمال خاور ورقه در جنوب روستای رباطی و همچنین شمال روستای سلیمانی است. در جنوب روستای رباطی مرز هر دو واحد آهک کرتاسه و کنگلومرای ائوسن با سنگهای بالادست خود، یعنی واحد کنگلومرای ائوسن (EC)، گسله است. تمام طبقات یاد شده، شیب به سوی شمال خاور دارند.

فسیل‌های یافت شده در این واحد عبارتند از : میکروفسیل:

Lenticulina sp., *Microcodium* sp., *Rotalia* sp.

ماکروفسیل:

Gyrostrea sp., *Inoceramus* cf. *crippsi* (Mantle), *Ostrea* sp.

با توجه به فسیلهای بالا، سن واحد آهکی یاد شده کرتاسه بالایی است.

۲- کرتاسه زیرین (Upper cretaceous)

مجموعه افیولیتی:

افیولیت‌ها بعنوان بقایای لیتوسفر اقیانوسی قدیمی شناخته می‌شوند، بگونه‌ای تکتونیکی جایگزین شده‌اند. هر ردیف افیولیتی از دو بخش گوشته (Mantle) و پوسته (Crust) پدید آمده است و بترتیب از پائین به بالا شامل: پریدوتیت، تکتونیت‌ها، گابرو، دیاباز، بازالت بالشی (گناه اسپیلیتی شده)، چرت رادیولردار، آهک پلاژیک گلوبوترونکانادار هستند. جایگزینی تکتونیکی افیولیت‌ها، در بیشتر موارد سامان یاد شده را به هم می‌ریزد.

افیولیت زون سبزوار در شمار افیولیت‌های نوار حلقوی پیرامون خرد قاره مرکز و خاور ایران است. رویداد ریفتینگ و زایشی اقیانوس باریک حاشیه خردقاره در دوره ژوراسیک رخ داده است (برپایه باور اشتوکلین، ۱۹۷۴، این اقیانوس باریک شاخه‌ای از گودال اقیانوسی زاگرس- عمان است) و در روند مزوزوئیک این قاره یک چرخش خلاف حرکت عقربه‌های ساعت داشته است. در کرتاسه حرکت کردن ورقه عربستان به سوی شمال خاور به بسته شدن این اقیانوس انجامیده و افیولیت‌های کنار شمال خاور این خردقاره بر روی پوسته قاره‌ای جایگزین شده‌اند.

فرورانش لیتوسفر اقیانوسی به سوی شمال خاور رخ داده است (شواهد پرشماری برای چنین سازوکاری در منطقه هست که در مبحث تکتونیک به تفصیل آمده است). در روند این رخداد، بخشی از لیتوسفر اقیانوسی در پیکره ورقه‌ای به سوی جنوب باختر، بر روی یکدیگر، رانده شده‌اند. آن چنان که در افقی ویژه بر روی بخش پریدوتیتی سرپانتینی شده بر جای مانده‌هایی از واحدهای رانده شده (بصورت سفره‌های راندگی بازالت بالشی ± چرت رادیولردار ± آهک پلاژیک گلوبوترونکانادار ± دیاباز و گابرو) با مرز خرد شده و برشی شده (تراستی) را می‌توان مشاهده کرد. در اینجا مجموعه افیولیتی در دو بخش:

الف- سنگهای دگرگونه سلطان‌آباد

ب- واحدهای متشکله افیولیت

بررسی می‌شود.

الف- سنگ‌های دگرگونه سلطان‌آباد:

سنگ‌های دگرگونی یاد شده در جنوب- جنوب باختر و باختر سلطان‌آباد (کوه‌های گوین و چپلی) گسترش دارند. آنها بطورکامل، وابسته به مجموعه افیولیتی سبزوار هستند. از آنجا که فراورده حاصل دگرگونی

بخش‌هایی (اندکی) قدیمی‌تر (از دیدگاه زمانی) لیتوسفر اقیانوسی فرا رانده شده هستند، پس در پائین ردیف سنی مجموعه افیولیتی جای می‌گیرند. این سنگ‌های دگرگونی در سه رخساره به شرح زیر گسترش دارند.

- رخساره شیست سبز (mt1): این رخساره دگرگونی از گسترشی به نسبت خوب پدید آمده است. و در برگرفته اپیدوت کلریت مسکویت شیست، اپیدوت ترمولیت اکتینولیت شیست و مرمر (رخساره شیست سبز) هستند. بودن اکتینولیت درون سنگ‌های این رخساره و همیافتی آن با آمفیبولهایی دارای پلی کروئیسیم سبز-آبی، نشان از این دارد که یک زون انتقالی از رخساره شیست سبز به اپیدوت آمفیبولیت وجود دارد.

این رخساره در کوه گوین گسترش دارد و همیافت کانیایی (Mineral assemblage) آن بصورت زیر است:

- ۱- مسکویت + سریسیت + آل‌بیت + کوارتز + کلریت + اپیدوت.
 - ۲- کلریت + تره‌مولیت + اکتینولیت + اپیدوت + آل‌بیت + گلوکوفان + کوارتز.
- (حالت تدریجی رخساره شیست سبز و شیست آبی را نشان می‌دهد).
- ۳- آل‌بیت + تره‌مولیت + اکتینولیت + هورنبلند (سبز-آبی) + اپیدوت + کلریت + کوارتز.
- (حالت تدریجی رخساره شیست سبز و رخساره اپیدوت آمفیبولیت را نشان می‌دهد).

- رخساره اپیدوت آمفیبولیت (mt2): این رخساره در برگرفته اپیدوت هورنبلند شیست و گارنت مسکویت شیست (رخساره اپیدوت آمفیبولیت) است. وجود مسکویت در متابازالتهای رخساره اپیدوت آمفیبولیت نشانه فشار بالاست که به دلیل وابستگی این سنگ‌های دگرگونی با زون فرورانش است. با حضور گلوکوفان شیست (واحد mt3) نیز این مطلب تأیید می‌شود. گسترش این واحد را در کوه‌های گوین و چیلی می‌توان گواه بود. مجموعه کانی‌های (Mineral assemblage) این رخساره چنین است:

- ۱- هورنبلند + اپیدوت + آل‌بیت + کوارتز.
- ۲- گارنت + مسکویت + کوارتز.

- رخساره شیست آبی (mt3): این رخساره در برگرفته گلوکوفان شیست (رخساره شیست آبی) یعنی شرایط فشار بالا حرارت پائین (حاکم در زونهای فرورانش) است. شیست‌های آبی مجموعه دگرگونی سلطان‌آباد بصورت چند رخنمون محدود به دو گسل راندگی در کوه گوین حضور دارد.

مجموعه همیافت کانیایی (Mineral assemblage) این رخساره چنین است:

گلوکوفان + کلریت + آل‌بیت + اپیدوت + کوارتز.

شایان یادآوری است که همراه این سنگ‌های دگرگونی یکسری شیست‌های سرپانتینی شده (تالک شیست) و سرپانتینیت، پدید آمده از کانی انتیگوریت، حضور دارند (بگونه‌ای فراگیر، این نوع سرپانتینیت به نسبت کمیاب است). پیدایش انتیگوریت بجای الیوین پدیده‌ای است که با جانشین شدن تره‌مولیت و کلریت، به ترتیب، بجای پیرکسن و اسپنیل همراه است. این تبدیل‌ها نشان دهنده شرایط رخساره شیست سبز °C (۱۵۰ - ۴۵۰) است.

سنگ‌های دگرگونی سلطان‌آباد، مورد یورش یک توده گرانیته (لوکوگرانیته) به نسبت کوچک و چند آپوفیز کوچک مسکویت گرانیته و همچنین چندین گنبد داسیتی وابسته به ترسیر قرار گرفته‌اند. تأثیر این

توده‌های نفوذی بر روی سنگهای میزبان، تنها، بصورت سیلیسی کردن این سنگها، آن هم به فاصله اندک، در پیرامون توده گرانیته است.

ب- واحدهای متشکله افیولیت:

واحدهای متشکله افیولیت، براساسی همان بخش‌های گوناگون ستون افیولیتی هستند، که دچار درهم ریختگی شده و توالی و ترتیب اولیه خود را از دست داده‌اند. و در مواردی حتی به پیکر آمیزه‌های رنگین (ملاژن) در آمده‌اند. سنگهای پریدوتیتی سالم و بخش‌های سرپانتینیتی شده آنها (یعنی واحدهای **lz, hz, sr, sp**) کهن‌ترین بخش‌های ردیف افیولیتی هستند که پیش از کرتاسه بالایی پدید آمده‌اند (برابر لژاند نقشه).

- پریدوتیت سرپانتینیتی شده (**sp**): این واحد با گسترش زیاد، از پریدوتیت (شامل هارزبورژیت و لرزولیت) سرپانتینیتی شده و بشدت تکتونیزه پدیدار شده است. رنگ رخساره، سبز تیره است. بدلیل درهم ریختگی شدید حاصل از سازوکارهای تکتونیکی جدا نمودن بخش‌های سرپانتینیتی شده، در پیکر هارزبورژیت سرپانتینیتی و لرزولیت سرپانتینیتی شده، در مقیاس مورد نظر، ناشدنی می‌نماید. حتی در مواردی بررسی میکروسکوپی نیز نتوانسته نوع پریدوتیت اولیه‌ای را که دچار سرپانتینیتی شدن شده. مشخص سازد. چراکه تنها بقایایی اندک از کانی‌های اولیه (الیوین و پیروکسن) برجای مانده‌اند. و بخش سترگ سنگ سرپانتینت تشکیل می‌دهد. بافت این سنگها مشبک (**Mesh**) است.

- هارزبورژیت (**hz**): این واحد بخش‌های به نسبت سالم پریدوتیت در بردارنده الیوین و ارتوپروکسن است، که درون واحد **sp** جای دارد. رنگ این واحد سیاه و سبز بسیار تیره است. کانی کرومیت، بیشتر در بخش هارزبورژیتی جای دارد. مطالعه میکروسکوپی این سنگها نشان می‌دهد، کانی‌های اصلی متشکله آنها الیوین و ارتوپروکسن به‌مراه کرومیت و اسپینل، بعنوان کانی‌های فرعی، هستند، کانی ثانوی عمده در این سنگها سرپانتین است. بافت چیره در هارزبورژیتها هترومورف دانه‌ای است.

- لرزولیت (**lz**): این واحد با رنگ سیاه و سبز خیلی تیره در داخل واحد **sp** نمود. بررسی‌های میکروسکوپی نشان می‌دهد که کانی‌های اصلی این سنگ الیوین و کلینوپروکسن، به‌مراه کرومیت و اسپینل، بعنوان کانی‌های فرعی، با بافت هترومورف دانه‌ای است. میزان سرپانتین شدن در آنها محدود است و در بیشتر موارد این پدیده را در راستای شکستگی‌های پدید آمده در دانه‌های الیوین می‌توان دید.

- سرپانتینیت (**sr**): این واحد در پیکر بخش‌های با رنگ سبز روشن در درون واحد **sp** دیده می‌شود. در حقیقت بخش‌های به شدت سرپانتینیتی شده پریدوتیتها هستند. بگونه‌ای تقریبی، همه سنگ از سرپانتین پدید آمده است. سرپانتین نوع لیزاردیت، کریزوتیل و آنتیگوریت در مقاطع میکروسکوپی این سنگها دیده می‌شود.

سرپانتینیتها، گاه با افیولیت (سنگی متشکل از قطعات افیولیتی در خمیره‌ای آهکی) همراه هستند. بخشی از سرپانتینیتها همراه با سنگ‌های دگرگونی سلطان‌آباد هستند که هم بصورت توده‌ای (**massive**) و هم جهت یافته (**Oriented**) حضور دارند.

آن چنان که در بالا اشاره شد، پریدوتیت‌های مجموعه افیولیتی سبزوار، از هنوع هارزبورژیت و لرزولیت هستند. از سویی پریدوتیت‌های دنیا در سه گروه هارزبورژیتی، لرزولیتی و حد واسط

قرار می‌دهند (N.Nicolas 1989).

در نوع هارزبورژی بخش گابروئی ستر و لی دایک‌های دیابازی کمتر است. در بردارنده عدسی‌های کرومیت است. محصول سرپانتینی شدن آنها، لیزاردیت است. در برابر نوع لرزولیتی دارای بخش گابرویی نازکتر و لی دایک‌های دیابازی گسترده‌تری است. و عدسی‌های کرومیت است. محصول سرپانتینی شدن آنها، بیشتر لیزاردیت است. در برابر نوع لرزولیتی دارای بخش گابرویی نازکتر و لی دایک‌های دیابازی گسترده‌تری است. و عدسی‌های کرومیت ندارد و محصول سرپانتینی شدن آنها، بیشتر لیزاردیت و آنتیگوریت به همراه افی کلسیت است. در افیولیت سبزوار می‌توان برخی از ویژگی‌های هر دو گونه یاد شده را با هم گواه بود. از این رو، به گمان، این افیولیت‌ها از نوع حد واسط هستند.

- گابرو (gb): این واحد با رنگ خاکستری روشن تا تیره از سنگ‌های گابرو، مونزودیوریت (بخش تفریق یافته‌تر ماگمای گابرویی)، دیوریتیک گابرو و همچنین گابرو پگماتیتوئیدی پدید آمده است. بزرگترین توده گابرویی منطقه را در جنوب باختر روستای نورآباد (کوه پیر) می‌توان گواه بود.

بررسی‌های میکروسکوپی سنگ‌های این واحد نشان می‌دهند که طیفی از گابرو تا دیوریتیک گابرو دارند. کانی‌های اصلی آنها پلاژیوکلاز کلسیت (لابرادوریت- آنورتیت)، کلینوپیروکسن، گاه به همراه کانی‌های اوپاک، آمفیبول و بیوتیت بعنوان کانی‌های فرعی هستند. فرآورده دگرسانی کانی‌ها در برگرنده کلریت، اپیدوت، کلسیت، آمفیبول هستند. سنگ‌های گابرویی در پاره‌ای از بخش‌ها رودنگی شده‌اند. بافت سنگ‌های واحد gb، هترومورف دانه‌ای است.

از لحاظ توالی افیولیتی، گابروها بر روی پریدوتیت‌ها جای دارند. در مجموعه افیولیتی گهگاه، این توالی حفظ شده اما در بیشتر موارد به دلیل گسل خوردگی‌های هنگام جایگزینی، مرز آنها با پریدوتیت‌ها گسله است. این مرز در بیشتر موارد با یک زون خرد شده و برشی شده (Sheared) همراه است. که دلیل آن وجود رختار متناقض میان این دو واحد است.

- دیوریت (dr): این واحد با رنگ خاکستری روشن در برگرنده بخش‌های تفریق یافته‌تر ماگمای گابرویی است. سنگ‌های متشکله این واحد عبارتند از: دیوریت، کوارتز دیوریت و حتی گرانودیوریت. بررسی‌های میکروسکوپی وجود سه سنگ یاد شده را نشان می‌دهند. که به ترتیب میزان کانی کوارتز آنها کاهش می‌یابد و پلاژیوکلازشان سدی‌تر می‌شود و در گرانودیوریت کانی فلدسپات ارتوکلاز نمایان می‌شود. از کانی‌های دیگر موجود در آنها می‌توان هورنبلند، کانی اوپاک، بیوتیت، کلریت و . . . را نام برد.

- دیاباز (db): این واحد از دایک و سیل‌های دیابازی با رنگ سبز خاکستری پدید آمده است. بخش‌هایی که با گسترش به نسبت زیاد در پاره‌ای جاها دیده می‌شود، بدلیل دگرسانی و هوازدگی توپوگرافی ملایمی دارند. و با کمی دقت می‌توان آثار حد و مرز دایک‌هایی که درون یکدیگر تزریق شده‌اند را گواهی دارد. سیل‌های دیابازی بصورت دیواره‌هایی برجسته درون پریدوتیت‌ها دیده می‌شوند، که در اینجا نیز درهم ریخته شده‌اند.

- بازال بالشی (V1): یکی دیگر از پدید آورنده‌های هر ردیف افیولیتی بازالتهای زیردریایی، بالشی شکل (pillow lava) هستند. دگرسانی به نسبت شدیدی را نشان می‌دهند، گهگاه اسپلیتی شده‌اند.

رنگ این واحد سبز تیره و سیاه است. دایکهای دیابازی بعنوان کانال گذرگاه برای بیرون زدن این مواد مذاب بازالتی و فوران در محیط آب عمل می‌کنند. کانی‌های اصلی بازالیت بالشی شامل پلاژیوکلاز (بعضاً آلبیتی شده)، پیروکسن و کانی‌های ثانوی کلریت، کربنات، اپیدوت و... (محصول دگرسانی کانی‌های اصلی) هستند. بازالتهای بالشی، در بیشتر موارد، در پیکر برجستگی‌هایی بجای مانده از سفره‌های رورانگی بر روی بخش پریدوتیتی دیده می‌شوند و مناظر قله‌ای شکل را به نمایش می‌گذارند. مرز آنها خرد شده و برشی شده است.

آهک پلاژیک (I): این واحد بصورت رخنمون‌های برجسته آهکی به رنگ صورتی و قرمز در مجموعه افیولیتی است. سنگ آهک یاد شده پلاژیک است و وابسته به نواحی ژرف دریاست. در بردارنده میکروفسیل نواحی ژرف (گلوبوترونکانا) است. در بسیاری جاها تناوبی از آهک پلاژیک گلوبوترونکانا دار و چرت قرمز رادیولردار با هم دیده می‌شوند. در مجموعه افیولیتی، سفره‌های راندگی (Klippe) زیادی از آنها یافت می‌شود که برخی از آنها با بازالتهای بالشی همراهند. چنگونه از فسیل گلوبوترونکانا یافت شده در این واحد عبارتند از:

Globotruncana arca, Globotruncana renzi, Globotruncana lapparanti

با توجه به فسیل‌های بالا، سن واحد یاد شده کرتاسه بالایی است.

سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری (V2): این واحد با رنگ سبز و خاکستری از سنگ‌های آتشفشانی بازالتی، آندزی بازالتی، تراکی آندزیتی همراه مقادیر به نسبت زیاد آگلومرا (واجد قله‌های سنگ‌های فوق)، کریستال لیتیک توف و ویتیک توف به همراه سنگ آهک پلاژیک و کم ژرفا پدید آمده است. نکته شایان توجه حضور گسترده سنگ‌های آذر آواری در این واحد است.

بررسی‌های میکروسکوپی وجود سنگ‌های آتشفشانی یاد شده را نشان می‌دهد. بافت آنها دانه‌ای و تراکیتی و حفره‌دار است. کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها: پیروکسن، پلاژیوکلاز در بازالیت و آندزی بازالیت و پیروکسن پلاژیوکلاز و سانیدین در تراکی آندزیت است. در این سنگ‌ها حفره‌های پر شده از کانی‌های ثانوی کلسیت، کلریت و سیلیس نیز دیده می‌شود. فزون بر این کانی‌های ثانوی یاد شده در زمینه همه این سنگ‌ها کم و بیش یافت می‌شوند.

بدلیل همراهی سنگ‌های آتشفشانی با سنگ آهک، در مقالاتی که راجع به افیولیت‌ها ارائه شده از آنها بعنوان ردیف ولکانوسدیمانتری (volcanosedimentary series) یاد می‌شود.

- آمیزه رنگین (m1): این واحد آمیزه‌ای از بازالیت بالشی، آهک پلاژیک و چرت رادیولردار است. رنگ نمادین تیره و تا اندازه‌ای قرمز رنگ است. این آمیزه بصورت سفره‌های راندگی مرتفعی بر روی پریدوتیت‌های سرپانتینی شده (واحد sp) دیده می‌شوند. در مواردی توالی اولیه بخش‌های متشکله واحد cm1 وارونه شده است. یعنی آهک پلاژیک و چرت رادیولردار در محل مرز با پریدوتیت جای دارد و بازالیت بالشی بر روی آنهاست.

- آمیزه رنگین کامل (cm): این واحد به آمیزه‌ای رنگین گفته می‌شود که بطور تقریبی همه بخش‌های ردیف افیولیتی را بصورت مخلوطی رنگین و بشدت تکتونیزه و دگرسان شده دار است. توسعه این واحد در نزدیک گسل‌های رورانده اصلی منطقه مثل گسل رورانده در مرز V2 و Sp می‌توان گواه بود.

بدلیل اینکه بخشی از فرایند مخلوط شدگی و ایجاد آمیزه رنگین پس از زمان جایگزینی سایر واحدهای افیولیتی انجام می‌گیرد. از این رو سن واحد cm را معادل و جوانتر از آنها در نظر می‌گیریم. این موضوع را در لژاند سنی مجموعه افیولیتی می‌توان دید.

ج) نوزیستی (Cenozoic):

۱- پالئوسن (Paleocene):

- واحد آتشفشانی (P^v): این واحد از سنگهای آتشفشانی سنوزوئیک در این منطقه است و از داسیت، داسیت آندزیت همراه توف و آگلومرا پدید آمده است. رنگ نمادین آن قرمز تا خاکستری است. واحد یاد شده توسط کنگلومرای پالئوسن- ائوسن پوشانیده می‌شود. گسترش این سنگ- های آتشفشانی محدود است و تنها در شمال خاوری ورقه در خاور روستای سلیمانی اندکی رخنمون دارند.

- واحد کنگلومرای (PE^c): این واحد رسوبی اولین واحد پس از جاگزینی افیولیت‌هاست. از همین رو در نزدیک منشأ افیولیتی سرشار از قلووهای متشکله از همه اعضاء مجموعه افیولیتی است. رنگ رخساره قرمز تا سبز و در برخی بخش‌ها بشدت همسان رنگ مجموعه افیولیتی است. از دیدگاه لایه‌بندی توده‌ای تا ستر است، جورشدگی این کنگلومرا بد و دارای قلووهای نیمه گرد شده است. در افیولیت‌های شمال روستای دهنه همبری عادی این واحد را با افیولیت آشکارا می‌توان دید.

همین واحد در شمال خاور ورقه (جنوب شرق روستای سلیمانی) با دور شدن از خاستگاه افیولیتی، بیشتر، از قلوو سنگهای آتشفشانی و ماسه سنگی دگرگونه (برخاسته از واحد پالئوزوئیک احتمالی) پدید آمده است. در این نقطه کنگلومرای PE^c بگونه‌ای پیشرونده (عادی) بر روی واحد P^v جای گیرد، و بگونه‌ای عادی توسط E^{ts} پوشیده شده است.

از کنگلومرای PE^c در شمال و شمال باختر روستای شورگشت نیز دو رخنمون دیده می‌شود، که گمان می‌رود در بقیه بخش‌ها توسط کنگلومرای جوان (Qpl^c) پوشیده شده باشد.

با نگرش به موقعیت چینه شناختی این واحد در نقاط گوناگون، می‌توان سن پالئوسن- ائوسن زیرین را به آن نسبت داد.

- واحد آهکی (P^l): این واحد از سنگ آهک به رنگ کرم روشن و به حالت بلورین با رخنمون صخره‌ساز در جنوب روستای دهنه گسترش دارد. شیب طبقات به سوی شمال خاور و از لحاظ لایه‌بندی توده‌ای است. بررسی میکروسکوپی نام این سنگ را بیومیکریت ($Bio\ micrite$) تعیین کرده است. فسیل‌های دیده شده عبارتند از:

Coralina sp., *Rotalia sp.*, *Ethelia alba* (جلیک)

با توجه به فسیل‌های یاد شده در بالا سن این واحد پالئوسن است. (در جای رخنمون واحد P^l ، طبقات توف بنتونیتی شده و ماسه سنگ توفی (واحد E^{ts} «مشروح در ذیل» در زیر آهک‌ها جای دارند، که با توجه به موقعیت چینه شناختی، وابسته به اوایل ائوسن هستند).

- واحد توف و ماسه سنگی (E^{ts}): این واحد در چند نقطه ورقه گسترش دارد، که از نظر برخی ویژگی‌های سنگ شناسی تا اندازه‌ای با هم ناهمسانی دارند. اما به هرحال یک واحد سنی هستند. این واحد در شمال خاور ورقه با رنگ نمادین سبز تا خاکستری از توف‌های سیلیسی متناوب با آندزیت پورفیری، اما در جنوب روستای دهنه بصورت تناوب توف بنتونیتی شده با ماسه سنگ توفی (در این نقطه واحد E^{ts} بگونه‌ای عادی در روی واحد P^l «پالئوسن» جای دارد) گسترش دارند. لایه بندی

طبقات ماسه سنگي متوسط و داراي جورشدگي خوب و گرد شدگي متوسط است.

اگرچه واحد ياد شده فسيل ندارد ولي از آنجائیکه در شمال خاور ورقه بر روي واحد PE^c و در جنوب روستاي دهنه بر روي واحد P^l و بگونه-اي عادي جاي دارد، و از طرفي در شمال روستاي زروند در زير واحد E^s (اوسن زيرين-مياني) جاي ميگيرد، سن واحد E^{ts} اوسن زيرين است.

- واحد ماسه سنگي (E^s): اين واحد از ماسه سنگهاي آهكي و توف لايه نازک تا متوسط متناوب با کنگلومرا، توف و مارن پديد آمده است. رنگ رخساره خاکستري تا خاکستري متمایل به سبز است. لايه بندي طبقات تناوبي از لايه نازک تا متوسط است. جورشدگي ماسه سنگها متوسط و از نظر گردشگي نيمه گرد هستند. آثار گياهي؟ درون ماسه سنگها ديده ميشود، ولي هيچگونه ساختمان داخلي ندارند.

گسترش واحد ياد شده نسبتاً زياد است، آنچنان که از خاور ورقه (روستاي گرماب) تا باختر (روستاي ترخاص) گسترده شده است. شيب طبقات نزديک ۳۵ و به سوي شمال خاور است.

گسل بزرگ امتدادلغز فيض آباد اين واحد را بريده است و گمان ميشود که بخشی از آن را حذف کرده باشد. از اين رو ستبراي راستين آن را نمي توان مشخص ساخت.

فسيلهاي نوموليت زير بصورت رها شده در اين واحد يافت شده اند:

Nummulites sp.

Nummulites aturicus

Nummulites globules

با توجه به فسيلهاي فوق سن واحد ياد شده اوسن زيرين تا مياني است.

- واحد توفی (E^l): اين واحد بصورت تناوبي از توف، ماسه سنگ توفی، آگلومرا، آندزيت و کنگلومراي ولکانيکي (کنگلومرايي که همه قطعاتش آتشفشاني اما زمينه سنگ رسوبي است و از اين رو نمي توان به آن آگلومرا اطلاق کرد) با رنگ نمادين خاکستري متمایل به سبز در باختر روستاي گرماب گسترش دارد. ادامه اين واحد توسط گسل فيض آباد قطع ميشود. ستبراي اين واحد بطور تقريبن ۷۰۰ متر است. با توجه به موقعيت چينه شناختي سن واحد ياد شده اوسن مياني است.

- واحد آتشفشاني (E^v): اين واحد از سنگهاي آتشفشاني آندزيتي داراي بافت پورفيري و حفره دار، به همراه تراکي آندزيت و بازالت آندزيتي پديد آمده است. رنگ نمادين خاکستري متمایل به سبز دارد و ترکيب سنگهاي بخش مياني ورقه بيشر آندزيت و بازالت آندزيتي است، حال آنکه، همين واحد در شمال خاور ورقه (در کوه سي سر) ميزبان معدن فيروزه نيشابور است و ترکيب آن تراکي آندزيتي است.

در کوه سي سر اين واحد در مرکز تاقديس معدن قرار دارد. و در بخش مياني ورقه بر روي واحد E^l جاي ميگيرد.

سن واحد ياد شده با توجه به موقعيت چينه شناختي اوسن مياني است.

- واحد آگلومرايي (E^a): بخش پاياني تکاپوي آتشفشاني اوسن، به گونه اي آگلومرا است. اين آگلومراها داراي قلوهاي آندزيت، تراکي آندزيت و بازالت در زمينه اي آذر آواري و با ترکيب حد واسط هستند. رنگ نمادين اين واحد خاکستري متمایل به سبز است. سن

این واحد همچون واحد E^v میانه‌های ائوسن است. چراکه هردوی آنها در شمال خاوری نقشه در تقادیس معدن توسط کنگلومرای پیشرونده E^c (وابسته به ائوسن میانی تا زیرین) پوشیده شده‌اند. این واحد در بخش میانی منطقه بررسی شده، توسط آبرفت‌های عهد حاضر پوشیده می‌شوند. از این رو ارزیابی ستبرای راستین انجام شدنی نیست.

- واحد کنگلومرای (E^c) : این واحد با رنگ نمادین خاکستری تا قرمز (بسته به نوع قلوه‌های متشکله آن در نواحی گوناگون) از قلوه‌های سنگ‌های آتشفشانی، سنگ آهک، توف، ماسه سنگ و سنگ‌های دگرگونی و کوارتز پدید آمده است.

این واحد کنگلومرای در شمال ورقه در تقادیس (کوه سی‌سر) سنگ‌های میزبان معدن فیروزه نیشابور را می‌پوشاند، بطور تقریبی؛ همه‌اش از قلوه‌های آتشفشانی پدید آمده است. ولی در نزدیک واحدهای پالئوزوئیک (احتمالی) سرشار از قلوه‌های سنگ آهک و سنگ‌های دگرگونی شیبستوز است در بخش‌های بالایی به تنهایی از قلوه‌های گرد شده کوارتز (به گمان از خاستگاه دگرگونی) با جورشدگی متوسط پدید آمده است.

با توجه به اینکه این واحد در محل کلاته عباسی توسط واحد E^{st} (وابسته به ائوسن زیرین) و در تقادیس معدن توسط واحد E^1 (وابسته به ائوسن زیرین) پوشیده شده است و مرزهای موجود عادی هستند، سن واحد E^c ائوسن میانی-زیرین خواهد بود.

- واحد ماسه سنگی و توفی (E^{sl}) : این واحد از ماسه سنگ‌های آهکی و توفی به رنگ سبز تا خاکستری با میان لایه‌های آهک بلورین خاکستری و توف و مارن پدید آمده است.

این واحد در شمال خاور ورقه در پیرامون روستاهای رباطی و کلاته عباسی گسترش دارد. و واحد یاد شده بگونه‌ای عادی روی کنگلومرای E^c جای می‌گیرد. و به سوی شمال خاور تغییر رخساره می‌دهد و به آهک نومولیت‌دار (واحد E^1) تبدیل می‌شود، این واحد آهکی هنوز ویژگی‌های آواری را در خود نشان می‌دهد آن چنان که، در پاره‌ای جاها در پیکر قطعات آهکی در خمیره‌ای آهکی (شبه یک کنگلومرا) دیده می‌شود. در مقطع AB وابستگی این دو واحد ائوسن بالایی را در ساختمانهای تقادیس و ناودیس معدن به خوبی می‌توان دید.

با توجه به فسیلهای نومولیت مشخصه ائوسن زیرین در واحد E^{ts} :

Nummulites fabiani

Nummulites striatus

سن واحد یاد شده ائوسن زیرین است.

- واحد آهکی (E^1) : این واحد از سنگ آهک نومولیت‌دار به رنگ کرم پدید آمده است. لایه‌بندی این طبقات آهکی متوسط تا ستبر است و در تقادیس معدن و همچنین ناودیس خاور روستای اردلان با مرز تدریجی بر روی واحد قدیمی‌تر یعنی E^c جای دارد.

همانطور در لیتولوژی واحد E^{st} ذکر شد، واحد یاد شده با E^1 بگونه تدریجی به هم تغییر رخساره می‌دهند. آن چنان که، در دامنه شمالی از بلندی‌های شمال روستای سلیمانی گسترش واحد E^{st} را گواه توان بود، اما به سوی شمال خاور در پیرامون معدن فیروزه واحد E^1 گسترش دارد. و هر دو واحد موقعیت چینه‌ای همسانی دارند.

فسیل‌های زیر در واحد آهکی مورد نظر یافت شده‌اند:

Nummulites fabiani, Orbitolites complanatus

Nummulites striatus, Triloculina sp.

با توجه به فسیل های یاد شده سن این واحد ائوسن زبرین است.

۳- الیگوسن (Oligocene):

- واحد آتشفشانی (O^v): این واحد از سنگهای آتشفشانی تراکی آندزیتی خاکستری رنگ و بازالیت سبز تیره پدید آمده. واحد یاد شده در شمال خاور ورکه (شمال کوه سیسر) گسترش دارد. با توجه به مطالعات میکروسکوپی، سنگ دارای بافت پورفیری با زمینه میکروکریستالین است. پورفیرها شامل بلورهای خودشکل پلاژیوکلاز با ترکیب حد و واسط هستند و گرداگرد برخی از دانه ها هاله ای از فلدسپات آلکالن تکوین یافته است. برجای مانده هایی از کانی های فرومنیزین دگرسان شده نیز مانند پیروکسن، در سنگ به چشم می خورد. بخش زمینه از میکروولیت های پلاژیوکلاز به همراه دانه های بسیار ریز کوارتز و کانی اوپاک پدید آمده است.

واحد یاد شده در جنوب معدن نمک عمارلو توسط واحد مارنی وابسته به میوسن تا پلیوسن جای دارد. این سنگهای آتشفشانی «به گمان» با فاز کوهزایی پیرینه در ارتباط است و موجب وقفه در روند رسوبگذاری پالئوسن- ائوسن به میوسن شده است. از این رو با توجه به موقعیت چینه شناختی سن این واحد به گمان الیگوسن است.

۴- میوسن (Miocene):

- واحد مارنی (M^m): این واحد از مارن های قرمز آجری و روشن به همراه طبقات گچ و نمک پدید آمده است. گسترشی به نسبت زیاد را در شمال خاور ورکه در محل تاقدیس معدن دارد و بعنوان جوانترین واحد این ساختمان به شمار می آید. مرز این واحد با واحد زیرین (Eⁱ) خود گسله است و واحد Ov در آنجا حذف شده است. شرایط پیدایش واحد مارنی گچ دار، نشان از گسترش حوضه ای کم ژرفا و پلایایی، پس از ولکانیسم الیگوسن، دارد. نانوفسیل های یافت شده در درون مارن های یاد شده عبارتند از:

Ceratholithus acutus

Amaurolithus triarnculithus

Discuaster brouweri

Lithostromation pedrum

فسیل ردیف نخست مشخصه آغاز میوسن است. و با توجه به همه فسیل های بالا می توان نتیجه گرفت سن واحد یاد شده میوسن- اوایل پلیوسن است.

- واحد گچی (M^g): این واحد در پیکر عدسی های گچ در درون مارن های واحد پیشین دیده می شود. معدن گچ عمارلو از این واحد بهره برداری می شود. واحدهای M^m و M^g جوانترین واحدهای لیتولوژیکی در تاقدیس معدن هستند. که به ترتیب به سوی هسته (قدیمی ترین واحد) واحدهای E^a, E^c, E^v حضور دارند.

سن این واحد نیز با توجه به اینکه در درون واحد M^m جای گرفته، میوسن- اوایل پلیوسن تعیین می شود.

۵- پلیوسن (Pliocene):

- واحد کنگلومرانی (pl^c): این واحد کنگلومرایی جوان با رنگ نمادین کرم روشن از قطعات ناهمسان با جورشدگی بد و گردشگی متوسط پدید آمده است. میزان سخت شدگی (Consolidation) آن نسبت به واحد

کنگلومرایی جوانتر، یعنی QPI^c ، بیشتر و شیب طبقات آن نیز تند است. گسترش این واحد زیاد نیست و رخنمون‌های آن را بگونه‌ای پراکنده و بخشی در جنوب روستای بلقان‌آباد می‌توان دید که در آنجا دگرگونی سلطان‌آباد را به سوی خاور می‌پوشاند. سن این واحد به گمان، پلیوسن است. و بر اثر عملکرد فاز پاسادانین طبقات آن چین‌خورده و از حالت افق خارج شده‌اند.

- واحد کنگلومرایی (QPI^c): این واحد کنگلومرایی جوان دارای قطعات ناهمسان با گردشگی متوسط و جورشدگی بد است. رنگ نمادین کرم متمایل به قرمز است. فرآیند سخت شدن در آن بطور کامل انجام نشده است. دارای طبقات نزدیک به افقی است. به هر حال جوانترین واحد سنگی در گستره مورد بررسی به شمار می‌آید. سن این واحد، به گمان، پلیوکواترنر است.

۶- کواترنر (Quaternary):

- نهشته‌های آبرفتی کهن (Q^1): این واحد از نهشته‌های پادگانه‌های آبرفتی کهن به حالت افقی پدید آمده است. آنها رخدادهای تکتونیکی مؤثری را تحمل نکرده‌اند بیشتر در دامنه‌های پرشیب رخنمون‌های سنگی دیده می‌شوند. و از قطعات فرسایش یافته و آزاد شده همان واحدها پدید آمده‌اند.

- نهشته‌های آبرفتی جوان (Q^2): این واحد از نهشته‌های پادگانه‌های آبرفتی جوان به حالت مسطح پدید آمده است. بخش‌های گسترده‌ای از دشت‌های منطقه را می‌پوشاند. و زمین‌های کشاورزی نیز در این بخش گسترش یافته‌اند.

- مخروط افکنه (Q^f): این واحد مخروط افکنه‌های پای ارتفاعات است. در جنوب زون افیولیتی و همچنین جنوب بلندی‌های زون بینالود این واحد را می‌توان گواه بود. اندازه دانه‌های سازنده آن از سمت کوهستان به سوی دشت کاهش می‌یابد. و بطور معمول، در بردارنده آب زیاد است. از اینرو بخش‌های ریزدانه آن مستعد کشاورزی است.

- کفه‌های رسی (Q^{cf}): این واحد از کفه‌های رسی و تا اندازه‌ای دارای نهشته‌های تبخیری پدید آمده است. زمین‌های کشاورزی گهگاه در آن تکوین یافته است. واحد یاد شده در پیرامون کال شور، جنوب ورقه، و مقداری در شمال باختر ورقه گسترش دارد.

- تپه‌های شی (Q^{sd}): این واحد در برگرنده تپه‌های شی و ماسه‌ای است که در پیکر دراز پشته‌هایی با روند موازی و در جهت عمود بر وزش باد پدید آمده‌اند. دو یال پشته پشته‌های شی شیب متفاوت دارد، آن چنان که شیب زیادتر در جهت وزش باد است.

- آبرفت‌های عهد حاضر (Q^{al}): این واحد از آبرفت‌های عهد حاضر در مسیله‌ها تشکیل یافته است، قطعات سازنده آن بسته به میزان انرژی آب رودخانه از جورشدگی خوب یا بدی برخوردارند. بطوریکه، کاهش شدید انرژی آب موجب بر جای نهادن شدن تند نهشته‌ها با جورشدگی بد می‌شود. و برعکس انرژی زیاد محیط به جورشدگی بهتر نهشته‌های بستر رودخانه می‌انجامد.

- پوشش گیاهی (Q^{cul}): بخش‌هایی از نهشته‌های آبرفتی، در بردارنده واجد خاک مستعد کشاورزی، به زیر کشت رفته‌اند. با توجه به اینکه این

زمینهای کشاورزی سطح قابل توجهی را میپوشانند. بگونه ای جداگانه نشان داده شده اند.

سنگهای آذرین نفوذی و نیمه آتشفشانی:
پس از تکاپوهای آتشفشانی ائوسن، فاز کوهزایی پیرینه در آغازین الیگوسن موجب پیدایش ولکانیسم و پلوتونیسم حد واسط تا اسیدی شده است. که در این منطقه بصورت سنگهای اسیدی گرانیتی و ریولیتی، دایکهای تراکی آندزیتی، میکرومونوزودیوریتی و گنبدیهای داسیتی نمایان شده است. در زیر به تشریح این سنگها پرداخته می شود:

- گرانیت (gr): سنگهای گرانیتی در درون بخش افیولیتی جنوب خاوری سلطان آباد (قسمت دگرگونی سلطان آباد) در شمال باختری منطقه بررسی شده نفوذ کرده اند. بررسی های میکروسکوپی این سنگها نشان می دهد، که کانی های اصلی آنها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیک است. مهمترین کانی فرعی موجود در آنها مسکویت است، ولی میکای نوع بیوتیت همچنین آمفیبول در سنگ بندرت یافت می شود. فلدسپاتها به کانی های رسی، سریسیت، کلریت و اپیدوت دگرسان شده اند. کانی کوارتز خاموشی موجی نشان می دهد، که نشان از تحمل فشارهای تکتونیکی دارد.

با توجه به نبود بیوتیت و آمفیبول و از سوئی حضور مسکویت به نسبت فراوان در سنگ، به گمان، گرانیت مورد نظر از نوع "S" (لوکوگرانیت فرآورده ذوب پوسته) است. تأثیر حرارتی این توده های کوچک در سنگهای پیرامون بصورت سیلیسی کردن آنها به فاصله نزدیکی از محل مرز نمایان شده است. اگر بصورت زون دگرسانی از نوع سیلیسی مشخص شده است، سن دقیق این گرانیتها برای ما مشخص نیست، اما به هرحال واحدهای مزوزوئیک را بریده اند، از این رو وابسته به ترشیر است.

- ریولیت دگرسان شده (ry): تکاپوی آذرین اسیدی ترسیر منطقه، به هر دو صورت نفوذی و خروجی دیده می شود. ریولیتها در درون واحد آتشفشانی V2 در مجموعه افیولیتی، در سطح مشترک واحد یاد شده با آهک پلاژیک بگونه رخنمون سفید تا زرد لیمویی دیده می شود. کانی های اصلی پدید آورنده آن کوارتز، پلاژیوکلاز (به شدت دگرسان شده) و ارتوکلاز (به شدت دگرسان شده) و کانی فرعی عمده این سنگ کانی های اوپاک هستند. کانی های فلدسپات به شدت به کائولینیت و سیلیس دگرسان شده اند و آغشتگی به نسبت گسترده به اکسید آهن دیده می شود. به علت دگرسانی شدید، بافت اولیه حفظ نشده است. دگرسانی شدید این واحد را در نقشه بصورت زون دگرسانی کائولینیتی، سیلیسی و اکسید آهن مشخص نموده ایم.

- تراکی آندزیت (ta): در شمال خاور ورقه یکسری دایک با روندهای گوناگون دیده می شوند. این دایکها واحد Est را بریده اند. کانی بیوتیت در آنها به نسبت فراوان است. با توجه به گواهان چینه شناختی یاد شده سن دایکها جوانتر از ائوسن است.

- میکرومونوزودیوریت (mz): در شمال روستای دستجرد و شورگشت چند دایک موازی با روند تقریبی شمال- جنوب در درون واحد Es نفوذ کرده اند. تأثیر نفوذ آنها بصورت سیلیسی کردن سنگ میزبان تا فاصله یکی دو متر است (زون دگرسانی سیلیسی با اغراق در نقشه آمده است). نفوذ این دایکها وابسته به تکاپوی ماگمایی پس از ائوسن است.

بررسی میکروسکوپی این سنگها نشان می‌دهد، آنها دارای بافت پورفیری با زمینه اینترسترال هستند. پورفیرها در برگزیده پلاژیوکلاز با ترکیب حدواسط بصورت جدا وگرد آمده به دورهم است، که بشدت به سربسیت دگرسان شده‌اند. برخی از آنها را حاشیه‌ای از فلدسپات آلکالن در برگرفته و این حاشیه نیز به کائولینیت دگرسان شده است. از کانی‌های فرعی موجود می‌توان پیروکسن (دگرسان شده به کلریت)، کوارتز، بیوتیت (دگرسان شده به کلریت و لوکوکسن)، پلاژیوکلاز (دگرسان شده به کربنات و کلریت) و نیز کانی‌های اوپاک و آپاتیت را نام برد.

- داسیت (da): این سنگهای آتشفشانی در پیکر گنبدی با روند تا اندازه‌ای مشخص در کناره جنوبی سنگهای سلطان‌آباد درون این واحد نفوذ کرده‌اند.

بررسی‌های میکروسکوپی این سنگها نشان می‌دهد که آنها دارای بافت دانه‌ای ریز در بردارنده پورفیرهای منشوری باریک آمفیبول هستند. کانی‌های اصلی آنها پلاژیوکلاز، هورنبلند، فلدسپات پتاسیک و کوارتز است. فراوان‌ترین کانی فرعی را کانی اوپاک تشکیل می‌دهد. فرآورده دگرسانی این سنگها کانی‌هایی مانند کلریت، لوکوکسن، اوپاک (محصول دگرسانی هورنبلند)، کائولینیت و سربسیت (محصول دگرسانی فلدسپات) است.

تکوین تکتونیکی:

همانگونه که پیشتر نیز گفته شد منطقه مورد بررسی به لحاظ ساختاری در شمار زون افیولیتی سبزوار است. که خود بخشی از نوار حلقوی افیولیتی گرداگرد خرد قاره ایران مرکزی است. از جمله بررسی‌های زمین شناسی پیشین درباره «نوا افیولیتی سبزوار» و «سنگ‌های آتشفشانی جوانتر وابسته به افیولیت»، نوشته شده در گزارش شماره ۵۱ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، وجود دارند.

در نوشتاری که درباره افیولیتها گفتگو شده (F.Baroz et al., 1983) سازوکار گسل‌های امتداد لغز به هنگام باز شدن اقیانوس باریک حاشیه خرد قاره در تریاس بالا- ژوراسیک دست اندرکار می‌داند. و درباره بسته شدن این اقیانوس در کرتاسه زیرین و جایگزینی افیولیت گفته شده است که سیستم برخوردی مورب فعال بوده است. در نوشتاری دیگر، درباره سنگ‌های آتشفشانی جوانتر از افیولیت (O.Spies et al., 1983)، موضوع فرورانش لیتوسفر اقیانوسی سوی شمال خاور مطرح شده و سنگ‌های آتشفشانی ترسیر نتیجه فوران مواد حاصل ذوب لیتوسفر فرورونده، انگاشته شده است، و نوار افیولیتی سبزوار را برجای مانده‌های بخشی از لیتوسفر اقیانوسی، که فرارنده شده است، معرفی می‌نماید. اما آنچه در زیر گفته می‌شود، تنها برگرفته از شواهد صحرایی است:

آن چنان که در نقشه زمین شناسی سلطان‌آباد ملاحظه می‌شود، در نوار افیولیتی دو بخش گسترده را می‌توان گواه بود:

بخش نخست، پدید آمده از پریدوتیت‌های سرپانتینیتی شده (sp) بشدت تکتونیزه که درون آنها واحدهای گوناگون ردیف افیولیتی جای گرفته‌اند. در این بخش قله‌ها و کلاهک‌هایی از بازالت بالشی به همراه آهک پلاژیک گلوبوترونکانادار و چرت رادیولردار و یا هر یک از این واحدها بگونه جداگانه و همچنین رخنمون‌های برجسته از گابرو و دیاباز با مرز خرد شده و برشی شده (sheared) و یا مرز عادی با واحد sp جای دارند.

در پاره‌ای جاها که این مرز توسط آبراه‌ها فرسایش یافته و به خوبی قابل مشاهده است، دیده می‌شود که قله یا کلاهک‌های یاد شده

بی‌ریشه‌اند و از روی جهت‌های برشی شده به حرکت بخش بالایی بر روی پریدوتیت می‌توان پی برد. گهگاه دیده می‌شود که مرز گابرو با پریدوتیت عادی است (که این موضوع خارج از انتظار نیست) چرا، برپایه دانسته‌ها، در ردیف افیولیتی، گابرو بر روی پریدوتیت (تکتونیت) جای دارد و این توالی پس از جایگزینی همچنان حفظ شده است.

اما کلاکهای برجسته از بازالت بالشی + چرت رادیو لردار + آهک پلاژیک که بر روی پریدوتیت جای گرفته‌اند، برآستی چند کیلومتر فاصله نخستین خود را (گابرو و دایک‌های دیابازی) در ردیف افیولیتی حذف کرده‌اند. به زبانی دیگر این کلاک‌ها برآستی، برجای مانده‌های سفره‌های رورانگی هستند که در پیکر ورقه ورقه شدگی بر روی یکدیگر رانده شده‌اند و بخش‌های فراوان از آنها بر اثر فرسایش از میان رفته‌اند.

بخش دوم عبارت از سنگهای آذر آواری (آگلومرا و توف) و سنگهای آتشفشانی آندزیتی بازالتی و تراکی آندزیتی است که با بخش پیشین مرز گسله (تراستی) دارد. در محل گسل خردشدگی و برشی شدن دیده می‌شود. افزون بر آن، از دیگر شواهد رانندگی وجود پنجره‌های تکتونیک (Tectonic windows) کوچکی از پریدوتیت‌ها است که از زیر سنگهای آتشفشانی یاد شده رخنمون یافته و هویدا شده‌اند. (بیشتر این پنجره‌های تکتونیک در مقیاس نقشه غیر قابل برداشت هستند) و بزرگترین پنجره تکتونیک را در شرق می‌توان گواه بود.

در مجموعه افیولیتی بخشی بعنوان سنگهای دگرگونی سلطان‌آباد جای دارد که از سه رخساره شیست سبز، اپیدوت آمفیبولیت و شیست آبی پدید آمده‌اند. سیستم گسلی و مناظر تکتونیک این بخش بسیار همسان آن چیزی است که در بخش افیولیتی دیده می‌شود. نمونه‌دار، قله‌های به نسبت بلند از سنگهای بازالتی بالشی یا دیابازی و میکروگابرو (دگرگون شده) را بر روی زمینه‌ای از سایر سنگهای دگرگونی می‌توان دید. حضور شیتهای آبی مشخصه شرایط حاکم بر زون فرورانش است.

در منطقه یک سری سنگهای آتشفشانی جوانتر از افیولیت دیده می‌شود که به سوی شمال تا ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ مشکان ادامه می‌یابند. نمونه‌هایی که برای آنالیز شیمیائی برداشته شده نشان می‌دهد که سرشت کالکوالکالین دارند. این نتیجه با آنچه در مقاله

(O. Spies et al., 1983) بعنوان نتیجه‌گیری آمده است، سازگاری کامل دارد. این سنگهای آتشفشانی وابسته به جایگزینی افیولیت‌ها و فرورانش لیتوسفر اقیانوسی باریک به زیر لیتوسفر قاره‌ای شمال خاور (لبه ورقه توران) پدید آمده‌اند. در حوضه رسوبی پس از جایگزینی افیولیت‌ها یک سری نهشته‌ها و مواد آذر آواری وابسته به پالئوسن- ائوسن تا میوسن- پلیوسن (مارن‌های قرمز و گچ‌دار) نهشته شده‌اند. این نهشته‌ها بر اثر حرکات تکتونیک پسین (فاز پیرینه) چین خورده‌اند. در رخنمون‌های شمال خاور ورقه (حاشیه جنوبی زون بینالود) این سنگهای ائوسن با مرز نمادی و گسله دیده می‌شوند. در تاقدیس کوه سیر آتشفشانی در مرکز و سنگهای آهکی و مارن در بیرونی‌ترین بخش دیده می‌شوند.

در بلندی‌های شمال روستاهای سلیمان‌ی و بتو، یک سری سنگهای تکتونیزه، به گمان وابسته به پالئوزوئیک، حضور دارند. مرز این واحدها با واحدهای جوانتر گسله (تراستی) است. شیب طبقات رسوبی وابسته به ائوسن در دو سوی دامنه این بلندی‌ها بگونه‌ای است که وجود یک تاقدیس را بازگو می‌کند.

با توجه به گفته‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که سازوکار تکتونیک جایگزینی نوار افیولیتی سبزوار بر اثر برخورد (همگرایی) لیتوسفر اقیانوسی باریک با لبه ورقه توران و فرورانش به سوی شمال خاور و

به دنبال آن راندگی بخش‌هایی از لیتوسفر یاد شده در پیکر ورقه ورقه شدگی به سوی جنوب باختر انجام شده و نوار افیولیتی سبزوار را پدید آورده است. اما از سویی نمی‌توان این موضوع را انکار کرد که این راندگی مؤلفه مورب لغز داشته باشد و چه بسا همین مؤلفه مورب لغز در نوار افیولیتی به طرف غرب بهتر خود را نشان می‌دهد.

زمین شناسی اقتصادی:

در چهارگوش زمین شناسی سلطان آباد واحدهای سنگی افیولیتی، سنگهای آتشفشانی ائوسن با فرآورده‌های تکاپوهای آذرین درونی و نیمه ولکانیک ترسیر و نهشته‌های سنوزوئیک گسترش دارند. که در هر یک از آنها معادن متروکه یا فعال و نشانه‌های معدنی یافت می‌شود.

در نقشه نشانه‌های معدنی در نماد زونهای دگرسانی (Alteration zone) مشخص شده‌اند.

در نوار افیولیتی، معادن کرومیت متروکه و فعال یافت می‌شوند که از نمونه‌های آن می‌توان معدن کرومیت شمال دهنه و معادن کرومیت خاور ورقه (پنجره تکتونیکی) را یادآوری کرد. بکاربردن روشهای ژئوفیزیکی ممکن است به کشف عدسیهای کرومیت بیشتری بیانجامد. از نشانه‌های معدنی می‌توان حضور تالک درون سنگهای دگرگونی سلطان-آباد در کوه گوین و در کنار راه شوسه سراج-سلطان‌آباد درون بخش‌های به شدت سرپانتینی شده پریدوتیتی، هونتیت یا گل سفید را در جنوب روستای شترگلو و در کنار جاده جدید مشهد-تهران، منیزیت را در خاور ورقه (پنجره تکتونیکی) اشاره کرد.

در رابطه با فعالیت آتشفشانی ائوسن حضور فیروزه قابل اهمیت است. بزرگترین معدن فیروزه جهان (فیروزه نیشابور) در درون سنگهای تراکیتی آندزیتی شمال خاوری ورقه در نزدیک روستای معدن بالا جای دارد. این معدن قدمت چند صد ساله داشته. و هم اکنون نیز در حال بهره‌برداری است. تأثیر تکاپوهای ماگمایی نفوذی و نیمه ولکانیک ترسیر نیز بصورت زون‌های دگرسانی متفاوت خود را نشان داده، که از آن جمله می‌توان زون به نسبت بزرگ دگرسانی سیلیسی، کائولینیتی و اکسید آهن جنوب روستای طالبی (شاید اهمیت اقتصادی داشته باشد)، زون سیلیسی ± اکسید آهن در جنوب روستای شترگلو، باختر روستای روکی و زون سیلیسی اطراف دایکهای جنوب باختری روستای گرماب (که گمان نمی‌رود اهمیت اقتصادی چندانی داشته باشد) را یادآور شد.

حضور یک سری رگه‌های باریت درون واحد E^c در شمال خاوری روستای سلیمانی نیز حائز اهمیت است. یادآوری می‌شود گسترش و ستبرای رگه‌های یاد شده در سطح چندان زیاد نیست، اما می‌تواند در ژرفا ذخیره قابل توجهی را نوید دهد.

و سرانجام معادن نمک و گچ عمارلو، در درون واحد مارن گچ‌دار میوسن، در شمال خاوری ورقه، از پتانسیل‌های مهم معدنی منطقه به شمار می‌رود. این دو معدن در حال حاضر بهره‌برداری می‌شوند.

تشکر و قدردانی

مجموعه‌ای که بعنوان گزارش زمین شناسی نقشه سلطان‌آباد در پیش روی است شاید دارای اشکالاتی باشد. با این وجود، امید است قدمی ناچیز در راه شناخت بخشی از سرزمین اسلامیان از دیدگاه زمین شناسی و معدنی باشد.

در اینجا لازم می‌دانم از جناب آقای دکتر سعیدی مدیر محترم پروژه سبزوار که مرا از راهنمایی‌های خویش بهره‌مند نمودند، قدردانی کنم. همچنین از جناب آقای مهندس طاهری مدیریت محترم سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، مرکز مشهد که در همه مراحل از راهنمایی‌ها و مساعدت‌های ایشان برخوردار بودم، تشکر نمایم.

از آقای مهندس عسکری بخاطر همراهی در برداشتهای صحرایی و امور دفتری قدردانی کنم. از کارشناسان آزمایشگاهها همکاران ارجمند خانم-ها پشتکوهی، شجاعی کاوه، ذوالفقاری، وکیل باغمشه، بهره مند، سهرابی، نوریان و تاجبخش که زحمت مطالعات سنگ شناسی، فسیل شناسی و آنالیز شیمیایی برخی نمونه ها را متقبل شدند، تشکر و قدردانی می نمایم.

از آقایان دکتر گلشنی و خانم بهرام منش و خانم دکتر هادوی نیز بابت مساعدتی که نمودند سپاسگزاری می کنم. در پایان از آقای کوروش توکلی و خانم ها کوپیان که زحمت مطالعه نمونه های پالینومورف را متقبل شدند تشکر می نمایم. همچنین از گروه دورسنجی که تصاویر دورسنجی را در اختیار من قرار دادند، نهایت سپاس را دارم.