



## مطالعه کورتکس اووئیدهای آهن‌دار سازند شیشتو و بررسی نقش فعالیت‌های میکروبی در تشکیل آنها

محمد حسین محمودی قرائی\*، علیرضا عاشوری، محمد خانه‌باد، عباس قادری

قطب فسیل شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

\* پست الکترونیک: mhmgharaie@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۲۵

تاریخ دریافت: ۸۸/۱/۳۱

### چکیده

رسوبات آهن‌دار متعلق به دونین پسین و عمدتاً به سن فامنین در ایران مرکزی دارای گسترش وسیعی است. طبقات آهن‌دار معمولاً واجد اووئید و آنکوئیدهای غنی از آهن هستند و بدین علت به عنوان لایه‌های آهن‌دار اوولیتی شناخته می‌شوند. آهن عمدتاً به صورت هماتیت در سنگهای گریستون، پکستون و به ندرت در گل‌سنگ‌ها نهشته شده است. هماتیت به صورت پوشش خارجی ذرات مختلف اینتراکست و بیواکست و یا اووئیدهای از قبل تشکیل شده و همچنین به صورت ذرات پراکنده در ماتریکس سنگ دیده می‌شود. اغلب دانه‌های آهن‌دار اوولیتی دارای پوششی با لامیناسیونهای هم مرکز هستند که بین آنها میکرولامینه‌هایی از جنس رس و ذرات آلومینوسیلیکات دیده می‌شود. برخی لامینه‌ها به صورت موج‌دار (غیر مسطح) و ناپوسته (منقطع) بوده و دارای ضخامت ۲ تا ۵ میکرون هستند و در واقع ظاهری شبیه رشد میکروبی سازنده آنکوئیدها دارند. لامینه‌های با شکلهای لولهای، چندین لایه از مراحل رشد میکروبی را در اطراف هسته نشان می‌دهند. ویژگیهای میکرومورفولوژیک و مینرالوژی دانه‌های اوولیتی دلالت بر نقش اساسی عامل بیوژنیک در تمرکز ذرات آهن به دور هسته دارد. این عامل بیوژنیک می‌تواند از طریق فرآیندهای شیمیایی و یا فیزیکی سبب جذب شیمیایی آهن یا به تله انداختن ذرات آهن‌دار از آب دریا شود. علاوه بر وجود فعالیت‌های میکروبی عامل مهم دیگر برای تشکیل اووئیدهای آهن‌دار، وجود Fe به میزان کافی در محیط رسوب‌گذاری است که منشأ آن می‌تواند مستقیماً از طریق فعالیت‌های ولکانیک زیردریایی بوده و یا از طریق هوازدگی و فرسایش سنگهای آهن‌دار موجود در خشکی و حمل آن به حوضه رسوبی باشد.

**واژه‌های کلیدی:** اوولیت، رسوبات آهن‌دار، سازند شیشتو، دونین پسین، فعالیت میکروبی.

### مقدمه

و قابل بهره برداری بوده است. با وجود این هنوز ابهاماتی در رابطه با محیط رسوب‌گذاری و چگونگی تشکیل این نهشته‌ها وجود دارد. اولین مطالعات بر روی این نوع رسوبات از حدود ۱۵۰ سال پیش آغاز شد، اما نظریه قاطعی درباره نحوه تشکیل اووئیدهای غنی از آهن که جهت درک منشأ

لایه‌های رسوبی آهن‌دار اوولیتی در برخی دوره‌های زمین شناسی از قبیل اردوئیسین، سیلورین، اواخر دونین و ژوراسیک گسترش زیادی دارد (ون هوتن و بهاتاچاریا، ۱۹۸۲). این رسوبات از دیرباز توجه زمین‌شناسان را به خود جلب کرده به ویژه زمانی که غنی‌شدگی آهن به میزان زیاد

رسوبات آهن‌دار دونین پسین و عمدتاً فامنین از توزیع گسترده‌ای در ایران مرکزی (نواحی اردکان، طبس و کرمان) برخوردار است. این رسوبات در منطقه طبس به صورت یک واحد کربناته با ضخامت حدود ۲۵ متر، حاوی اووئیدهای غنی از آهن، به عنوان لایه سفالوپوددار (Cephalopod Bed) در سازند شیشتو و با رنگ خاکی متمایل به قرمز رخنمون دارد (شکل‌های ۱ تا ۳). اگرچه واحد مذکور به دلیل جایگاه و اهمیت چینه‌شناسی آن مورد مطالعات مختلف فسیل‌شناسی و چینه‌شناسی قرار گرفته است (ونت و همکاران، ۱۹۹۷؛ یزدی، ۱۹۹۹؛ عاشوری، ۲۰۰۴) ولی چگونگی تشکیل اووئیدهای آهن‌دار آن تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف از انجام این پژوهش بررسی دقیق ذرات آهن‌دار و مطالعه اووئیدهای غنی از آهن به منظور تعیین چگونگی تمرکز آهن و تشکیل کورتکس اووئیدی در رسوبات آهن‌دار سازند شیشتو است.

برش چینه‌شناسی مورد مطالعه در بخش جنوبی کوه‌های شتری (شکل ۲) در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان طبس قرار داشته و به نام برش حوض دو راه شناخته می‌شود که از شناخته شده‌ترین برش‌های چینه‌شناسی در منطقه طبس بوده و دربردارنده رسوبات مربوط به سازند شیشتو (اشتوکلین و همکاران، ۱۹۶۵) است.

### روش مطالعه

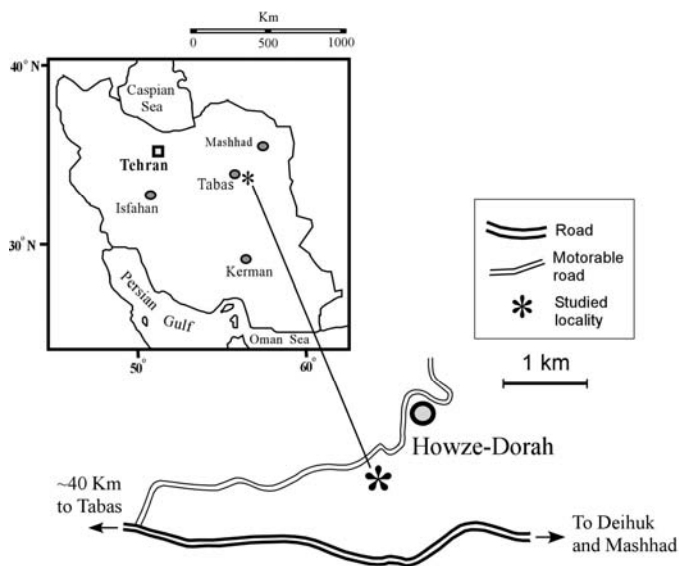
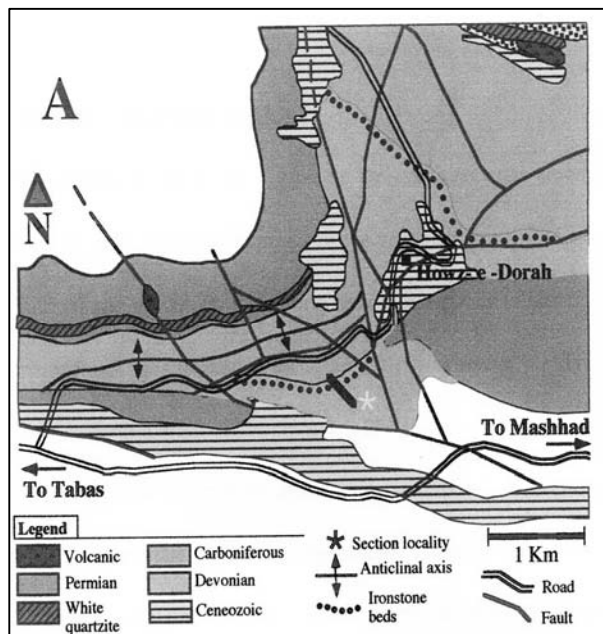
به منظور انجام این پژوهش نمونه‌های سنگ آهک اوولیتی آهن‌دار، برش چینه‌شناسی حوض دو راه در منطقه طبس (شکل ۳) مورد مطالعه قرار گرفته است. تعداد ۲۴ عدد از این نمونه‌ها با استفاده از مقاطع نازک مورد مطالعه پتروگرافی قرار گرفت. فابریک داخلی اووئیدهای آهن‌دار با استفاده از نور عبوری میکروسکپ‌های دوچشمی و همچنین

این رسوبات ضروری است وجود ندارد (به عنوان مثال گوراک، ۱۹۸۷؛ درپسن، ۱۹۸۹؛ هاردِر، ۱۹۸۹؛ ماک و فرشاد، ۲۰۰۵). توضیحات در رابطه با ژنز اوولیت‌های آهن‌دار باید به گونه‌ای باشد که علاوه بر منشأ آهن، نحوه تمرکز و تجمع آن را در لامینه‌های پوششی کورتکس مشخص نماید. از نظریات قدیمی مربوط به چند دهه پیش می‌توان مواردی از قبیل تمرکز کلوئیدهای هیدروکسید آهن - رس در مراحل اولیه دیاژنز دریایی (کارپف و همکاران، ۱۹۶۷؛ کیمبرلی، ۱۹۷۹)، تشکیل اووئیدهای غنی از آهن در اثر تمرکز ژل هیدروکسید آهن - سیلیس - آلومینیوم (هاردِر، ۱۹۸۹؛ بهاتاچاریا و کاکیموتو، ۱۹۸۲) و یا تأثیر شرایط خروج از آب از طریق فرآیندهای خاک‌زایی (دوبویس و آیکول، ۱۹۷۷) را که مشابه فرآیند تشکیل پیزولیت‌های لاتریتی است، نام برد. این نظریات از شباهت ساختمانی ظاهری بین لامینه‌های هم‌مرکز اووئیدهای آهن‌دار و پیزوئیدهای لاتریتی منشأ می‌گیرد ولی کمتر توضیحی در ارتباط با نحوه رشد لامینه‌های هم‌مرکز ارائه شده است.

از دیگر مطالعاتی که در سال‌های اخیر انجام شده است می‌توان به مطالعه کانی‌شناسی اووئیدهای آهن‌دار و ترکیب عناصر آن توسط ماک و فرشاد (۲۰۰۵)، بررسی شرایط محیط رسوب‌گذاری و ارتباط آن با نهشته شدن رسوبات آهن‌دار توسط رئولید و همکاران (۲۰۰۸)، مطالعه شرایط آب و هوای قدیمه و نقش آن در تشکیل این نوع رسوبات توسط قرائی و همکاران (۲۰۰۴) و همچنین نقش فعالیت‌های ولکانیک در این رابطه توسط استورسون و همکاران (۲۰۰۰) اشاره کرد. قابل توجه این که در بیشتر مطالعات امروزی، سازوکار تشکیل کورتکس و چگونگی تمرکز آهن یا تجمع ذرات آهن‌دار در کورتکس اووئیدهای غنی از آهن کمتر مورد توجه بوده است.

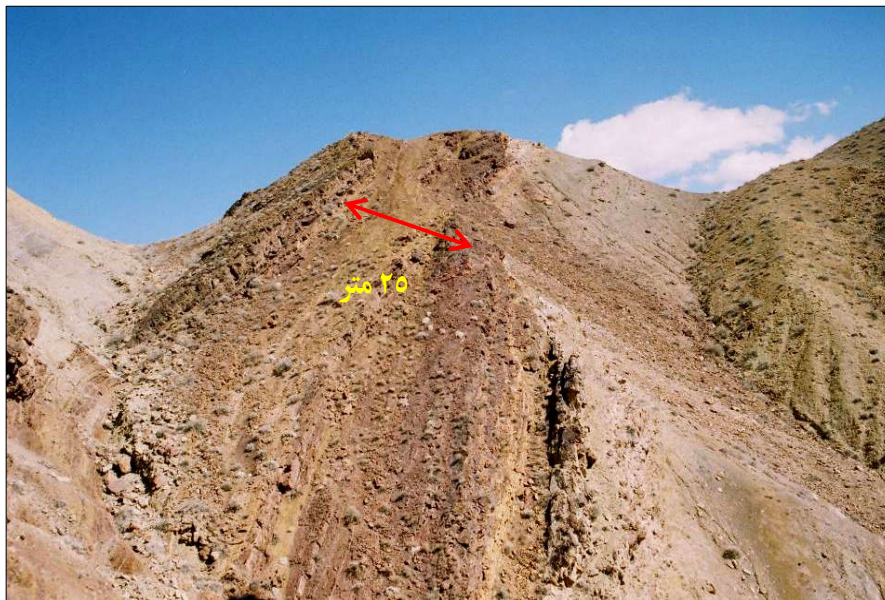
تعداد ۷ عدد نمونه انتخاب شده با استفاده از SEM در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه توکیو مورد مطالعه قرار گرفته است.

نور انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های انتخاب شده‌ای که حاوی بیشترین ذرات اووئیدی است به منظور کانی‌شناسی مورد آنالیز پراش اشعه X قرار گرفته و سپس



شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، محل برش با علامت ستاره مشخص شده است. اقتباس از یزدی (۱۹۹۹) با تصحیحات بعدی.

شکل ۱: موقعیت و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.



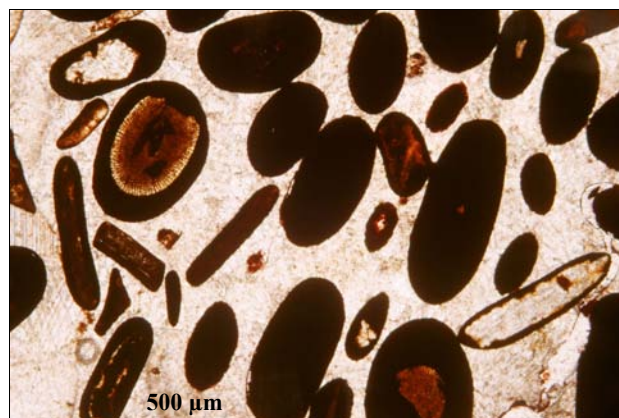
شکل ۳: نمایی از لایه سفالوپوددار واجد اوولیت‌های آهن‌دار در برش حوض دوراه.

## بحث

## ۱- ترکیب و ساختمان میکروسکپی ذرات آهن دار اوولیتی

بررسی‌های دقیق با استفاده از روش‌های پتروگرافی و میکروسکپ الکترونی به منظور پی بردن به چگونگی تشکیل و رشد پوشش خارجی (cortex) ذرات آهن دار اوولیتی صورت گرفته است. در مطالعه پتروگرافی، بسیاری از دانه‌های آهن دار یک رشد هم مرکز از لامینه‌های ظریف را نشان می‌دهند. طبقات آهن دار در این منطقه عمدتاً دربردارنده ذرات اوولیدی بوده و به عنوان رسوبات آهن دار اوولیتی شناخته می‌شوند. فراوانی دانه‌های اوولید در مقاطع نازک بین ۵ تا ۴۰ درصد و مقادیر بیوکلست بین ۱۰ تا ۳۰ درصد است. همچنین مقادیر کمتری از اینتراکلست و ندرتاً پلوئید نیز مشاهده می‌شود. ذرات تشکیل دهنده دارای جورشدگی خوب و میانگین اندازه دانه‌های آهن دار حدود ۳۰۰ تا ۷۰۰ میکرون است (شکل ۴). بیوکلستها به ترتیب کاهش فراوانی شامل خرده‌های اکینودرم، پوسته براکیوپودا، بریوزوئر، گاستروپودا و گاهی اوقات خرده‌های استخوانی مهره‌داران است.

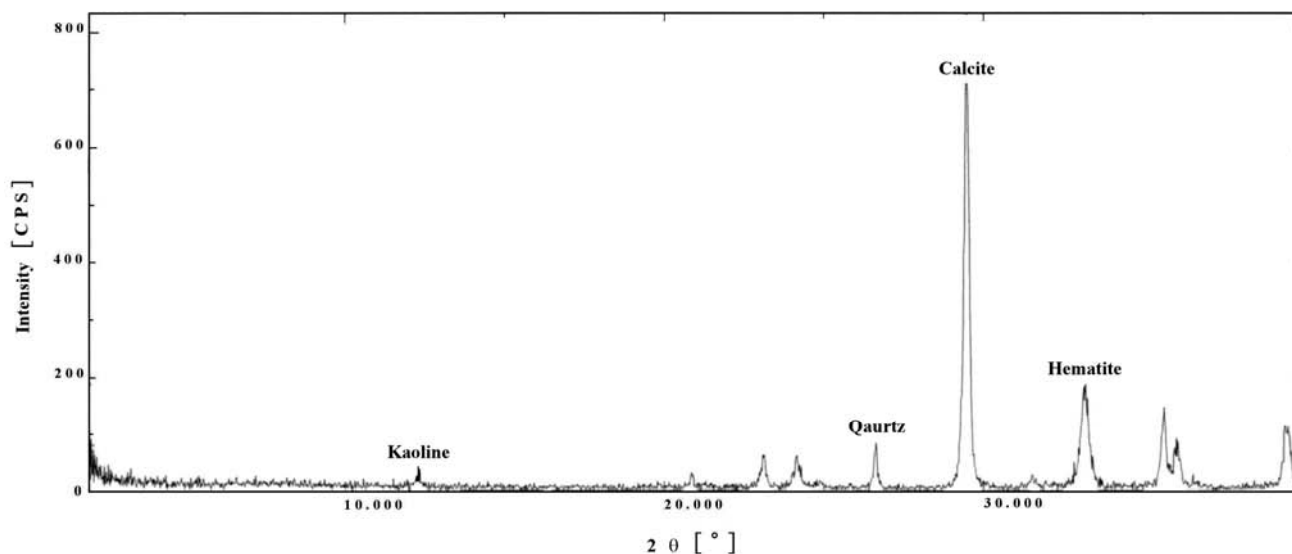
اوولیدهای آهن دار ترکیبی از یک هسته و پوششی است که به صورت هم مرکز در اطراف هسته رشد کرده‌اند (شکل ۴).



شکل ۴: اوولیدهای آهن دار با جورشدگی خوب. هسته اوولید از خرده‌های اسکلتی تشکیل شده است.

بررسی ویژگی‌های کانی شناسی با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD) نشان می‌دهد که اوولیدهای آهن دار عمدتاً شامل هماتیت و مقادیر جزئی کائولن است (شکل ۵). خرده‌های بیوکلست، اوولیدهای آهن دار شکسته شده و قطعات لیتوکلست به عنوان هسته در مرکز اوولیدها دیده می‌شوند. هسته‌ها غالباً خرده‌های موجودات دریایی و شاهی بر تشکیل این ذرات در محیط کاملاً دریایی‌اند.

مشاهدات توسط SEM نیز نشان می‌دهد که پوشش ذرات اوولیدی اساساً از لامینه‌های هماتیت تشکیل شده است (شکل ۶) که تغییرات جزئی در ضخامت را نشان داده و دارای رشد مماسی هستند. بعضی از اوولیدها دارای شکل بیضوی و کشیده هستند. چنانچه اوولیدها از همان ابتدا از هماتیت تشکیل شده باشند احتمالاً بسیار شکننده‌تر از آن بوده‌اند که انواع کشیده و بیضوی آن از طریق تغییر شکل اوولیدهای کروی شکل به دست آمده باشند (دریسن، ۱۹۸۹). بنابراین اوولیدها دارای خاصیت پلاستیک بوده و احتمالاً از کانیهای رسی تشکیل شده‌اند تا بتوانند تحت تأثیر فشردگی دفنی به شکل‌های بیضوی تغییر شکل یابند (گوراک، ۱۹۸۷). این امر نشان می‌دهد که تشکیل لامینه‌های هم مرکز (concentric) آهن و مواد رسی در اطراف هسته یک فرآیند تشکیل اولیه بوده است. به نظر می‌رسد فابریک مماسی اوولیدهای آهن دار از طریق تجمع ذرات معلق در آب از قبیل اکسیدهای آهن هیدراته و یا ذرات رس آواری نظیر کائولن در اطراف هسته تشکیل شده باشد.



شکل ۵: گراف مربوط به آنالیز XRD نشان دهنده وجود کانیهای هماتیت و به میزان کمتر کائولن در اووئیدهای آهن است. کانی کلسیت مربوط به زمینه سنگ و یا سیمان کلسیتی در نمونه مورد مطالعه است.

## ۲- منشأ میکروبی اووئیدهای آهن دار

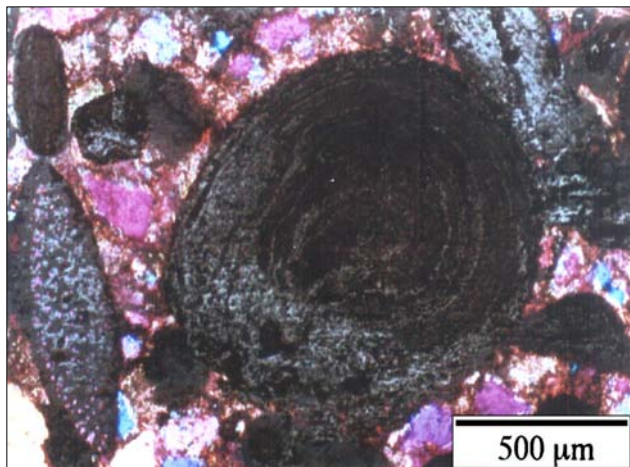
لامینه‌های مسطح تا موج دار و گاه ناپیوسته و با ضخامت حدود ۲ تا ۵ میکرون در یک لامینه منفرد، شباهت زیادی به آنکوئیدهای با رشد میکروبی دارند (شکل ۷). لامینه‌های میکروبی با اشکال لوله‌ای و روده‌ای شکل، چندین مرحله از رشد هم مرکز را در اطراف هسته نشان می‌دهند (شکل ۸). این شکلهای شبیه اشکال میکروبی هستند که قبلاً توسط بور کهالتر (۱۹۹۵) توصیف شده است. این نوع فابریک ارگانوزنیک در سنگهای رسوبی بسیار نادر است، زیرا ساختمان ارگانیک اولیه در اثر تبلور و یا تبلور مجدد کانیها در طی دیازنز به آسانی شکسته شده و از بین می‌رود. با توجه به مشاهدات انجام شده توسط میکروسکپهای نوری (شکل ۷) و الکترونی (شکل ۸) و همانندی بسیار زیاد اووئیدهای آهن دار به آنکوئیدها، می‌توان آنها را به عنوان آنکوئید یا میکروآنکوئیدهای آهن دار نیز نام گذاری نمود. بنابراین به نظر می‌رسد که آنکوئیدهای آهن دار محصولی از

تجمعات میکروبی و رشد آنها در اطراف هسته بوده و ویژگیهای میکرومورفولوژیک مشاهده شده، یک عامل بیوژنیک را جهت تشکیل ذرات آهن دار پیشنهاد می‌کند. این عامل بیوژنیک می‌تواند شامل فرآیندهای شیمیایی و یا فرآیندهای فیزیکی باشد که سبب جذب شیمیایی آهن یا به تله انداختن ذرات آهن دار از آب دریا شود.

فرآیندهای شیمیایی تحت تأثیر چرخه ژئوشیمیایی آهن و توسط شرایط اکسیداسیون- احیا (Redox) کنترل می‌شود. این امر به طور مشخص در محیطهای مختلف امروزی هم قابل مشاهده است ولی در طی زمان زمین شناسی با تغییراتی همراه بوده به طوری که اتمسفر خشکی دست کم در طول دو میلیارد سال گذشته به تدریج اکسیدی شده است. اکسیداسیون شیمیایی آهن دوظرفیتی ( $Fe^{2+}$ ) اغلب از طریق واکنش محلولهای احیا شده با آبهای اکسیژن دار اتفاق می‌افتد. همچنین اکسیداسیون آهن دوظرفیتی در نتیجه فعالیت میکروارگانیزمهایی که اکسیداسیون آهن دوظرفیتی



اکسیدان انجام می‌شود (کروال و همکاران، ۲۰۰۴؛ مان، ۲۰۰۴).



شکل ۷: آنکوئیدهای آهن‌دار با رشد میکروبی.

را به منظور تولید انرژی جهت نیازهای متابولیک و رشد خود انجام می‌دهند در محیط‌های کمتر هوازی یا غیر



شکل ۶: تصویر SEM اوئید آهن‌دار با رشد مماسی در کورتکس. هسته در مرکز اوئید قابل تشخیص است.

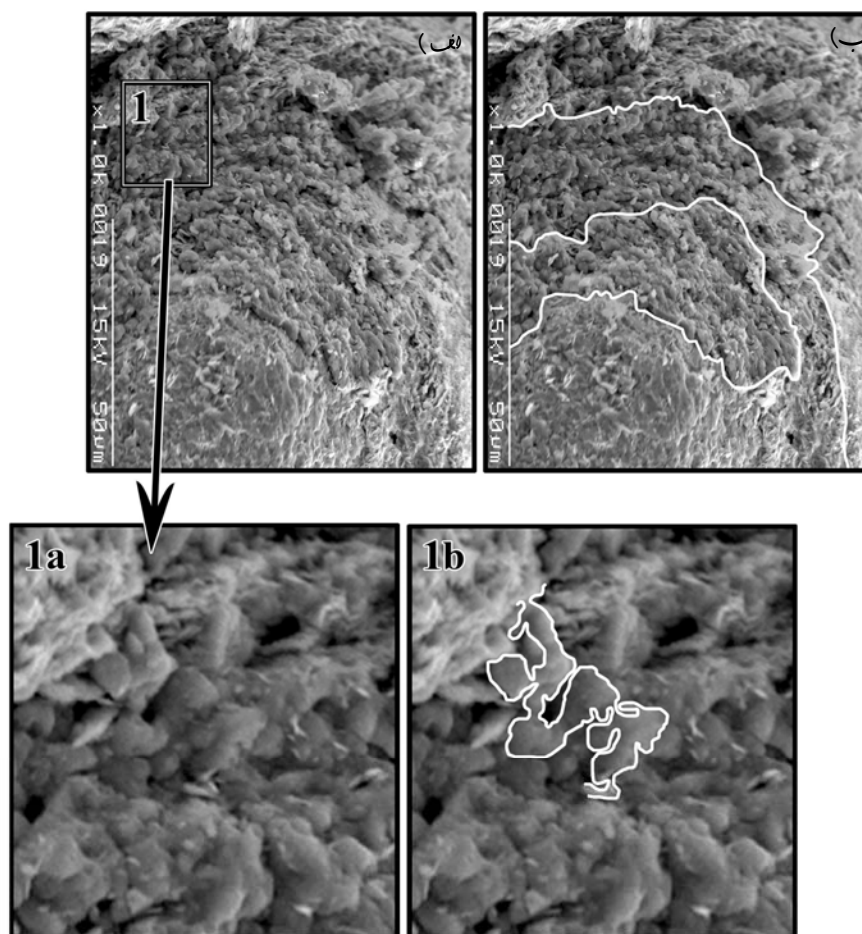
آهن سه ظرفیتی هیدراته را به صورت ساختارهای زائده مانند حفظ می‌کند. بنابراین جذب آهن دوظرفیتی از محیط آبی و تمرکز آن توسط باکتریهای آهن، عامل مهمی در تشکیل رسوبات آهن‌دار به شمار می‌آید.

در رابطه با احتمال نقش فرآیندهای فیزیکی در تشکیل کورتکس آهن‌دار، شواهد پتروگرافی و مشاهدات SEM حاکی از آن است که تمرکز ذرات آهن در اطراف هسته به صورت اولیه با یک رشد هم مرکز (concentric) صورت گرفته است. شکل ۹ نمودار شماتیکی از چگونگی رشد لایه‌های فرآینده به دور هسته در محیط پرانرژی و حاوی ذرات آهن‌دار است که شرایط تشکیل اوئیدهای آهن‌دار مورد مطالعه را نشان می‌دهد. هسته ممکن است از ذرات آواری از قبیل دانه‌های کوارتز و ذرات لیتو کلاست و یا خرده‌های فسیلی از قبیل قطعات کرینوئید (شکل ۴) تشکیل شده باشد. همچنین گاهی اوقات اوئیدهای ناقص و یا کامل قبلاً تشکیل شده نیز به صورت هسته اوئیدهای

در واقع اکسیداسیون آهن به عنوان واکنش مهمی از چرخه اکسیداسیون - احیا تحت شرایط ویژه توسط باکتریها انجام می‌شود. به عنوان مثال از نمونه‌های امروزی می‌توان به اکسیداسیون آهن توسط *Gallionella ferruginea* (یک نوع باکتری کیمولیتوتروفیک) در آب تازه با PH حدود هفت، تمرکز  $O_2$  حدود ۶۰ میکرومول بر لیتر و  $Fe^{2+}$  حدود ۲۰۰ میکرومول بر لیتر اشاره کرد به طوری که سرعت واکنش در این فرآیند حدود ۶۰ مرتبه سریعتر از واکنشهای غیر زیستی (Abiotic) است (ساگرد و همکاران، ۲۰۰۰). در بسیاری از این موارد محصول آهن اکسید شده کانیهای هیدروکسیدی آهن سه ظرفیتی ( $Fe^{3+}$ ) است که به مقدار زیاد غیر محلول بوده و دارای پتانسیل حفظ شدگی بالا هستند (هائیز، ۲۰۰۰؛ کروال و همکاران، ۲۰۰۴). در برخی از باکتریها تمرکز آهن در اطراف پوشش خارجی یا کپسول آن صورت می‌گیرد. به عنوان مثال باکتری *Gallionella* که در محیط‌های دریایی دیده می‌شود مقادیر زیادی از اکسید

بوده و ذرات اووئیدی به دلیل افزایش وزن ته نشین نشده باشند.

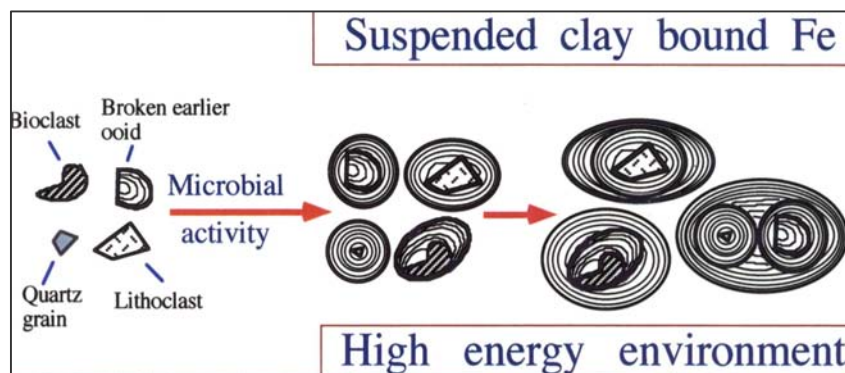
درشت تر مشاهده می شوند. رشد لایینه های میکروبی در اطراف هسته که معمولاً به صورت متقارن صورت می گیرد تا زمانی ادامه می یابد که انرژی محیط قادر به حمل ذرات



شکل ۸: تصویر میکروسکپ الکترونی نشان دهنده چندین مرحله رشد میکروبی به دور هسته (۸ ب) مربوط به میکروارگانیسمهای سازنده کورتکس است. شکلهای لوله ای در تصویر 1a بزرگ نمایی شده و حالت روده ای شکل در تصویر 1b مشخص شده است.

Recrystallization) ژل آهن حاصل از تجمع ذرات کلوئیدی نسبت می دهند (هاردر، ۱۹۸۹) و برخی دیگر آن را ناشی از تجمع مکانیکی ذرات رس آواری و تبدیل آن به فازهای غنی از آهن می دانند (ون هوتن و پوروکر، ۱۹۸۴). در همه این موارد نقش فرآیندهای بیولوژیک قابل توجه است (جرینگ، ۱۹۸۶؛ داهانایاک و کرومبین، ۱۹۸۶؛ گِردس و کرومبین، ۱۹۸۷).

خاکهای لاتریتی حمل شده به حوضه رسوبی عموماً به عنوان منبع اصلی آهن در نظر گرفته می شوند (بورکهارتر، ۱۹۹۵). آهن انتقال یافته از خشکی ممکن است به صورت پوشاننده ذرات رس (هاردر، ۱۹۸۹) و یا به صورت کلوئیدهای هیدروکسید آهن (شالکوویتز، ۱۹۷۸) توسط جریان آب به محیطهای نزدیک ساحل حمل گردد. برخی تشکیل کورتکس آهن دار را به تبلور مجدد



شکل ۹: تصویر شماتیک نشان دهنده وضعیت تشکیل و رشد لایه‌های فزاینده به دور هسته اووئیدهای آهن‌دار.

گزارش شده است و معروفترین آن در پلانفرم اروپای شرقی در شرق اوکراین واقع شده است (ویلسون و لایاشکویچ، ۱۹۹۶). افقهای بازالتی به سن فامنین در ایران نیز به نظر می‌رسد که بخشی از ایالت بزرگ آذرین دونین پسین در پالئوتتیس بوده است (قرائی و همکاران، ۲۰۰۴). فعالیت‌های ولکانیک علاوه بر آهن باعث خروج مقادیر زیادی گاز  $CO_2$  و افزایش آن در اتمسفر شده و از این طریق به گرم و مرطوب شدن آن کمک می‌نماید. شواهد دیرینه‌شناسی و ژئوشیمی (فریکس و همکاران، ۱۹۹۲؛ راک، ۱۹۹۹؛ چن و همکاران، ۲۰۰۲؛ قرائی و همکاران، ۲۰۰۴) نشان دهنده وجود شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب در اواخر دونین است. در چنین شرایط گرم و مرطوب، ذرات حاوی آهن که به عنوان محصول هوازدگی به صورت کلوئیدهای حاصل از افقهای خاکهای قدیمی و یا به صورت پوشش ذرات رسی (clay bound Fe)، از محیط قاره‌ای به محیط دریایی حمل شده‌اند، می‌توانسته‌اند نقش مهمی در رابطه با منبع آهن داشته باشند. بنابراین نقش فعالیت‌های ولکانیک دونین پسین در تأمین آهن در حوضه رسوبی حائز اهمیت بوده و با توجه به این که هر دو منبع آهن حاصل از فعالیت‌های ولکانیک و همچنین حاصل از فرسایش خشکی در ابتدای

گرچه پس از دهها تحقیق بر روی اووئیدهای آهن‌دار در سرتاسر دنیا، نظرات گوناگونی در رابطه با چگونگی تشکیل آن مطرح شده است، در نهایت پذیرفته شده که اووئیدهای آهن‌دار در محیط‌های مختلف و با بیش از یک روش تشکیل می‌شوند (بورک‌هالتر، ۱۹۹۵). جالب توجه این که در بررسی‌های امروزی کمتر به نقش فعالیت‌های میکروبی در تشکیل اووئیدهای آهن‌دار اشاره می‌شود (استورسون و همکاران، ۲۰۰۰؛ ماک و فرشاد، ۲۰۰۵؛ رتولید و همکاران، ۲۰۰۸)، اما به هر حال شواهد موجود در این مطالعه بر وجود رشد میکروبی در اطراف هسته دلالت می‌نماید که خود می‌تواند از طریق فرآیندهای شیمیایی و یا از طریق فرآیندهای فیزیکی باعث تمرکز آهن در کورتکس گردد. علاوه بر وجود فعالیت‌های میکروبی عامل مهم دیگر برای تشکیل این ذرات آهن‌دار، وجود Fe به میزان کافی در محیط رسوب‌گذاری است که منشأ آن می‌تواند مستقیماً از طریق فعالیت‌های ولکانیک زیردریایی (استورسون و همکاران، ۲۰۰۰) و یا هوازدگی و فرسایش سنگهای آهن‌دار موجود در خشکی و حمل آن به حوضه رسوبی باشد (سیل و تین، ۱۹۸۹). وجود آتشفشانهای زیر دریایی اوایل فامنین مربوط به ایالت‌های آذرین دونین پسین قبلاً



مکانیکی (به تله انداختن ژل اکسید فریک یا رس آهن دار) و یا جذب شیمیایی عنصر آهن (از طریق آنزیمهای فعال و تحت تأثیر EH و PH محیط) از آبهای حاوی آهن دو ظرفیتی.

ب) ورود مقادیر زیاد آهن همراه ذرات رس آهن دار به صورت اکسید آهن به حوضه رسوبی که می‌تواند حاصل فرآیند هوازدگی در خشکی و حمل آن به دریا باشد و یا این که عنصر آهن مستقیماً حاصل فعالیت‌های ولکانیک زیر دریایی بوده باشد.

فامنین وجود داشته و در ایران نیز گزارش شده است (قرائی و همکاران، ۲۰۰۴)، احتمالاً هر دوی این منابع در فراهم نمودن آهن مورد نیاز جهت تشکیل اووئیدهای آهن دار نقش داشته‌اند.

### نتیجه گیری

در رابطه با تشکیل اووئیدهای آهن دار سازند شیشتو دو عامل اساسی بیشترین نقش را داشته‌اند که عبارتند از: الف) رشد میکروبی پوششی به دور یک هسته و تشکیل آنکوئید - میکرو آنکوئید در محیط دریایی و سپس جذب

### References

- Ashouri, A.R., 2004. Late Devonian and middle Devonian conodonts from eastern and northern Iran. *Revista Espanola Micropaleontologia*, 3: 355-365.
- Bhattacharyya, D.P., & Kakimoto, P.K., 1982. Origin of ferriferous ooids: an SEM study of Ironstone ooids and Bauxite pisoids. *Journal of Sed. Petrology*, 52(3): 849-857
- Burkhalter, R.M., 1995. Ooidal ironstones and ferruginous microbialites; origin and relation to sequence stratigraphy (Aalenian and Bajocian, Swiss Jura Mountains). *Sedimentology*, 42(1): 57-74.
- Chen, D., Tucker, M.E., Shen, Y., Yans, J. & Preat, A., 2002. Carbon isotope excursions and sea level change: implications for the Frasnian-Famennian biotic crisis. *J. Geol. Soc. Lond.*, 159: 623-626.
- Croal, L.R., Johnson, C.M., Beard, B.L., & Newman, D.K., 2004. Iron isotope fractionation by Fe (II) - oxidizing photoautotrophic bacteria. *Geochim. Cosmo-chim. Acta*, 68(6): 1227-1242.
- Dahanayake, K., & Krumbein, W.E., 1986. Microbial structures in oolitic iron formations. *Miner. Depos.* 21: 85-94.
- Dreesen, R., 1989. Oolitic ironstones as event stratigraphical marker beds within the Upper Devonian of the Ardenno-Rhenish Massif. In: Yong, T.P., & Taylor, W.E.G., (eds.), Phanerozoic ironstones. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 46: 65-78.
- Dubois, D., & Icole, M., 1977. Les formation à oolite ferrugineuses du Bassin des Iullemeden (Niger Occidental) et les cuirassement ulterieurs. *Abstract 5th Ann. Reunion, Sci. de la Terre*, p.207.
- Frakes L.A., Francis J.E. & Syktus J.I., 1992. Climate modes of the Phanerozoic. *Cambridge University Press*. p.274.
- Gehring, A.U., 1986. Untersuchungen zur Bildung von Eisenoolithen. *Ph.D. thesis, ETH Zurich*.
- Gerdes, G., & Krumbein, W.E., 1987. Biolaminated deposits. In: Battacharji, S., et al. (eds.) *Lecture Notes in Earth Sciences.*, Springer, Berlin, Germany, 183p.
- Gharaie, M.H.M., Matsumoto, R., Kakuwa, Y., & Milroy, P.G., 2004. Late Devonian facies variety in Iran: volcanism as a possible trigger of the environmental perturbation near the Frasnian-Famennian boundary. *Geol. Quart.*, 48(4): 323-332.
- Guerrak, S., 1987. Metallogenesis of cratonic oolitic ironstone deposits in the Bledet Mass, AzzelMatti, Ahnetand Mouydir basins, Central Sahara, Algeria. *Geol. Rundsch.*, 76: 903-922.
- Harder, H., 1978. Synthesis of iron layer silicate minerals under natural conditions. *Clays Clay Miner.*, 26: 65-72.
- Harder, H., 1989. Mineral genesis in ironstones: A model based upon laboratory experiments and petrographic observation. *Spec. Publ. Geol. Soc. Lond.*, 46: 9-18.

- Haese, R.R., 2000. The reactivity of iron. *In: Schulz, H.D., & Zabel, M., (eds.), Marine Geochemistry, Springer*, p.233–261.
- Karpov, P.A., Losev, A.M. & Shilin, A.V., 1967. Mineralogy and conditions of Devonian oolitic iron ore formation on the eastern slope of the Voronezh antecline. *Lithol. Miner. Resources*, 3: 321-330.
- Kimberley, M.M., 1979. Origin of oolitic Iron Formations. *Journal of Sedimentary Petrology*, 49(1): 111-132
- Munn, C.B., 2004. Marine Microbiology, Ecology and Applications. *Garland Science /Bios Scientific Publ.*, 282 p.
- Mucke, A., & Farshad, F., 2005. Whole-rock and mineralogical composition of Phanerozoic ooidal ironstones: Comparison and differential of type and subtypes. *Ore Geology Reviews*, 26: 227-262.
- Racki, G., 1999. Silica-secreting biota and mass extinctions: survival patterns and processes. *Palaeogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol.*, 154: 107-132.
- Reolid, M., Abad, I., & Martin-Garcia, J.M., 2008. Palaeoenvironmental implications of ferruginous deposits related to a Middle–Upper Jurassic discontinuity (Prebetic Zone, Betic Cordillera, Southern Spain). *Sedimentary Geology*, 203: 1–16.
- Sholkovitz, E.R., 1978. Flocculation of dissolved Fe, Mn, Al, Cu, Ni, Co and Cd during estuarine mixing. *Earth and planetary science letters*, 41: 71-86.
- Siehl, A., & Thein, J., 1989. Minette-type ironstones. *In: Young, T.P., & Taylor, W.E.G., (eds.), Phanerozoic Ironstones, Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 46: 175-193
- Soggard, E.G., Medenwaldt R., & Abraham-Peskir, J.V., 2000. Conditions and rates of biotic and abiotic iron precipitation in selected Danish fresh water plants and microscopic analysis of precipitate morphology. *Water Res.*, 34: 2675–2682.
- Stocklin, L., Eftekharnjad, J., & Hushmandzadeh, A., 1965. Geology of the Shotori Range (Tabas area, East Iran). *Geological Survey of Iran, Report No.3*, p.1-69
- Sturesson, U., Heikoop, J.M., & Risk, M.J., 2000. Modern and Paleozoic iron ooids—a similar volcanic origin. *Sedimentary Geology*, 136: 137-146.
- Van Houten, F.B., & Bhattacharyya, D.P., 1982. Phanerozoic oolitic ironstones Geological record and facies model. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 10: 441-457
- Van Houten, F.B., & Purucker, M.E., 1984. Glauconitic peloids and chamositic ooids—favourable factors, constraints and problems. *Earth-Science Reviews*, 20: 211-243.
- Wendt, J., Hayer, J.K., & Bavandpur, A., 1997. Stratigraphy and depositional environment of Devonian sediments in north-east and east-central Iran. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 206: 277-322.
- Wilson, M., & Lyashkevich, Z.M., 1996. Magmatism and the geodynamics of rifting of the Pripyat Dniepr-Donets rift, East European Platform. *Tectonophysics*, 268: 65-81.
- Yazdi, M., 1999. Late Devonian - Carboniferous conodonts from Eastern Iran. *Riv. Ital. Paleont. Strat.*, 105: 167-195.

## Ferruginous oolitic limestone in Shishtu Formation (Late Devonian) and the role of Microbial activities in their formation

\*Mahmudi Gharaie, M.H., Ashouri, A., Khanehbad, M., Ghaderi, A.  
Center of Excellence for Paleontology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

\*E-mail: mhmgharaie@yahoo.com

### Abstract

Ferruginous shallow marine limestones of Late Devonian age -mainly Famennian- are widely distributed across central and eastern Iran. The iron, almost hematite, is concentrated in oolitic and skeletal grainstones, skeletal packstones and rarely in lime-mudstones. Hematite occurred as clay coatings on various allochems (ooids, bioclasts and intraclasts), and also as finely dispersed clays within micritic beds. Most grains are concentrically laminated with alternations on ferruginous clays and micro-laminae suggesting that the clays were sydepositionally formed on grain surfaces. The ferruginous beds are commonly associated with ooides and oncoides. The planar to wavy and sometimes discontinuous laminae with individual thickness of 2 to 5  $\mu\text{m}$  resemble oncolitic microbialites. The microbial tubules from laminae show several concentric layer of stepwise growth around a core. Micro-morphological and mineralogical characteristics suggest biogenic factors are essential for the formation of ferruginous grains.

**Key word:** Oolite, Ferruginous sediments, Shishtu Formation, Late Devonian, Microbial.