اسفنج‌های شته‌تیتی هیپرکلسیفای و اهمیت پالئواکولوژی آن‌ها در سازند اسفندیار در منطقه دیهوک (کوه‌های شتری، بلوک طبس- ایران مرکزی)

حسینعلی بگی*[1] و کوروش رشیدی[2]

۱- استادیار گروه عمران، دانشکده خوارزمی شهرضا، دانشگاه فنی و حرفه‌ای اصفهان، اصفهان
۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه یزد، یزد

نویسنده مسئول: hbagi@tvu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۱/۲۶ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۲۶

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

یکی از عمده‌ترین فسیل‌های بنتیک سازند اسفندیار در منطقه دیهوک (بلوک طبس)، شته‌تیت‌های هیپرکلسیفای می‌باشند که از نظر ساختاری شباهت‌هایی هم با گروه‌های مرجانی، بریوزوا و استروماتولیت دارند. این گروه از اسفنج‌های هیپرکلسیفای با اشکال متنوعی همانند لامینار، گنبدی، پیازی شکل، ستونی، شاخه‌ای پیچیده و با اندازه‌های متفاوت (با حداکثر قطری ۶۰ سانتی‌متر) در برش دیهوک مشاهده گردیدند، به طوری که این تنوع فرم‌ها نشانگر میزان و نوسانات انرژی محیطی می‌باشد. این گروه از فسیل‌های بنتیک برای اتصال اولیه نیاز به بستری سخت دارند و در محیط‌های نورانی یا فوتیک زندگی می‌کرده‌اند. به طور معمول عوامل رسوبگذاری و نوسانات انرژی در محیط به طور موثری در تکوین فرم این گروه از اسفنج‌ها موثر بوده‌اند. بررسی انرژی محیط دیرینه نشان می‌دهد که شته‌تیت‌های شاخه‌ای و ستونی در محیط‌های کاملا آرام رشد کرده‌اند، در حالی که سایر فرم‌ها با شکل صفحه‌ای و گنبدی، خود را با محیط‌های پر انرژی‌تر، سازش داده‌اند. بررسی و تفسیر این نوع رشد در شته‌تیت‌ها همزمان با مطالعه رخساره‌ها در پلاتفرم سازند اسفندیار درک بهتری از محیط دیرینه فراهم نموده است، از نظر زمانی پیدایش و گسترش این گروه از اسفنج‌ها با اسکلت شته‌تیتی در سازند اسفندیاردر محدوده زمانی کیمیریجین پیشین در بخشی از تتیس مرکزی (بلوک طبس) قابل توجه می‌باشد، اگر چه این گروه در کربونیفر بالایی- پرمین، تریاس میانی تا کرتاسه در سراسر تتیس گسترش داشته‌اند.

واژگان کلیدی: اسفنج‌های شته‌تیتی، نحوه رشد، سازند اسفندیار، پالئواکولوژی

پیشگفتار

اسفنج‌ها به طور گسترده‌ای در رسوبات دریایی ژوراسیک بالایی در حاشیه شمالی تتیس وجود داشته‌اند (لینفلدر و همکاران، ۲۰۰۵). اما در بخش جنوبی نئوتتیس این سازندگان ریفی عمدتا به صورت محلی گسترش داشته‌اند (لینفلدر و همکاران، ۲۰۰۵؛ شلاگینتوایت و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین بهترین رخنمون‌های شناخته شده ریف‌ها در ژوراسیک بالایی در جنوب تتیس از عربستان سعودی گزارش شده است (الاسد، ۱۹۹۱). پژوهشگران مختلفی تاکنون انواع مختلف مرجان، اسفنج، میکروبیولیت و اسفنج‌های هیپرکلسیفای شته‌تیتی[1] را در رسوبات اکسفوردین و کیمیریجین از نقاط مختلف دنیا شناسایی نموده‌اند (بگی و همکاران، ۲۰۱۵؛ وست، ۲۰۱۱a)، که عمدتا از سازندگان ریف‌ها در این زمان‌ها بوده‌اند (ریدل، ۱۹۹۰). به طور کلی شته‌تیت‌ها گروهی از جانداران دریایی هستند که دارای اسکلتی متشکل از تابوله بوده و اکثر پژوهشگران آن‌ها را نوعی اسفنج می‌دانند (ریتنر،۱۹۹۲؛ فلوگل، ۲۰۰۴). از فراوان‌ترین اسفنج‌های موجود و شناسایی شده در سازند اسفندیار، شته‌تیت‌های هیپرکلسیفای می‌باشد که به عنوان شاخص با ارزش پالئواکولوژی در تتیس محسوب می‌گردد.

از نظر چینه‌شناسی شته‌تیت‌ها در دوره‌های اردویسین تا میوسن گسترش داشته‌اند اما آن‌ها عمدتا در رسوبات کربونیفر، پرمین و حتی ژوراسیک فراوان هستند. این گروه از اسفنج‌ها همراه با دیگر سازندگان ریفی، تشکیل دهنده اسکلت بیوهرم‌های کوچک می‌باشند (وست، a ۲۰۱۱). در

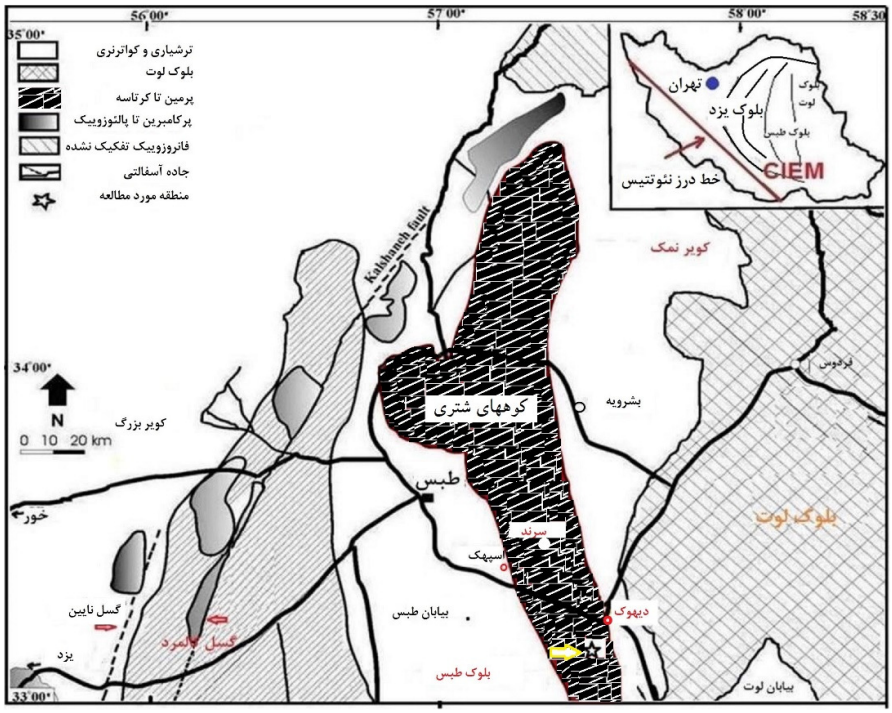
[1] Hypercalcified chaetetid

سازند اسفندیار علاوه بر شته‌تیت، فسیل‌های بنتیک دیگری از خانواده اسفنج‌ها مانند *Neuropora lusitanica* , *Neuropota* sp., *Cladocorapsis* مشاهده گردیده است (فورزیش و همکاران، a ۲۰۰۳).

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

تکامل و گسترش حوضه‌های رسوبی خرده قاره خاور ایران مرکزی توسط تصادم بلوک‌های لوت و یزد کنترل گردیده است (ویلمسن و همکاران، ۲۰۰۳). خرده قاره خاور ایران مرکزی (شکل ۱)، قسمتی از پلیت ایران مرکزی است و امروزه شامل واحدهای ساختمانی بلوک‌های لوت، طبس و یزد می‌گردد (سوفل و همکاران، ۱۹۸۴).

بلوک طبس در خاور ایران مرکزی شامل توالی‌های ضخیم از رسوبات تریاس- ژوراسیک بوده که می‌تواند به فهم تکوین پلیت ایران مرکزی کمک قابل‌توجهی بنماید (فورزیش و همکاران، a ۲۰۰۳). وضعیت رسوبات تریاس- ژوراسیک در بلوک طبس می‌تواند مرتبط با عملکرد فاز سیمرین باشد (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۹). در منطقه مورد مطالعه، به دلیل تغییرات جانبی رخساره‌ای فراوان، سنگ‌چینه‌نگاری رسوبات ژوراسیک میانی- بالایی پیچیده بوده، به طوری که در مطالعات و نقشه‌برداری‌های اولیه واحدهای سنگی اشتباهات قابل‌توجهی انجام گردیده است (شیرر و همکاران، ۲۰۰۳). بدنبال مطالعات تکمیلی در سنگ‌نگاری چینه‌ای (شکل ۲)، بازنگری قابل‌توجهی در این رابطه توسط فورزیش و همکاران انجام گردیده است (ویلمسن و همکاران، ۲۰۰۳).

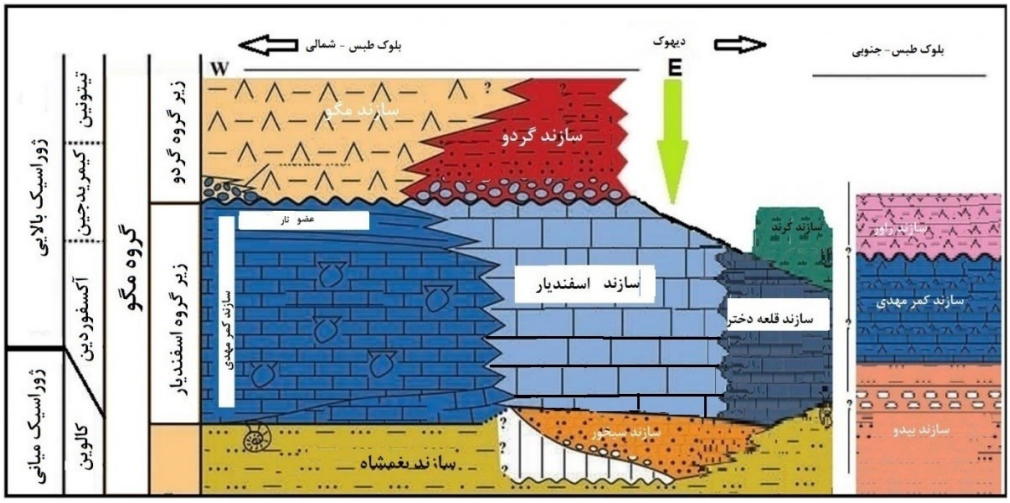


شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی از بخش شمالی بلوک طبس در ایران و موقعیت منطقه مطالعه شده (نقل از ویلمسن و همکاران، ۲۰۰۳)

در طی تکوین بلوک طبس رسوبات کربناته ژوراسیک بالایی جانشین رژیم رسوبی عمدتا سیلیسی کلاستیک (سازند سیخور) تا مارنی سیلتی (سازند بغمشاه) می‌گردد، که مرتبط با عملکرد فاز سیمیرین پسین می‌باشد. سازند عمدتا سیلیسی کلاستیک سیخور به صورت بین انگشتی با سازند عمدتا مارنی سیلتی سازند بغمشاه مرتبط می‌باشد (بگی و همکاران، ۲۰۰۶؛ ویلمسن و همکاران، ۲۰۰۳).

منطقه مورد مطالعه (دیهوک) در ناحیه جنوبی کوه‌های شتری در بلوک طبس و در مجاورت بلوک لوت با مختصات ″ ۱۰ ′ ۱۴ ° ۳۳ N ,″ ۳۶ ′ ۲۶ ° ۵۷ E قرار گرفته است (شکل ۱)، در این منطقه سازند سیخور توسط سازند اسفندیار پوشیده شده است. سازند سیخور عمدتا شامل رسوبات آواری است و به سمت باختر و خاور منطقه به صورت بین انگشتی با سازند سیلتی- مارنی بغمشاه تبدیل و توسط

سازندهای اسفندیار و قلعه‌دختر در بالا مرتبط می‌باشد (شکل ۲). بر اساس مطالعات چینه‌شناسی سن کالوین برای سازند سیخور در نظر گرفته شده است (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۹). بالاترین بخش سازند سیخور شامل آهک‌های ماسه‌ای- سیلتی با میان لایه‌های ماسه‌سنگی می‌باشد. فسیل‌های بی‌مهرگان در بخش‌های آهکی این سازند عمدتا شامل اسفنج‌های شته‌تیتی، نوروپورا، کلادوکروپسیس، مرجان، سوزن خارپوستان و دوکفه‌ای است. بخش پایینی سازند اسفندیار (شکل‌های ۳ و ۶) در این برش غالبا شامل اسفنج‌های آهکی که گاه به آن نام بیوکنگلومرا اطلاق شده است (فورزیش و همکاران، b ۲۰۰۳). در برش مطالعه شده رسوبات شیلی و ماسه‌سنگی زرد رنگ متمایل به زیتونی توسط سازند اسفندیار پوشیده می‌شود. به طور کلی سازند اسفندیار متشکل از رسوبات عمدتا کربنات توده‌ای به رنگ خاکستری روشن است. این سازند با سنگ‌آهک شته‌تیتی تا اوولیتی شروع می‌شود و به سمت بالای سازند، اسفنج‌های شته‌تیتی به صورت پراکنده مشاهده می‌گردد. بخش پایینی سازند اسفندیار از نظر رنگ کمی تیره‌تر از بخش میانی می‌باشد. بخش میانی سازند به رنگ خاکستری روشن تا سفید می‌باشد. عمده رسوبات این سازند مشتمل بر رخساره‌های مادستون ریزدانه تا وکستون می‌باشد، اما سایر رخساره‌ها همانند پلوپید پکستون و بیوفلوتستون گسترش چندانی ندارند و گاهی به صورت جانبی به رخساره مادستون یا بیوکستون تبدیل می‌شوند (شکل ۳). بر اساس فرامینیفرهای مطالعه شده در برش الگو سن آکسفوردین میانی تا کیمیریجین پایینی برای این سازند در نظر گرفته شده است (بگی و همکاران، ۲۰۰۶).



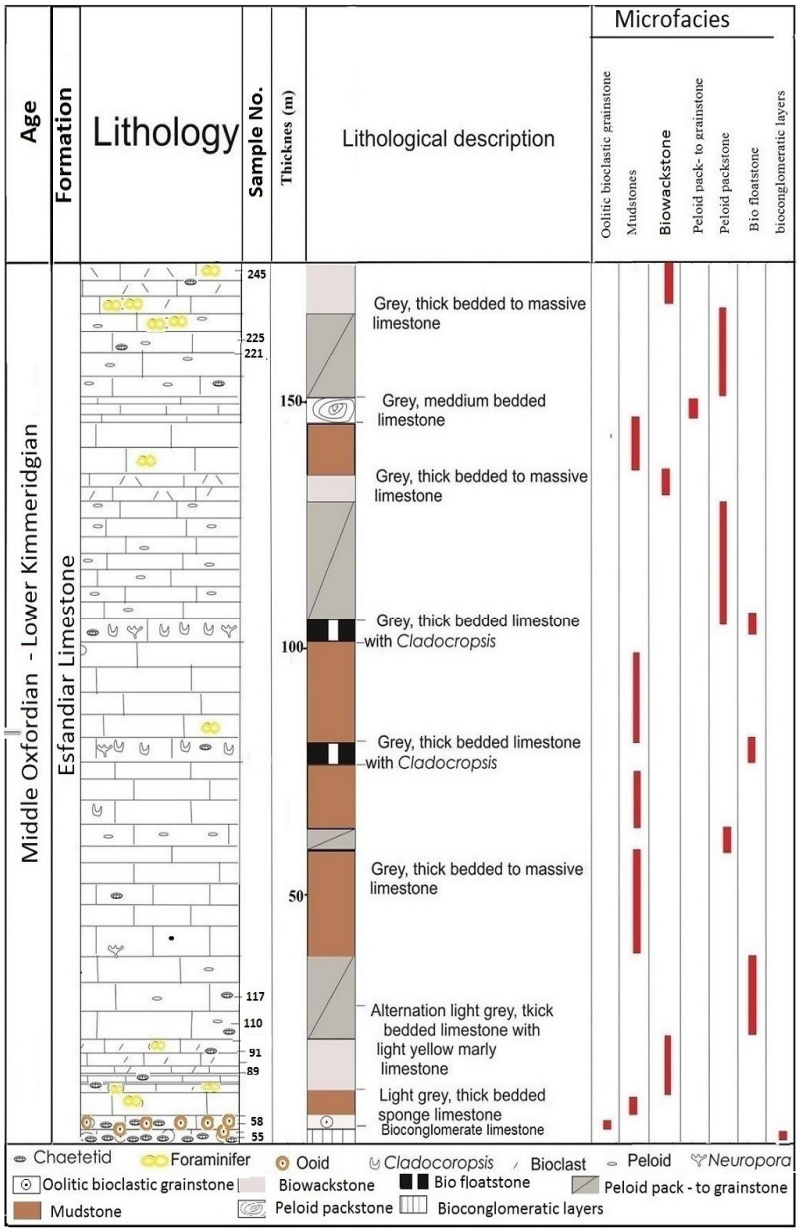
شکل ۲. چینه‌شناسی رسوبات ژوراسیک بالایی در بلوک طبس، خاور ایران مرکزی (نقل از ویلمسن و همکاران، ۲۰۰۹)

روش مطالعه و بررسی

اسفنج‌های شته‌تیتی از نظر شکل خارجی، دارای اشکال مختلفی از لامینار تا گنبدی بوده و در اسکلت داخلی این گروه تابوله‌هایی مشاهده می‌شود. تابوله‌های آهکی آن‌ها معروف به کالیکل هستند (شکل ۵) و در برش‌های عرضی به اشکال مختلفی همانند چند گوشه‌ای، مئاندری، بیضی شکل و نامنظم مشاهده می‌شوند. تابوله‌های اسکلتی در این گروه را می‌توان به صورت اشکال مختلف چند ضلعی، شکل‌دار و یا بی‌شکل در برش عرضی مشاهده نمود (شکل ۴). در برش‌های طولی کالیکل‌ها بیش‌تر به صورت موازی بوده و گاهی همدیگر را قطع می‌کنند و یا به صورت دیکوتومی مشاهده می‌گردند (شکل ۵). در بعضی حالات کالیکل‌ها تغییر حالت داده و به شکل سپتای دروغین مشاهده می‌شوند (ریتنر، ۱۹۹۲).

اگرچه در مطالعات اولیه توسط پژوهشگران دیگر، اسفنج‌های شته‌تیتی همانند بسیاری از فسیل‌های نامشخص در گروه‌های مختلفی همانند اسفنج‌ها، مرجان‌ها، بریوزواها و حتی جلبک‌ها قرار داده شدند، اما بر مبنای مطالعات جدید به خصوص تریتیس (وست، ۲۰۱۱a، a, b ۲۰۱۲)، شته‌تیت‌ها در گروه اسفنج‌های هیپرکلسیفای قرار گرفته‌اند. در قاعده اولیه شته‌تیت‌ها اسپیکول مشاهده می‌شود اما در اسکلت ثانویه

آن‌ها تابوله آهکی مشاهده می‌شود. در نمونه‌های جدید، شته‌تیت‌ها در طول زندگی اسپیکول‌های خود را از دست می‌دهند و این دلیلی است که در شته‌تیت‌های فسیل اسپیکولی دیده نمی‌شود و کارشناسان غالبا در طبقه‌بندی این گروه با مشکل مواجه بوده‌اند (بگی و همکاران، ۲۰۱۵؛ وست، a ۲۰۱۱).



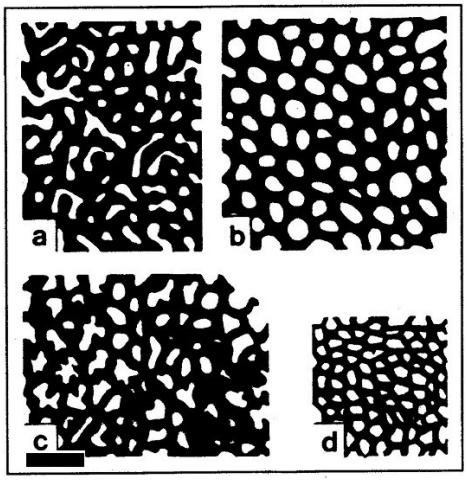
شکل ۳. ستون چینه‌شناسی منطقه مطالعه شده و پراکندگی اسفنج‌های شته‌تیتی هیپرکلسیفای در سازند اسفندیار

عوامل متعددی در شناسایی جنس و گونه‌های مختلف اسفنج‌های شته‌تیتی مورد استفاده قرار می‌گیرند اما از بین این عوامـل، غالبا پنج فاکتور اندازه‌گیری می‌شود (وست، a, b ۲۰۱۱):

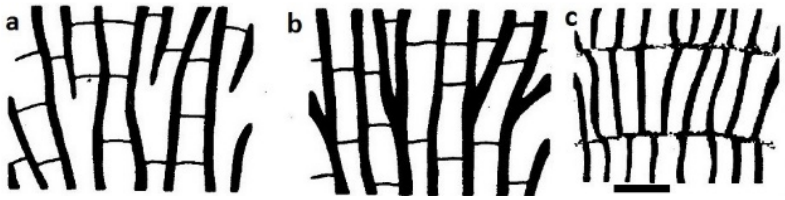
۱) قطر تابوله، ۲) ضخامت دیواره تابوله، ۳) ضخامت تابوله، ۴) فضای اشغالی یا مساحت تابوله، ۵) فراوانی تابوله‌ها، از پنج عامل نامبرده شده، غالبا دو ویژگی قطر تابوله و ضخامت تابوله برای تشخیص گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما مطالعات نشان می‌دهد که این دو فاکتور به تنهایی برای تشخیص گونه‌های متفاوت کافی نمی‌باشند (وست و همکاران، ۱۹۹۱). برای تعیین گونه‌های شته‌تیتی در برش‌های میکروسکوپی، ابتدا از هر نمونه برش عرضی

و طولی تهیه می‌گردد. برای مطالعه این برش‌ها بهتر است ابعادی ۵ ×۵ سانتی‌متری داشته باشند، زیرا اکثر گونه‌های اسفنج‌های شته‌تیتی طول و عرض نسبتاً بزرگی دارند، در غیر این صورت ممکن است در تشخیص گونه‌ها اشتباه رخ دهد. با این وجود استفاده از میکروسکوپ SEM برای مطالعه اسفنج‌ها توصیه می‌گردد (وست و همکاران، ۱۹۹۱).

در این مطالعه علاوه بر بررسی بیش از ۵۰۰ نمونه فسیلی، جدا شده از رسوبات به کمک ابزار یا مطالعه شده در سنگ‌ها، ۱۹۱ نمونه با فاصله بین ۲۰ سانتی‌متر تا حداکثر دو متر از رسوبات سازند اسفندیار برداشت شده است. نمونه‌های دستی به کمک عدسی دستی در محل و همچنین به کمک برش‌های نازک بررسی شدند. برش‌های نازک در آزمایشگاه به کمک میکروسکوپ پلاریزان الیمپوس مدل CX31 بررسی و به کمک دوربین Dp-21 عکس‌برداری شدند. همزمان با مطالعات ماکروفسیل‌ها و برش‌های نازک وضعیت لایه‌بندی رسوبات و مطالعات رخساره‌ای آن‌ها انجام گردید.



شکل ۴. تصویری از برش عرضی اسفنج‌های شته‌تیتی و نحوه آرایش کالیکل‌ها در سازند اسفندیار a. حالت مئاندری، b. حالت بیضی شکل، c. نامنظم و d. چند گوشه. مقیاس خطی = 0.6 mm



شکل ۵. تصویری از برش طولی اسفنج‌های شته‌تیتی و نحوه آرایش کالیکل‌ها در سازند اسفندیار: a. رشد شاخه‌ای و نامنظم (مطابق با برش عرضی در شکل ۱-c)، b. رشد دیکوتومی (مطابق با برش عرضی در شکل ۱-b) c. رشد موازی. مقیاس خطی = 0.6 mm

عوامل موثر و نحوه شته‌تیت رشدها

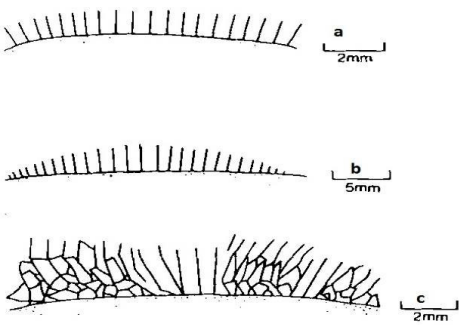
در پایین سازند اسفندیار تجمع فروانی از اسفنج‌های شته‌تیتی هیپرکلسیفای مشاهده می‌گردد، اما در سایر بخش‌های این سازند، اسفنج‌ها با پراکندگی‌های نامشخص و بدون الگوی خاصی مشاهده می‌گردد. در مطالعات رخساره‌ای سازند اسفندیار در این منطقه مشخص گردیده که این اسفنج‌ها در رخساره بیو وکستون فراوانی بیش‌تری اما در رخساره شته‌تیت رودستون (لایه بیوکنگلومرا) متمرکز هستند.

عمده شته‌تیت‌ها شکلی نسبتا ساده داشته و در سازند سازند اسفندیار به صورت مسطح، تخت، ستونی، شاخه‌ای، چماقی و پیازی دیده می‌شوند (اشکال ۶، ۹، ۱۰، ۱۱). بیش‌تر شته‌تیت‌ها در سیمان آهکی حفظ شده‌اند و کمتر به صورت کامل مشاهده می‌گردند. بنابراین غالبا دو بعد این اسفنج‌ها برای بیننده قابل رویت هستند. در محل‌هایی که سنگ‌ها شکاف خورده‌اند، بعد سوم تقریبا قابل بررسی است (شکل ۶). بنابراین گاهی مطالعات صحرایی برای بررسی سه بعد کامل این اسفنج‌ها مشکل است. همچنین

نمونه هایی از آنکولیت‌های اسفنج شته‌تیتی با قطر حد اقل ۲ سانتی‌متر، اسفنج شته‌تیتی خطی با عرض ۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۲ سانتی‌متر و نمونه‌های ستونی با عرض یک سانتی‌متر و ارتفاع ۶ سانتی‌متر مشاهده گردید.

با توجه به محدودیت مطالعه اسفنج‌ها در سنگ‌های کربناته، برش‌های مختلف این اسفنج‌ها می‌تواند کمک زیاد در شناسایی شته‌تیت‌ها نماید. مطالعه دو بعدی در بیش‌تر نمونه‌ها با شکل خطی (لامینار) و گنبدی، که در زمینه سیمان آهکی قرار دارند، تاثیر موثری در شناسایی ندارند و غالبا مطالعه برش نمونه‌های عرضی و طولی این نمونه‌ها، منعکس کننده فرم اسفنج‌ها نمی‌باشد. با این وجود این اسفنج فرم و شکل ساده‌ای داشته و مطالعه صحرایی آن‌ها نسبتا آسان است (وست، a ۲۰۱۱). رشد کالیکل‌ها در شته‌تیت‌ها عمودی است و کالیکل‌هایی به صورت طبیعی می‌توانسته‌اند در بستر و به طور همزمان در عرض رشد کنند (شکل ۷).

شکل ۶ . پایین سازند اسفندیار و تجمع شته‌تیت‌ها به رنگ خاکستری تیره

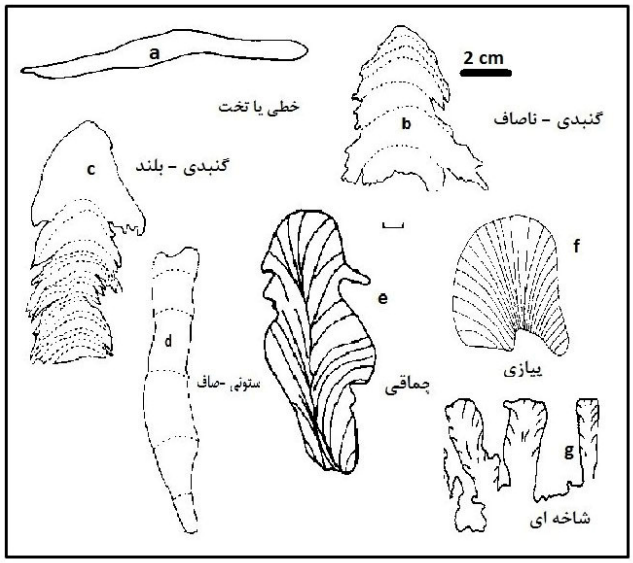


شکل ۷. نحوه رشد کالیکل‌ها یا تابوله‌ها در اسفنج‌های شته‌تیتی، a. رشد یکنواخت کالیکل، b . رشد بیشتر کالیکل در مرکز، c. رشد نامنظم کالیکل (نقل از فلوگل، ۲۰۰۴).

اگرچه تاکنون مطالعه فرم رشد شته‌تیت‌ها به خوبی شناسایی نشده است و رشد اولیه اسکلتی در اسفنج‌های شته‌تیتی دارای الگوی خاصی نمی‌باشد، ولی غالبا این رشد تحت تأثیر بستر می‌باشد (وست، a, b ۲۰۱۱؛ ریدینگ، ۲۰۰۴). نحوه رشد می‌تواند یکنواخت باشد به طوریکه تابوله‌ها به طور همزمان رشد نمایند (شکل a -۷)، یا اینکه رشد تابوله‌ها در مرکز سریع‌تر از جاهای دیگر باشد (شکل b ۷). در بعضی مواقع رشد تابوله‌ها به طور هم زمان به سمت بالا نمی‌باشد، به طوری که تابوله ابتدا به صورت افقی و مایل و سپس به سمت بالا می‌باشد. رشد تابوله ممکن است از یک مرکز انجام نگردد و شامل مراکز رشدی متعدد باشد و حتی گاهی اوقات وضعیت بستر می‌تواند در نحوه رشد تابوله‌ها مؤثر باشد (شکل c -۷).

اسفنج‌های شته‌تیتی چندین نوع رشد اولیه در کالیکل دارند، به طوری که گاهی رشد کاملا پیچیده و گاه کاملا ساده می‌باشد. در این مطالعه چندین نوع رشد اولیه در شته‌تیت‌ها تشخیص داده شد. برای مثال در بیش‌تر این شته‌تیت‌ها کالیکل‌ها به صورت موازی رشد نکرده‌اند و گاهی به صورت طبیعی انحنا پیدا کرده‌اند (شکل ۱۲). به طور کلی شکل هر موجود متاثر از محیط و ژنتیک آن

می‌باشد. بنابراین فهم کامل عوامل اثرگذار موثر در رشد نیاز به دانش شکل‌شناسی مشخصات گونه‌ها، پالئواکولوژی و پالئوبیولوژی دارد که چنین اطلاعاتی هم اکنون در مورد شته‌تیت‌ها در دسترس نیست. با این وجود بر اساس مطالعات انجام شده عواملی تعیین‌کننده‌ای وجود دارند که انتظار می‌رود در رشد شته‌تیت‌ها موثر باشند (وست، b ۲۰۱۲). اثرات بعضی عوامل همانند رسوبگذاری و آشفتگی محیط در اسکلت و فرم خارجی این اسفنج‌ها در سازند سازند اسفندیار مشاهده می‌شود و این عوامل نشان می‌دهند که نه تنها در ایجاد فرم اسفنج‌ها موثر هستند، بلکه کمک موثری در تفسیر محیط دیرینه دارند، زیرا آن‌ها تا زمانی که زنده هستند حوادث کف دریا را ثبت می‌کنند. فرم‌های مختلف از نوع خطی یا لامینار تا فرم‌های دیگر (شکل ۸) فهم مفیدی از شرایط محیطی را نشان می‌دهند (کرشاو و همکاران، ۱۹۹۱؛ وست، ۲۰۱۲b).

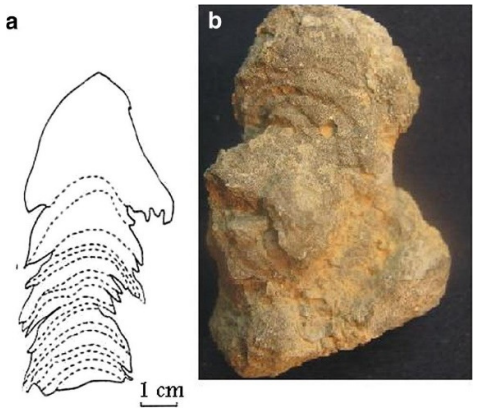


شکل ۸. نحوه رشد فرم‌های مختلف اسفنج‌های شته‌تیتی هیپرکلسیفای در سازند اسفندیار (مطابق با نمونه‌های فسیلی در اشکال ۶، ۹، ۱۰، ۱۱)

شته‌تیت‌ها به طور گسترده‌ای در سنگ‌های کربناته مشاهده شده‌اند. آن‌ها می‌توانند به طور مشخصی انرژی و شفافیت در بسترهای گل‌آلود و بسترهای ماسه‌ای را در محیط‌های زندگی ثبت کنند. اگرچه شته‌تیت‌ها در سنگ آهک‌های آرژیلیتی، رخساره‌های میکریتی تا گرینستون پیدا شده‌اند اما گاهی همچنین در رسوبات آواری که غنی از رسوبات کربناته هستند نیز گزارش شده‌اند، ولی در سازند اسفندیار شته‌تیت‌ها عمدتا در بین رخساره‌های وکستونی فراوان‌تر بوده‌اند (بگی و همکاران، ۲۰۰۷؛ وست، d ۲۰۱۱). اسفنج‌های شته‌تیتی بر روی بسترهای سخت همانند ذرات اسکلتی، همچنین در بسترهای گلی که در زمان شکل‌گیری فشرده شده‌اند یا در شول‌های ماسه‌ای رشد می‌کنند. به طور کلی رسوبگذاری عامل اساسی کنترل کننده موجودات بنتیک دارد و می‌تواند شکل شته‌تیت‌ها را همانند استراماتوپوریدا تغییر دهد (کرشاو و همکاران، ۲۰۰۶). بررسی‌های آزمایشگاهی و صحرایی در این تحقیق نشان می‌دهند که سرعت رسوبگذاری عامل کنترل کننده‌ای در رشد این اسفنج‌ها دارد (شکل‌های ۹، ۱۰)، اما نوع رسوبات نقشی در آن ندارند. از این رو اشکال مشابهی در محدوده‌ای از رسوبات از نظر اسکلتی از گرینستون تا مادستون دیده می‌شود. حوادث رسوبگذاری و نوسانات انرژی در محیط به خصوص محیط‌های توربلانس منجر به لبه‌دار شدن شته‌تیت‌ها شده‌اند (شکل۹).

نمونه‌هایی که دیواره خارجی صاف دارند، هنگام زندگی در معرض حوادث رسوبگذاری نبوده‌اند، اما ممکن است توسط یک حادثه رسوبی با حجم زیاد کشته شده باشند. نمونه‌هایی که دیواره صاف هستند و دارای آپکس هستند، در صورتی در معرض حوادث رسوبگذاری واقع نشوند، همین طور ارتفاع آن‌ها افزایش می‌یابند (شکل b -۱۰)، در حالی‌که سرعت رسوبگذاری پایین است. اگر به هر دلیلی

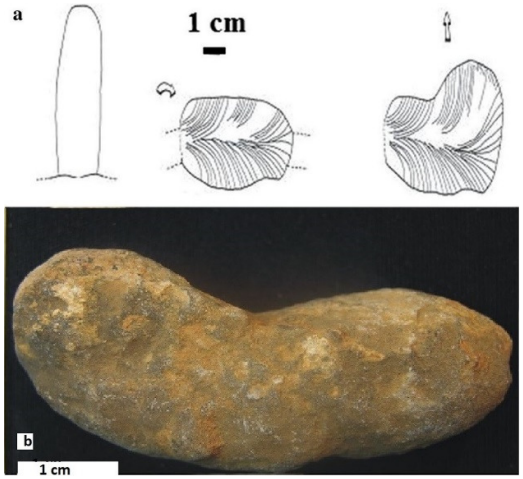
نمونه بر کف بستر سقوط کند، ادامه رشد نمونه‌ها از کناره‌ها افزایش می‌یابند، بدون این که باعث ایجاد حاشیه و یا لبه در بدنه خارجی نمونه‌های شته‌تیتی گردد. (شکل ۱۱). آشفتگی رسوبی و افزایش انرژی آب می‌تواند باعث تاثیر در شکل شته‌تیت‌ها گردد. در تعدادی از نمونه‌های بررسی شده در سازند اسفندیار، می‌توان حادثه‌ای که باعث حرکت شته‌تیت‌ها در حین رشد شده را مشاهده کرد که نشان می‌دهد آن‌ها به بسترشان متصل نبوده یا از بستر سست‌شان جدا شده‌اند. همین طور در دیگر گروه‌های فسیلی مشابه چنین تغییراتی در شکل آن‌ها مشاهده شده که به کمک آن می‌توان تا حدودی تاثیر آشفتگی در محیط رسوبگذاری را تفسیر نمود (وست،c ۲۰۱۱).



شکل ۹. نمایی از رشد زیکزاکی حاشیه شته‌تیت با فرم گنبدی(a)، شته‌تیت با حاشیه زیکزاک (نمونه شماره ۵۸ به فاصله ۰/۸ متری از پایین سازند) در سازند اسفندیار (b).

شکل ۱۰. انواع فرم‌های فسیلی مشاهده شده از شته‌تیت‌ها از نظر رشدی در سازند اسفندیار. a، c، f (نمونه‌های شماره ۸۹، ۹۰ و ۹۱ به ترتیب به فاصله‌های ۱۴، ۱۷/۴، ۱۸/۶ متری از پایین سازند)؛ اشکال پیازی شکل، b (نمونه شماره ۱۱۰ به فاصله ۲۶ متری از پایین سازند) فرم ستونی، d (نمونه شماره ۵۷ به فاصله ۰/۴ متری از پایین سازند) فرم پیچیده، e فرم لامینار یا خطی (نمونه شماره ۵۵ از ابتدای سازند).

اشکال گنبدی شته‌تیت‌ها به طور مشخصی در مقایسه با نمونه‌های ستونی پایدارتر هستند. در این پژوهش نمونه‌هایی مشاهده شدند که در حین زندگی تغییر جهت داده‌اند و جهت رشد در آن‌ها تغییر یافته است (شکل ۱۱). رشد هر بخش نمونه، نشان‌دهنده چرخش و تغییر جهت در اثر حوادث محیطی می‌باشد. اگر چه عمق دقیقی برای رشد اسفنج‌های شته‌تیتی نمی‌توان مشخص نمود اما به طور مشخص این گروه در آب‌های کم عمق دریایی رشد می‌کنند. (وست، ۲۰۱۲b). بعضی از پژوهشگران عمق خیلی کم برای رشد شته‌تیت‌ها پیشنهاد داده‌اند (کنولی و همکاران، ۱۹۸۹). کارشناسان دیگری عمق زیر پایین امواج را برای رشد ریف‌های شته‌تیتی بر اساس فقدان مشاهده تغییر جهت در فرم‌های منفرد پیشنهاد نموده‌اند (شوترلند، ۱۹۸۴).



شکل ۱۱. a) نحوه ادامه رشد شته‌تیت افتاده بر کف بستر (نقل از کرشاو و همکاران، ۱۹۹۱)، b) فسیل شته‌تیت در سازند اسفندیار با تغییر جهت در زمان رشد (نمونه شماره ۱۱۷ به فاصله ۲۹/۸۰ متری از پایین سازند).

با توجه به این که شته‌تیت‌ها را به راحتی نمی‌توان از شبکه رشدی آن‌ها استخراج نمود، استنتاج پالئواکولوژی شته‌تیت‌ها چندان آسان نیست، اما می‌توان از روی فرم‌های اسکلتی نتایج مناسبی کسب نمود. همانطوری که اشاره شد، آثار رشد اسکلتی پتانسیل بزرگی برای آشکارسازی دینامیک رسوبگذاری در دوره کوتاهی در محیط دیرینه دریایی دارند. در سازند اسفندیار فرم‌های مختلف شته‌تیت‌ها همانند لامینار، پیازی شکل، گنبدی و ستونی صاف و لبه‌دار در در رخساره‌های مختلف مشاهده می‌شوند، که نشانگر وضعیت محیط دیرینه سازند اسفندیار می‌باشند. مطالعه نمونه‌های منفرد که در حین زندگی تغییر جهت داده‌اند، نشان می‌دهد شرایط محیطی در هنگام رشد این اسفنج‌ها تغییر نموده‌اند برای مثال تغییر جهت اسفنج‌ها در حین رشد نشانگر ایجاد محیط پر انرژی که سبب تغییر جهت شته‌تیت‌ها شده و سپس محیط آرام گردیده است (شکل ۱۱). رشد کلی نمونه‌ها در سازند اسفندیار عمدتا ستونی و گنبدی بوده است که نشانگر آن است که آن‌ها در محیطی نسبتا شفاف گاه با جریان‌های توربیدیتی آهسته همراه بوده است (وست، a, b ۲۰۱۱).

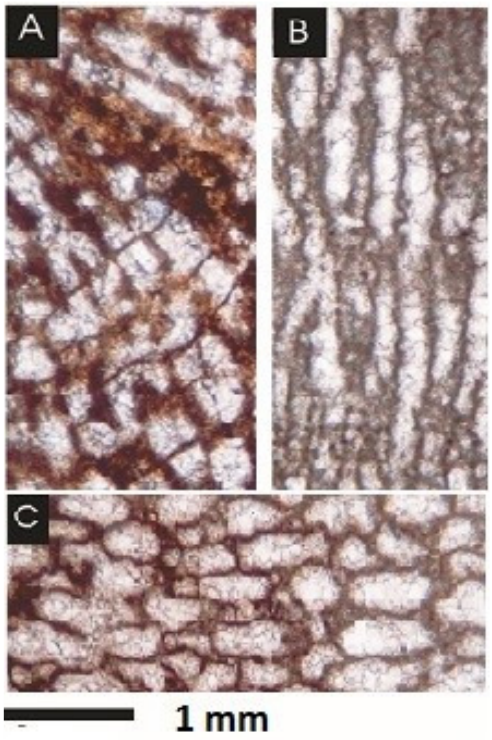
در بررسی برش‌های نازک شته‌تیت‌ها در سازند اسفندیار تابوله‌ها یا کالسیکل‌ها به صورت‌های موازی، دیکوتومی منظم، یا نامنظم رشد نموده‌اند. بنابراین با مقایسه تصاویر عرضی و طولی نمونه‌های میکروسکوپی در برش‌های نازک می‌توان گونه‌های *Chaetetes* را تشخیص داد. بر اساس نحوه رشد تابوله‌ها جنس و گونه‌های *Chaetetes* sp. و *Chaetetes rossicus* شناسایی شدند (شکل ۱۲).

ریزرخساره و محیط‌رسوبی

بررسی برش‌های نازک، مطالعه فسیل‌های مختلف و همچنین ساختمان‌های رسوبی در مطالعات صحرایی منجر به تشخیص فاسیس‌های متنوعی شده است. این گروه از فاسیس یا رخساره‌ها را می‌توان از پایین تا بالای سازند اسفندیار تشخیص داد که منجر به تشخیص محیط دیرینه سازند اسفندیار شده است. (شکل ۳).

فاسیس شته‌تیت رودستون (لایه‌های بیوکنگلومرایی): این فاسیس در پایین سازند اسفندیار با ضخامت حدود ۱ متر مشاهده می‌شود و متشکل از قطعات بزرگ مرجانی، شته‌تیت‌هایی به قطر چندین سانتی‌متر است. این فسیل‌ها در زمینه‌ای بیوکلاستیکی شناور هستند و لایه بیوکنگلومرا به سمت بالا به لایه‌های ضخیمی از آهک اوولیتی تبدیل می‌شوند. علاو بر آن در این رخساره قطعات بزرگی از دوکفه‌ای‌ها ممکن است وجود داشته باشند. لایه‌های بیوکلاستیک رودستون یا بیوکنگلومرا نشانگر جابجایی‌هایی هستند که توسط توفان در رسوبات پلاتفرمی ایجاد شده است. وجود قطعات بزرگ از شته‌تیت ممکن است بیانگر حوادث توفانی قوی در حاشیه پلاتفرم باشد (فورزیش و همکاران، a ۲۰۰۳) بیشتر شته‌تیت‌ها در آهک سیمانی شده قرار دارند و براحتی امکان جداسازی کامل آن‌ها برای مطالعه سه‌بعدی وجود ندارد (شکل ۶). سازند اسفندیار عمدتا از نظر رخساره‌ای شامل مادستون، بیوکلاستیک وکستون، پلوپید پکستون و کلادوکروپسیس /نوروپورا فلوتستون می‌باشد (شکل ۳). گونه اسفنجی

Cladocoropsis mirabilis در این رخساره به خوبی محافظت شده و با ابعد حدود ۱سانتی‌متر یا بیشتر به صورت انکویید دیده می‌شود. اگر چه قطعات کلادوکروپسیس معمولا بیش از یک سانتی‌متر طول دارند اما قطعات نوروپورا غالبا کمتر از ۰/۶ سانتی‌متر طول داشته و عمدتا به حالت شاخه‌ای یافت می‌شوند. بعضی از قطعات این اسفنج‌ها توسط لایه میکروبی پوشیده می‌شوند. این رخساره با ضخامت بین ۰/۱ تا ۱/۲ متر در این منطقه مشاهده می‌شود و بیانگر محیط داخل پلاتفرمی می‌باشد (تاسلی و همکاران، ۲۰۰۸). کربنات‌های میکریتی در این پلاتفرم نشانگر محیطی کم انرژی می‌باشد (اعتصامپور و همکاران، ۲۰۲۰؛ تاسلی و همکاران، ۲۰۰۸).



شکل ۱۲. A, B) برش طولی: *Chaetetes* sp. ، C) برش مایل: گونه *Chaetetes rossicus* به ترتیب از نمونه‌های شماره ۲۲۱، ۲۲۵ با فواصل ۱۵۹/۲ و ۱۶۲/۵ متری از پایین سازند.

پالئو اکولوژی و محیط دیرینه سازند اسفندیار

پالئواکولوژی بلوک طبس در طی زمان اکسفوردین تا کیمیریجین پایینی نشانگر رسوبگذاری در عرض جغرافیایی بالاتر از ۲۰ درجه شمالی در حاشیه شمالی نئوتتیس می‌باشد (فورزیش و همکاران، ۲۰۰۹). آپلیفت‌ها و فرسایش مداوم حاشیه خاوری بلوک طبس در زمان کالوین به خاطر چرخش بلوک طبس سبب تولید رسوب‌های سیلیسی کلاستیک - دلتایی (سازند سیخور) شده و باعث شکل‌گیری روند شمالی جنوبی برآمدگی شتری و تکوین پلاتفرم کربناته سازند اسفندیار شده است (فورزیش و همکاران، b ۲۰۰۳). در ابتدای کیمیریجین بلوک طبس در منطقه‌ای نسبتا گرم قرار گرفته است و شاخص‌های آب و هوایی همانند لایه‌های قرمز، گسترش ژیپس در رخساره‌های لاگونی سازندهای کمر مهدی و مگو موید این نظریه هستند (ویلمسن و همکاران، ۲۰۰۹). سازند اسفندیار عمدتا شامل آهک‌های متوسط لایه تا توده‌ای به رنگ خاکستری روشن و قهوه‌ای متمایل به زرد بوده که در پلاتفرم گسترده‌ای رسوب کرده است (بگی و همکاران، ۲۰۰۶). تولید زیاد گل کربناته و اایید از مشخصات نواحی تروپیک با آب گرم می‌باشد (فورزیش و همکاران، a ۲۰۰۳). تفسیر دقیق ریزرخساره سازند اسفندیار بیانگر محیط‌رسوبی کم عمق آب‌های گرم می‌باشد که علاوه بر شته‌تیت، اسفنج‌های *Cladocoropsis* sp, *Neuropora* sp ، مرجان‌های مختلفی

به صورت پراکنده در سازند اسفندیار یافت می‌گردند. در این رسوبات برجستگی‌هایی[1] که عمدتا مشتمل بر مرجان‌های اسکلراکتین همراه با پیکره‌های ریفی به طول ۲ تا ۳ متر و ارتفاع ۲ تا ۴ متر هستند به صورت پراکنده یافت می‌شوند. عدم وجود ریف‌های مرجانی بر خلاف موقعیت جغرافیایی مناسب سازند اسفندیار قابل تفسیر است. به طور کلی مرجان‌های اسکلراکتین در محیط‌هایی که مواد مغذی کم هستند رشد می‌کنند، همانند وضعتی مشابهی که در رشد ریف‌های کنونی مشاهده می‌گردد (لیمون، ۱۹۹۶؛ وست، c ۲۰۱۲). با این وجود ورودی مواد مغذی از مناطق بالادستی به خاطر آب و هوای خشک و کمبود اکسیژن می‌تواند علت عدم گسترش ریف‌ها در طول شیب پلاتفرم سازند اسفندیار باشد، این موضوع به کمک اشکال شته‌تیت‌ها تایید می‌گردد. شته‌تیت‌های ستونی عمدتا در محیط‌های تمیز و الیگوتروپیک زندگی می‌کرده‌اند و شته‌تیت‌های کروی، گنبدی و لامینار عمدتا در محیط‌های یوتروفیک زندگی می‌کرده‌اند (وست،a, d ۲۰۱۱)، اما از نظر شکلی اسفنج‌های شته‌تیتی سازند اسفندیار عمدتا پیازی، گنبدی و لامینار هستند.

نتیجه‌گیری

۱- در این مطالعه مشخص گردید که شته‌تیت‌ها از نظر شکلی همانند موجودات بنتیک مثل استرماتوپوریدا مرجان‌ها هستند. شته‌تیت‌ها به صورت واحدهای لامینار که در فسیل‌های دیگر توصیف شده‌اند، رشد داشته‌اند.

۲-رسوبگذاری و انرژی محیط به راحتی از روی اشکال اسفنج‌های شته‌تیتی قابل تشخیص می‌باشد و شته‌تیت‌ها تمام حوادث کف دریا را تا زمانی که زنده هستند در اشکال خود ثبت کرده‌اند.

۳- فراوان‌ترین اسفنج در رسوبات سازند اسفندیار شته‌تیت‌ها ی هیپرکلسیفای می‌باشند.

۴- در این پژوهش با بررسی نحوه رشد کالیکل‌ها در برش‌های نازک، جنس *Chaetetes* sp و گونه *Chaetetes rossicus* شناسایی گردیدند.

تشکر و قدردانی

از داوران محترم این نشریه که در جهت ارتقای کیفیت این مقاله، پیشنهادات ارزنده‌ای ارایه نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود. در پایان لازم می‌دانیم از مسئولین دانشگاه‌های یزد و فنی (TVU) که در ارتباط با این پژوهش مساعدت لازم نموده‌اند سپاسگزاری می‌نماییم، همچنین از آقای پروفسور رونالد وست (استاد بازنشسته دانشگاه کانزاس آمریکا) که نمونه‌های اسفنج‌های شته‌تیتی را بررسی نموده‌اند تشکر و قدردانی نماییم.

منابع

Bagi, H., Tasli, K., Hamadani, A (2006) Microfacies and paleoenvironmental interpretation of the Upper Jurassic Esfandiar Formation (east-central IRAN), Carbonates Evaporites, 21(2): 115–123.

Bagi, H., Tasli, K (2007) Paleoenvironmental analysis and biostratigraphy of the Upper Jurassic Esfandiar Formation (East–Central Iran), Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, 243 (1): 101–111.

Bagi, H., West, R. R (2015) Microfacies and environmental significance of hypercalcified demosponges of the Upper Jurassic Esfandiar platform (Shotori Mountains, Tabas Block, east-central Iran), Carbonates Evaporites, 30: 483–493.

Connolly, W. M, Lambart, L., L, Stanton, R. J. J (1989) Paleoecology of Lower and Middle Pennsylvania Chaetetes in North America. Facies, 20: 139–168.

El-Asaad, G. M. A (1991) Oxfordian hermatypic coral from central Suadi Arabia, Geobios, 24: 267–287.

Etesampour, A., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R., Bagi, H (2020) Depositional history and sequence stratigraphy of central Tethyan from the Upper Triassic Nayband Formation, Central Iran, Carbonates Evaporites, 35: 13.

Flügel, E (2004) Microfacies of carbonate rocks. Analysis, interpretation and application: Berlin-Heidelberg- New York, Springer Verlag, 984.

Fursich, F. T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. R (2009) The Mid-Cimmerian tectonic event (Bajocian) in the Alborz Mountains, Northern Iran: evidence of the break-up unconformity of the South Caspian Basin. In: Brunet MF, Wilmsen M, Granth JW (eds) South Caspian to Central Iran Basins. Geological Society, London, Special Publications, 312: 189–203.

Fursich, F., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, R (2003a) Evidence of synsedimentary tectonics in the northern bas Block, east central Iran: The Callovian (Middle Jurassic) Sikhor Formation, Facies, 48: 151–170.

Fursich, F., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Schairer, G., Majidifard, R (2003b) Platform-basin transect of a Middle to Late Jurassic large-scale carbonate platform system (Shotori

Sutherland, P. K (1984) *Chaetetes* reefs of exceptional size in Marble Falls Limestone (Pennsylvanian), central Texas. Palaeontographica Americana, 54: 543–547.

Tasli, K., Altiner, D., Koc, H., Eren, M (2008) Benthic foraminiferal biostratigraphy of the Jurassic platform carbonate succession in the Bolkar Mountains (S Turkey). Micropaleontology, 54(5): 425–444.

West, R. R, Roth S. M (1991) Siliciclastic content of chaetetid habitats: preliminary results. Geol Soc Am Abstr Programs, 23(5): A343.

West, R. R (2011a) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2B: functional morphology of the fossil hypercalcified chaetetid-type Porifera Demospongiae). Treatise Online 21:1–38, 9 fig., 9 tables. Lawrence, Kansas, USA.

West, R. R (2011b) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2A: introduction to the fossil hypercalcified chaetetid-type Porifera (Demospongiae). Treatise Online 20:1–79, 52 fig. Lawrence, Kansas, USA.

West, R. R (2011c) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2B: functional morphology of the fossil hypercalcified chaetetid-type Porifera Demospongiae). Treatise Online 21:1–38, 9 fig., 9 tables. Lawrence, Kansas, USA.

West, R. R (2011d) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2C: classification of the fossil and living hypercalcified chaetetid-type Porifera (Demospongiae). Treatise Online 22:1–24, 6 tables. Lawrence, Kansas, USA.

West, R. R (2012a) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2D: Evolution of the hypercalcifiedchaetetid-type Porifera (Demospongiae). Treatise Online 35, 6 tables. Lawrence, Kansas, USA, 1–26.

West, R. R (2012b) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2E: paleoecology of the hypercalcified chaetetid-type Porifera (Demospongiae). Treatise Online 36, 46 fig., 3 tables. Lawrence, Kansas, USA, 1–68.

West, R. R (2012c) Part E, Revised, Volume 4, Chapter 2F: paleogeography and biostratigraphy of the hypercalcified chaetetid-type Porifera (Demospongiae). Treatise Online 37, 7 fig., 2 tables. Lawrence, Kansas, USA, 1–29.

Wilmsen, M., Fursich, F., Seyed-Emami, K (2003) Revised lithostratigraphyof the Middle and Upper Jurassic Magu Group of the northern Tabas Block, east-central Iran, Newsl Stratigr, 39 (2/3): 143–156.

Wilmsen, M., Fursich, F. T., Seyed-Emami, K. and Majidifard, M. R (2009) An overview of the lithostratigraphy and facies development of the Jurassic System on the Tabas Block, east-central Iran. In: South Caspian to Central Iran Basins (M.-F. Brunet, M. Wilmsen and J. Granath, eds), Geol. Soc. Lond. Spec.Publ., 312: 323–344.

Mountains, Tabas Area, east central Iran), Facies, 48: 171–198.

Fursich, F., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, R (2009) The Mid-Cimmerian tectonic event (Bajocian) in the Alborz Mountains, Northern Iran: evidence of the break-up unconformity of the South Caspian Basin. In: Brunet MF, Wilmsen M, Granth JW (eds) South Caspian to Central Iran Basins. Geological Society, London, Special Publications, 312: 189–203.

Kershaw, S., West, R. R (1991) Chaetetid growth form and its controlling factors. Lethaia, 24: 333–346.

Kershaw, S., Wood, R., Guo, L (2006) Stromatoporoid response to muddy substrates in Silurian limestones, GFF - Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 128: 131-138.

Leinfelder, R., Schmid, D., Nose, M, Werner, W (2002) Jurassic reef patterns the expression of a changing globe. In: Kibling W, Flugel E, Golonka J (eds) Phanerozoic Reef patterns, SEPM Special publication, 72: 465-520.

Leinfelder, R. F., Schlagintwelt, W., Werner, O., Erbli, M., Nose, D. U., Schmid, G., Hughes, W (2005) Significance of stromatoporoids in Jurassic reefs and carbonate platforms-concepts and implications, Facies, 51: 287–325.

Limmon, G. V (1996) An assessment of coral reefs in Ambon, Indonesia, unpublished thesis, Mc Master University, p 88, Hamilton (Canada).

Reitner, J (1992) Coralline Spongien Der Versuch einer phylogenetischtaxonomischen Analyse: Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, E1, 1-352, pl- 1-62.

Riding, R (2004) Solenopora is a Chaetetid Sponge, Not an Alga: Palaeontology, 47: 117-122.

Riedel, P (1990) Riffbiotope im Karn undnor (Obertrias) der Tethys: Entwicklung, Einschnitte und Diversitätsmuster: Erlangen, Germany, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Geozentrum Nordbayern, tesis doctoral, 90: 1-15.

Schairer, G., Fürsich, F., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, R (2003) Stratigraphy and ammonite fauna of Upper Jurassic basinal sediments at the eastern margin of the Tabas Block (east-central Iran). Geobios, 6: 195–222.

Schlagintweit, W., Gawlick, H. G., Lein, R (2005) Micropala ontologie und Biostratigraphie der Plassen-Karbonatplattform der Typlokalita (Ober-Jura bis Unter-Kreide, Salzkammergut, Osterreich). J Alp Geol Mitt Ges Geol Bergbaustud Osterr, 47: 11–102.

Soffel, J., Forster, H (1984) Polar wander path of the central East Iran microplate including new results. Neues Jahrb Geol paleontol Abh, 168: 165–172.