

بررسی تغییرات محیطی سازند گورپی (کمپانین میانی - پالئوسن بالایی) در برش فرهاد آباد (شمال خاور کبیر کوه) بر مبنای مطالعات پالینوفاسیس و ژئوشیمی آلی

الهه زارعی^{۱*} و ابراهیم قاسمی نژاد^۲

^۱ دکترا، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران
^۲ استاد، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۷/۲۳

چکیده

به منظور بررسی تغییرات سطح آب در طی انباشت سازند گورپی، محتوای مواد آلی این سازند، در برش فرهاد آباد واقع در باختر دره شهر مورد مطالعه قرار گرفت. به همین منظور، در این مطالعه داده‌های ژئوشیمیایی همچون کربن آلی (TOC)، کربن غیر آلی (TIC)، آلکان‌های نرمال اشباع (نسبت انواع آلکان‌های نرمال با زنجیره کربنی کوتاه، متوسط و بلند به جمع آلکان‌های نرمال، نسبت CPI و نسبت آلکان‌های نرمال nC17 به nC27)، نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph)، پرستان به آلکان نرمال nC17 (Pr/nC17) و فیتان به آلکان نرمال C18 (Ph/nC18) و داده‌های پالینوفاسیسی (نسبت سه گروه اصلی از عناصر پالینولوژیکی و فاکتورهای وابسته به این سه گروه) استفاده شد. پارامترهای ژئوشیمیایی تطابق خوبی را با داده‌های پالینوفاسیسی در خصوص تغییرات سطح آب نشان می‌دهند. فراوانی حداکثری میزان پالینوماسرال‌های خشکی، نسبت بالایی از ($TAR > 1$) و ($CPI > 1$)، چیرگی آلکان‌های نرمال با زنجیره بلند، کاهش نسبت C17/C27 و بالا بودن نسبت $Pr/Ph > 1$ شرایط پسروی و کاهش سطح آب را در قاعده سازند گورپی، عضو آهکی لופا، انتهای بخش آهکی امام‌حسن و در مرز کرتاسه-ترشیری نشان می‌دهد. در مقابل، افزایش پالینومرف‌های دریایی به همراه فراوانی مواد آمورف شفاف و چیرگی آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه و نسبت بالای C17/C27 و نسبت پایین Pr/Ph می‌تواند نشان‌دهنده افزایش سطح آب باشد. بیشینه بالا آمدگی سطح آب در سازند گورپی در انتهای زیست‌زون *Globotruncanita stuartiformis*، قاعده بخش آهکی امام‌حسن و انتهای زیست‌زون *Contusotruncana contusa* و قاعده شیل‌های ارغوانی سازند پایده شناسایی شد. این بیشینه بالا آمدگی سطح آب (MFS) منطبق با بالا آمدگی سطح آب (70 Ma MFS K175 و 68 Ma MFS K180 و 58 Ma Pg10) در کشورهای عربی است. چیرگی مواد آمورف شفاف به همراه آلکان‌های نرمال unimodal زوج کربنی در بیشتر نمونه‌های سازند گورپی نشان‌دهنده محیط دریایی باز است. مقایسه منحنی تغییرات نسبی سطح آب ترسیم شده بر اساس داده‌های پالینوفاسیس و ژئوشیمی آلی با منحنی ائوستازی ارائه شده توسط Haq et al. (1988) نشان از تأثیرپذیری نهشته‌های سازند گورپی در منطقه مورد مطالعه از تغییرات ائوستازی جهانی است.

کلیدواژه‌ها: نوسانات سطح آب، آنالیز ژئوشیمی آلی، پالینوفاسیس، سازند گورپی، کمپانین - ماستریشتین، حوضه زاگرس، ایران.

*نویسنده مسئول: الهه زارعی

E-mail: zarei@khayam.ut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

ستبرای ۱۵۸ متر در این برش شامل مارن‌های خاکستری با میان‌لایه‌های مارن‌آهکی خاکستری روشن و حاوی عضو سیمره (لופا) با لیتولوژی آهک به رنگ زرد و عضو امام حسن با لیتولوژی آهک رس‌دار به رنگ کرم است. مرز زیرین سازند گورپی در این برش با سازند ایلام و به صورت پیوسته ولی با تغییر سنگ‌شناسی مشخص بوده که در آن مارن‌های آهکی سفید تا کرم‌رنگ سازند ایلام به مارن‌های خاکستری گورپی تبدیل می‌شوند. مرز بالایی سازند گورپی نیز با سازند پایده و به صورت تدریجی و پیوسته است که طی آن مارن‌های خاکستری مایل به سبز سازند گورپی به شیل‌های ارغوانی‌رنگ قاعده سازند پایده تبدیل می‌شوند (شکل ۲). این برش واقع در منطقه کبیر کوه لرستان (جنوب استان ایلام) است که مختصات قاعده برش بدین قرار است (شکل ۱): $N: 32^{\circ} 56' 13''$ و $E: 46^{\circ} 48' 31''$.

این سازند بر مبنای روزن‌بران پلاژیک و داینوسیس‌ها محدوده زمانی بین کمپانین میانی تا پالئوسن بالایی (تاتین) را نشان می‌دهد. بر مبنای روزن‌بران پلاژیک ۱۱ زیست‌زون به دست آمد که زیست‌زون‌های یاد شده در بخش کرتاسه شامل: *Globotruncana ventricosa*, *Rodotruncana calcarata*, *Globotruncana aegyptiaca*, *Gansserina gansseri*, *Contusotruncana cotusa*, *Praemurica uncinata* و در پالئوسن *Abathomphalus mayaroensis*, *Morozovella angulate*, *Subbotina trilocolinoides*, *Globanomalina pseudomenardii*, *Morozovella subbotinae* است. این زیست‌زون‌ها برای تطابق زمانی بین نوسانات سطح آب در برش مورد مطالعه با یوستاتیک جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به دلیل ثبت نوسانات سطح آب، نرخ رسوب‌گذاری، تغییرات میزان اکسیژن و شوری توسط مواد آلی، حتی در رسوباتی که از این مواد فقیر هستند نیز مطالعاتی به این منظور صورت گرفته است (Gorin & Steffen, 1991; Bombardiere & Gorin, 2000). استفاده از مواد آلی به منظور درک شرایط محیطی و تفسیر محیط رسوبی در سال‌های اخیر بسیار متداول شده است. مواد آلی می‌تواند از نظر پتروگرافی (مطالعات پالینولوژیکی) و ژئوشیمیایی در توصیف توالی رسوبی به کار رود (Killops et al., 1998). مطالعات کمی و کیفی پالینوفاسیس و تطابق آن با داده‌های رسوب‌شناسی در تعیین روندهای دوری-نزدیکی به خط ساحلی و نیز پیشروی و پسروی نسبی سطح آب دریا و دیگر فاکتورهای محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Tyson, 1995). همچنین در سال‌های اخیر افزون بر این مطالعات، مطالعات ژئوشیمیایی خصوصاً ژئوشیمی آلی به کمک چینه‌شناسان آمده است و شاخه جدیدی در این علم به نام کموستراتیگرافی (Chemostratigraphy) ایجاد کرده است. امروزه مطالعات ژئوشیمی آلی یکی از موارد مهم برای تفسیر حوضه‌های رسوبی مخصوصاً در لیتولوژی‌های یکنواخت که تفکیک مرزها و زیرتقسیمات رسوبی بر اساس ویژگی‌های رسوب‌شناسی مشکل است به شمار می‌رود (Schwark & Frimmel, 2004). از این رو مواد آلی به عنوان بخشی از رسوبات سازند گورپی از فاکتورهای بسیار مهم در تفسیر شرایط محیطی به ویژه تعیین تغییرات نسبی سطح آب دریا در این سازند به شمار می‌رود. بررسی مواد آلی سازند گورپی در برش فرهاد آباد بر مبنای مطالعات پالینوفاسیس و ژئوشیمیایی می‌تواند اطلاعات کامل‌تر و دقیق‌تری از شرایط محیطی و تغییرات سطح آب به دست بدهد. سازند گورپی با

۲- روش مطالعه

قرار می‌گیرد، شامل: اندیس CPI، TAR، نسبت نرمال آلکان‌های با زنجیره کربنی کوتاه و متوسط و بلند به جمع نرمال آلکان‌ها، نسبت آلکان نرمال nC17 به nC27، نسبت پرستان به فیتان (Pr/Ph)، نسبت پرستان به آلکان نرمال nC17 (Pr/nC17) و نسبت فیتان به آلکان نرمال C18 (ph/nC18) است (Sachsenhofer et al., 2003; Didyk et al., 1978; Peters, 1986; Koopmans et al., 1999; Ten Haven et al., 1988; Schwark & Frimmel, 2004). با توجه به اینکه فاکتورهای ثانویه‌ای همچون دما می‌توانند باعث تغییر ساختار مواد آلی شوند، بنابراین لازم است تأثیرات دما روی مواد آلی پیش از بررسی آنها برای تفسیر محیطی مطالعه گردد تا نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی برای تفسیر محیطی دچار اشکال نگردد. به این جهت انعکاس ویتربنیت برای بررسی بلوغ مواد آلی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از انعکاس ویتربنیت محدوده‌ای بین ۰/۵ تا ۰/۷ را برای برش مورد مطالعه نشان می‌دهد که گویای بلوغ ضعیفی از رسوبات سازند گورپی است (شکل ۳).

آلکان‌های نرمال اشباع در برش‌های مورد مطالعه شامل آلکان‌های نرمال از C12 تا C38 هستند. پراکندگی آلکان‌های نرمال سازند گورپی عمدتاً unimodal با بیشینه پیکی بین C14 تا C21 است و آلکان‌های نرمال با زنجیره کربنی بلند از آلکان نرمال C34 به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند (شکل ۴-B). فقط نمونه‌های ۳۴، ۳۵، ۳۶ به سن ابتدای ماستریشتین پراکندگی bimodal با بیشینه فراوانی از C14-C19 و C23-C31 را نشان می‌دهند که چنین حالتی (bimodal) نشان از آمیختگی مواد خشکی و دریایی دارد و حضور گیاهان عالی را تأیید می‌کند (Allan & Douglas, 1977). ارجحیت آلکان‌های نرمال unimodal در سازند گورپی نشان‌دهنده حضور جلبک‌های دریایی و فقیر بودن این رسوبات از مواد خشکی است و یک محیط دریایی باز را نشان می‌دهد (Tissot & welte 1984).

• نسبت آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه، متوسط و بلند به جمع آلکان‌های نرمال

الگوی آلکان‌های نرمال در برش مورد مطالعه بیشتر شامل آلکان‌های نرمال با زنجیره کربنی کوتاه با برتری زوج به فرد از آلکان‌های نرمال است و بیشینه غلظت آن در محدوده‌ای بین nC14 تا nC20 است. فراوانی آلکان‌های نرمال با زنجیره کربنی کوتاه حاصل مواد آلی جلبکی است، در حالی که فراوانی آلکان‌های نرمال با زنجیره کربنی بلند (>nC22) حاصل مواد آلی گیاهی یا اسپوره‌است (Talukdar et al., 1993; Peters & Moldowan, 1993; Ku'spert, 1982) و مارن‌های سازند گورپی آلکان‌های نرمال با زنجیره کربنی کوتاه فراوانی حدود ۸۵ درصد و آلکان‌های نرمال با زنجیره متوسط (nC20-nC24) ۱۰ تا ۴۰ درصد و آلکان‌های نرمال با زنجیره بلند (nC25-nC34) کمتر از ۲۵ درصد را نشان می‌دهند (شکل ۲).

• نسبت آلکان نرمال C17 به C27 یا C17/C27

آلکان نرمال nC17 اغلب تسلط جلبک‌ها را نشان می‌دهد و فراوانی آن در نفت‌ها می‌تواند نشان‌دهنده منشأ جلبکی آنها باشد. از طرف دیگر C27 نشان از منشأ گیاهی و مواد خشکی است. بنابراین تغییرات نسبت C17/C27 همخوانی قوی با تغییرات سطح آب دارد به طوری که کاهش این نسبت C17/C27 نشان‌دهنده پسروری و ورود مواد آلی با منشأ قاره‌ای است (Killops et al., 1998; Peters & Moldowan, 1993). این نسبت در ابتدای ماستریشتین بین عضو لوفاف و امام حسن به کمترین مقدار خود می‌رسد (شکل ۲).

• نسبت مواد آلی خشکی به دریایی یا TAR

آلکان‌های نرمال می‌توانند منشأ درون‌حوضه‌ای یا برون‌حوضه‌ای داشته باشند و بر این اساس می‌توان مواد آلی خشکی را از دریایی در افق‌های رسوبی تفکیک کرد. اندیس نسبت مواد آلی خشکی به دریایی (terigenous-aquatic ratio) یا TAR از نسبت آلکان‌های نرمال C27، C29، C31 به آلکان‌های نرمال C15، C17، C19 به دست

برای مطالعه پالینوفاسیس، ۱۲۴ نمونه با فاصله تقریبی ۵ متر و از محل تغییرات سنگ‌شناختی برداشت شد. برای تهیه اسلایدهای پالینولوژیکی تقریباً مقدار ۱۰۰ گرم از هر نمونه را برداشته و پس از خرد کردن، آنها را به مدت ۲۴ ساعت در اسیدکلریدریک ۳۰ درصد و پس از خنثی‌سازی به مدت ۲۴ ساعت در اسیدفلوریدریک (HF) ۳۰ درصد قرار داده تا ذرات آهکی و سیلیسی نمونه‌ها از بین برود. پس از خنثی کردن اسیدفلوریدریک و عبور نمونه از الک‌های ۲۰۰ میکرون با استفاده از محلول کلرید روی (ZnCl₂) با وزن مخصوص ۱/۹ تا ۲، پالینومرف‌ها را از عناصر سنگین و سایر مواد جدا کرده و از آنها اسلایدهای پالینولوژیکی تهیه شد. به منظور ارزیابی ژئوشیمیایی نیز ۱۱ نمونه سنگی مورد استفاده قرار گرفت. اندازه‌گیری مقدار ماده آلی (TOC) به وسیله دستگاه Leco RC-412 و بر مبنای جذب CO₂ است. این اندازه‌گیری در طی دو مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول در شرایط اکسیژن دار و در دماهای متنوع کربن آلی در محدوده دمایی ۳۵۰ تا ۵۲۰°C به CO₂ تبدیل می‌شود و در طول مرحله دوم کربنات در محدوده دمایی ۵۲۰ تا ۱۰۵۰°C به کربن غیر آلی (TIC) تبدیل می‌شود. در طول این مراحل، غلظت CO₂ توسط دستگاه اندازه‌گیری می‌شود. دو استاندارد برای کالیبره کردن دستگاه شامل ۰/۱±۰/۱ (Lecosyathetic carbon) و ۱۲٪ (Lecocalcium carbonate) با انحراف استاندارد کمتر از ۰/۵ به کار گرفته شد.

۲-۱. استخراج بیومن و اندازه‌گیری به وسیله GC-FID

پس از پودر کردن نمونه‌ها مقدار ۲ تا ۵ گرم از هر نمونه به مدت ۲۴ ساعت در ۵۰ ml محلول دی کلرومتان (CH₂Cl₂) قرار داده می‌شود. سپس آن را به مدت ۲۴ ساعت در ۵۰ ml محلول هگزان (Hexan) قرار می‌دهیم، مواد استخراج شده در دستگاه خلأ قرار می‌گیرد تا حلال‌ها از آن خارج شود و بعد روی ستون کروماتوگراف که شامل یک ژل سیلیکات فعال شده است، می‌ریزیم و در سه مرحله حلال‌هایی چون پنتان و در مرحله دوم پنتان ۴۰ درصد و دی کلرو متان ۶۰ درصد و در مرحله سوم متانول اضافه می‌کنیم. فقط مواد استخراج شده از حلال پنتان که شامل ترکیبات اشباع برای آنالیز است مورد استفاده قرار گرفت و به دستگاه GC-FID تزریق شد. دمای برنامه‌ریزی شده شامل افزایش دما از ۶۰°C تا ۳۰۰°C با افزایش تدریجی ۳ درجه در دقیقه و ثابت ماندن ۲۰ دقیقه روی دمای ۳۰۰°C برای دستگاه است. جزئیات روش مورد استفاده در مقاله (Amijaya & Schwarzbauer 2006) ارائه شده است. همچنین برای مطالعه بلوغ حرارتی از روش انعکاس ویتربنیت استفاده شد. انعکاس ویتربنیت به وسیله میکروسکوپ Zeiss Axiophot مطابق با روشی که (Schwaebaner & Lilitke 2000) شرح داده‌اند، اندازه‌گیری شده است.

۳- پارامترهای ژئوشیمیایی

۳-۱. برآورد مقدار ماده آلی (TOC) و کربن غیر آلی (TIC)

مقدار کل کربن آلی در سنگ به عنوان Total organic carbon (TOC) بیان می‌شود که مقدار آن در محدوده وسیعی از ۰/۱ تا ۱/۵ در سازند گورپی متغیر است. میانگین میزان TOC برای برش مورد مطالعه تقریباً ۰/۵ است. مقدار TOC رابطه خوبی با نوع لیئولوژی دارد به طوری که کمترین مقدار کربن آلی در لیئولوژی آهکی و مخصوصاً در عضو آهکی امام حسن است و بیشترین مقدار آن در شیل‌های سیاه‌رنگ ابتدای ماستریشتین بین عضو لوفاف و امام حسن واقع شده است و به ۱/۵ می‌رسد. مقدار کربن غیر آلی (TIC) در قاعده سازند تا عضو لوفاف کاهش نشان می‌دهد ولی از این عضو تا انتهای برش تقریباً ثابت می‌ماند (شکل ۲).

۳-۲. آلکان‌های نرمال یا پارافین‌ها

در این مقاله فقط از پراکندگی آلکان‌های نرمال برای بررسی شرایط محیطی استفاده شد. نسبت ترکیبات اشباع که برای تفسیر محیط رسوبی مورد استفاده

۴- پارامترهای پالینوفاسیسی

تمام مواد موجود در اسلایدهای پالینولوژیکی که برای تعیین پالینوفاسیس و تفسیر محیطی مورد استفاده قرار می‌گیرند را می‌توان در سه گروه: مواد آمورف (AOM) پالینومرف دریایی (MP) و پالینوماسرال (P) قرارداد. پس از تعیین این سه گروه در نمونه‌های مورد مطالعه، مقدار درصد هر یک را محاسبه کرده به طوری که مجموع AOM, MP, P ۱۰۰٪ شود.

۴-۱. مواد آمورف (AOM) و پارامترهای حاصل از آن

مواد آلی بدون ساختمان را شامل می‌شود که به دو صورت تیره و شفاف دیده می‌شوند (Bombardiére & Gorin, 2000; Waveren & Visscher, 1994) (شکل ۴-۱). این مواد آمورف و بی‌شکل هرچند ساختار مشخصی ندارند ولی در تفسیر بوم‌شناسی، به عنوان مهم‌ترین عناصر شناخته می‌شوند. AOM مستقیماً وابسته به تغییرات سطح آب است و رسوب‌گذاری مناسب با حجم اکسیژن پایین در شرایط نیمه احیایی (dysaerobic) و احیایی (anaerobic) شرایطی هستند که سبب حفاظت بهتر AOM شفاف می‌شوند. عدم رسوب‌گذاری در شرایط اکسیژن‌دار باعث فعالیت باکتری‌های هوازی شده و AOM تیره را به وجود می‌آورد (Waveren & Visscher, 1994). با توجه به میزان AOM شفاف که شرایط فاقد اکسیژن را نشان می‌دهند و AOM تیره که گویای شرایط اکسیژن‌دار است و اندازه‌گیری نسبت این دو می‌توان میزان اکسیژن را در زمان گذشته برآورد کرد. چنانچه نسبت AOM شفاف به AOM تیره بیش از یک باشد، نشان‌دهنده شرایط فاقد اکسیژن و اگر این نسبت کمتر از یک باشد، گویای شرایط اکسیژن‌دار است (Waveren & Visscher, 1994; Bombardiére & Gorin, 2000) و معمولاً این نسبت با دور شدن از محیط ساحلی افزایش پیدا می‌کند و در زمان پیشینه پیشروی سطح آب به مقدار پیشینه می‌رسد (Tyson, 1995). فاکتور تکمیل‌کننده دیگری که برای بررسی ریتم رسوب‌گذاری و شرایط اکسیژن مورد استفاده قرار می‌گیرد، نسبت مواد آمورف شفاف و تیره به پالینومرف‌های دریایی است. حفظ‌شدگی پالینومرف‌های دریایی وابستگی شدیدی به میزان و ریتم رسوب‌گذاری دارد. بهترین درجه حفاظت از پالینومرف‌های دریایی خصوصاً داینوفلاژله‌ها در شرایط فاقد اکسیژن و ریتم رسوب‌گذاری بالاست. چنانچه میزان اکسیژن پایین و ریتم رسوب‌گذاری نیز پایین باشد باعث عدم حفاظت پالینومرف‌ها و تبدیل آنها به AOM شفاف در محیط دور از ساحل (offshore) می‌شود. اگر میزان اکسیژن بالا و نرخ رسوب‌گذاری پایین باشد پالینومرف‌های دریایی تغییرشکل داده و به AOM تیره‌رنگ تبدیل می‌شوند (Waveren & Visscher, 1994; Tyson, 1995; Bombardiére & Gorin, 2000). بنابراین افزایش نسبت AOM شفاف به پالینومرف دریایی نشان‌دهنده شرایط فاقد اکسیژن در محیط دور از ساحل است. افزایش نسبت AOM تیره به پالینومرف دریایی نشان‌دهنده شرایط اکسیژن‌دار است (جدول ۲).

۴-۲. پالینومرف‌های دریایی (MP)

شامل داینوفلاژله‌ها، آکریتارک‌ها، پوسته داخلی روزن‌بران، ... می‌شود که در برش مورد مطالعه بیشتر شامل داینوفلاژله‌ها است. فراوانی، تنوع، شکل و ریخت‌شناسی آنها نشان‌دهنده شرایط بوم‌شناختی و محیطی آنهاست و با دور شدن از محیط ساحلی میزان فراوانی پالینومرف‌های دریایی خصوصاً داینوسیت‌ها افزایش می‌یابد (Schioler et al., 2002) (شکل ۴-۲ و جدول ۲).

۴-۳. پالینوماسرال (PH) و پارامترهای حاصل از آن

شامل تمام ذراتی هستند که از محیط خشکی وارد حوضه می‌شوند. این گروه تمام خرده‌های خشکی و خرده‌های برگ و ریشه درختان و همچنین اسپور و پولن‌های مربوط به گیاهان را دربرمی‌گیرد (Van der Zwan, 1990). پالینوماسرال‌ها بر اساس میزان شفافیت به کدر (اپک) و قهوه‌ای تقسیم می‌شوند (Waveren & Visscher, 1994) (شکل ۴-۳). ماسرال قهوه‌ای (T) وابسته به

می‌آید: $TAR = (C27+C29+C31) / (C15+C17+C19)$. اگر این اندیس (TAR) بزرگ‌تر از ۱ باشد نشان از ورود مواد خشکی به حوضه است و اگر محدوده‌ای بین ۰/۱ تا ۰/۳ داشته باشد نشان از مواد آلی با منشأ جلبکی و محیط دریایی است (Bourbonniere & Meyers, 1996). مطالعه این نسبت در برش فرهاد آباد عموماً محدوده‌ای زیر عدد ۱ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده شرایط دریایی است که امکان ورود مواد خشکی به حوضه کمتر وجود داشته است (جدول ۱).

• اندیس (Carbon Preference Index) CPI

این اندیس نسبت کربن‌های فرد به زوج آلکان‌های نرمال با زنجیره بلند را نشان می‌دهد که توسط Bray & Evans (1961) ارائه شده است. اندیس CPI در کنار TAR می‌تواند تأییدکننده منشأ مواد آلی باشد و برای بررسی حفظ‌شدگی مواد آلی مورد استفاده قرار گیرد (Killops et al., 1998; Talukdar et al., 1993). ترکیبات آلکان‌های نرمال با کربن فرد با وزن ملکولی زیاد (C25-C33) منشأ گیاهان خشکی و بر عکس آلکان‌های نرمال با کربن زوج با وزن مولکولی زیاد دارای منشأ موجودات دریایی می‌باشند (Talukdar et al., 1993; Ku'spert, 1982). محاسبه CPI برای برش مورد مطالعه محدوده‌ای بین ۰/۷ تا ۱ را نشان می‌دهد. هرچند این مقدار به میزان پختگی مواد آلی بستگی دارد (Killops et al., 1998). اما به دلیل نابالغ بودن نمونه‌های سازند گورپی، مقدار پایین CPI ($CPI < 1$) به دلیل تغییر آلکان‌ها در اثر شکست حرارتی نمی‌باشد و می‌تواند بیانگر محیط‌های کربناته و غیر اکسیدان یا ناشی از عدم حفظ‌شدگی مواد آلی باشد (Killops et al., 1998; Talukdar et al., 1993). مطالعه کربن غیرآلی (TIC) در سازند گورپی نشان‌دهنده تسلط محیط کربناته است. بنابراین برای استفاده از این اندیس در تفسیر محیطی لازم است این فاکتور در کنار TAR و سایر فاکتورهای ژئوشیمیایی و پالینوفاسیسی مورد استفاده قرار گیرد (جدول ۱).

• نسبت پرستان به فیتان (Pristane /Phytane)

نسبت پرستان به فیتان Pr/Ph می‌تواند برای بررسی اکسیژن، دما، شوری و منشأ مواد آلی مورد استفاده قرار بگیرد (Didyk et al., 1978; Ten Haven et al., 1988). بررسی این نسبت در سازند گورپی عمدتاً محدوده‌ای کمتر از یک را نشان می‌دهد که بیشتر نشان‌دهنده شرایط احیایی تا نیمه احیایی است (Didyk et al., 1978).

• نسبت پرستان به آلکان نرمال nC17 و فیتان به آلکان نرمال nC18

فاکتور دیگری که می‌توان در تفسیر شرایط محیط رسوب‌گذاری استفاده کرد، نسبت Pr/nC17 و Ph/nC18 است. آلکان‌های nC17، nC18 زودتر از Pr و Ph تحت تأثیر باکتری‌های هوازی قرار می‌گیرند، بنابراین این نسبت‌ها Pr/nC17 و Ph/nC18 در اثر به‌هم‌ریختگی زیستی افزایش نشان می‌دهند. نسبت Pr/nC17 کمتر از ۰/۵، محیط دریایی و بزرگ‌تر از ۱ محیط خشکی را نشان می‌دهد (Talukdar et al., 1993; Lijmbach, 1975; Ro'hl et al., 2001). اگر این نسبت بین ۰/۵ تا ۱ باشد یک محیط بین محیط خشکی و دریایی (Transitional) را می‌توان انتظار داشت (Lijmbach, 1975). این نسبت در سازند گورپی محدوده‌ای بین ۰/۳ تا ۲ را نشان می‌دهد. بر این مبنا بیشتر نمونه‌های سازند گورپی در برش مورد مطالعه در یک محیط دریایی باز که گاهی در آن شرایط محیطی بین خشکی و دریایی (Transitional) حاکم بوده است نهشته شده‌اند. همچنین نسبت Ph/nC18 برای بررسی پارامترهای محیطی، بلوغ حرارتی و به‌هم‌ریختگی زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نسبت Ph/nC18 محدوده‌ای بین ۰/۲ تا ۰/۴ و نسبت Ph+Pr/nC18+nC17 در بیشتر نمونه‌های برش مورد مطالعه محدوده‌ای کمتر از ۱ را نشان می‌دهد که می‌تواند وابسته به عدم به‌هم‌ریختگی زیستی (bioturbation) در سازند گورپی باشد (شکل ۲). نمودار Pr/nC17 در برابر Ph/nC18 که در شکل ۵ نشان داده شده است، آمیختگی از مواد آلی خشکی - دریایی و بلوغ ضعیفی از رسوبات سازند گورپی را تأیید می‌کند.

است که نشان‌دهنده شرایط بی‌اکسیژن در محیط ژرف و دور از ساحل است (Tyson, 1995) و از طرف دیگر داده‌های ژئوشیمی حاکی از کاهش حضور آلکان نرمال با زنجیره کوتاه و کاهش نسبت‌های TAR و C17/C27 است که نشان از کاهش ژرفای آب است (Schwark & Frimmel, 2004) مقایسه این داده‌ها نشان می‌دهد که کاهش شدید نسبت C17/C27 و آلکان نرمال با زنجیره کوتاه به علت افزایش ماسرال‌های خشکی نبوده، بلکه در اثر عملکرد باکتری‌های بی‌هوازی بوده که سبب شده آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه از بین بروند و آلکان‌های نرمال با زنجیره بلند (منشأ گرفته از مواد آلی خشکی) که در مقابل تجزیه باکتریایی مقاوم‌تر هستند باقی بمانند (Schwarzbauer & Littke, 2000). به همین دلیل کاهش آلکان‌های نرمال کوتاه و افزایش آلکان‌های بلند و کاهش اندیس (0.9) CPI را شاهد هستیم (شکل ۲ و ۴) که حضور مواد آمورف شفاف (مطالعات پالینوفاسیسی) تأیید کننده چنین شرایطی (حفظ‌شدگی ضعیف مواد آلی) است که این افزایش ژرفای حوضه احتمالاً منطبق با پیشینه بالاآمدگی سطح آب (68 Ma MFS K180) در کشورهای عربی مثل عراق، کویت، عمان و خاور امارات است که توسط Sharland et al. (2001) ارائه شده است (Sharland et al., 2001). در قاعده بخش امام حسن افزایش ماسرال‌ها و مواد آمورف تیره رنگ مشاهده می‌شود که نشان از عدم حفظ‌شدگی مواد آلی و شرایط اکسیژن‌دار است. در قسمت‌های بالایی این بخش، افزایش تنوع و فراوانی پالینومرف‌های دریایی که نشان از حفظ‌شدگی بهتر مواد آلی و افزایش تدریجی ژرفا است مشاهده می‌شود. مطالعه فاکتورهای ژئوشیمیایی گویای کاهش TAR و افزایش تدریجی از نسبت C17/C27 و افزایش آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه است. همچنین در این قسمت اثر رخساره‌ای ژئوفیکوس (Zoophycos) مشاهده شد که نشان از کمبود اکسیژن همراه با تجمع مواد آلی در آب‌های آرام در مناطق ژرف دریا است و تأیید کننده شرایط یاد شده است (MacEachern et al., 2007).

۳-۵. اینتروال سوم: اینتروال سوم را می‌توان از انتهای بخش امام حسن تا مرز کرتاسه- ترشیری در نظر گرفت. فراوانی ماسرال‌های خشکی و پالینومرف‌های دریایی پس از عضو آهکی امام حسن مشاهده می‌شود، که نشان‌دهنده پایین‌آمدگی سطح آب است. به تدریج افزایش پالینومرف‌های دریایی به همراه مواد آمورف شفاف (TAOM) در فاصله بین امام حسن تا ظهور زیست‌زون *Contusotruncana contuse* مشاهده شد. چنین شرایطی به همراه افزایش پیشینه‌ای از C17/C27 و آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه و کمیته مقدار TAR و نسبت Pr/Ph نشان‌دهنده پیشینه پیشروی سطح آب و شرایط احیایی است. با ظهور زیست‌زون *Abathomphalus mayaroensis* چیرگی ماسرال‌های تیره و مواد آمورف تیره ثبت شده که بر مبنای فاکتورهای ژئوشیمیایی کاهش تدریجی از C17/C27 و آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه و افزایش از TAR مشاهده می‌شود. این شرایط به همراه افزایش Pr/Ph، گویای عدم حفظ‌شدگی مواد آلی در شرایط اکسیژن‌دار همراه با کاهش ژرفا است (شکل ۲). به طوری که در قسمت‌های بالایی زیست‌زون *Abathomphalus mayaroensis* افزایشی از پالینومرف‌های دریایی و مواد آمورف شفاف مشاهده می‌شود. ماسرال‌های قهوه‌ای جای ماسرال‌های تیره رنگ را می‌گیرند، که حفظ‌شدگی بالایی از مواد آلی در اثر کاهش ژرفا (افزایش نرخ رسوب‌گذاری) در انتهای ماستریشین را نشان می‌دهند. بر مبنای فاکتورهای ژئوشیمیایی که با کاهش تدریجی از نسبت C17/C27 و آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه و افزایش تدریجی از TAR و افزایش ضعیفی از Pr/Ph همراه است، گویای کاهش ژرفای آب است. مطالعه روزن‌بران و داینوسیت‌های برش مورد مطالعه نشان از وقفه زمانی رسوب‌گذاری (هیاتوس) ۳ میلیون ساله در مرز بین کرتاسه و ترشیری است (Moradi, 2010). این وقفه رسوبی که در آن به فراوانی اترفسیل‌ها و آثار آشفستگی زیستی مشاهده می‌شود گویای پیشینه سطح پایین‌آمدگی آب است (شکل ۲ و ۴).

۴-۵. اینتروال چهارم: اینتروال چهارم را می‌توان همزمان با ظهور نمونه‌های داین

گیاخان خشکی بوده و نشان‌دهنده محیط نزدیک ساحل است و ماسرال کدر (op) دارای رنگی تیره است که یک محیط نیمه‌اکسیدان - نیمه‌آرام را نشان می‌دهند و معمولاً در محیط دور از ساحل زیاد می‌شوند (Waveren & Visscher, 1994; Schioler et al., 2002). بر این اساس، نسبت ماسرال قهوه‌ای (T) به ماسرال کدر (op) می‌تواند تغییرات سطح آب را نشان دهد (Obob-Ikenobe, 1996; Bombardiere & Gorin, 2000; Waveren & Visscher, 1994; Schioler et al., 2002; Ku'spert, 1982).

۵- بحث

برای بررسی تغییرات سطح آب ۴ اینتروال بر مبنای مشخصات پالینوفاسیسی و ژئوشیمیایی انتخاب شد. این اینتروال‌ها گویای نوسانات سطح آب در طی نهشته شدن سازند گورپی در برش مورد مطالعه هستند. برای بررسی نوسانات سطح آب در برش مورد مطالعه و تطابق زمانی آن با نوسانات جهانی سطح آب، در هر اینتروال از زیست‌زون‌های شناسایی شده بر مبنای روزن‌بران پلاژیک استفاده شد.

۱-۵. اینتروال اول: این اینتروال از مرز بین سازند ایلام و گورپی شروع تا ابتدای عضو آهکی لופا ادامه پیدا می‌کند، به طوری که در قاعده برش و در مرز بین دو سازند، میزان ماسرال‌های قهوه‌ای رنگ افزایش پیدا می‌کند. این افزایش با کاهش مواد آمورف شفاف (TAOM) و افزایش پالینومرف‌های دریایی نشان از کاهش ژرفا و شرایط حفظ‌شدگی بهتر مواد آلی است. این تغییرات ژرفی در مطالعات ژئوشیمی آلی به خوبی آشکار است، به طوری که اندیس TAR تقریباً ۶/۰ و CPI محدوده‌ای حدود ۱ را نشان می‌دهد. این شرایط به همراه چیرگی آلکان‌های نرمال با زنجیره بلند و کاهش قابل ملاحظه در نسبت nC17/nC27 نشان‌دهنده کاهش ژرفا است. نسبت Pr/Ph عددی کمتر از ۱ را نشان می‌دهد که به همراه فراوانی از پالینومرف‌های دریایی نشان از شرایط نیمه‌احیایی (dysaerobic) برای این قسمت از سازند است (شکل ۲). این کاهش ژرفا در ابتدای زون *Globotruncanita stuartiformis* افزایش پیدا می‌کند و چیرگی ماسرال‌های قهوه‌ای مشاهده می‌شود. به تدریج در قسمت انتهایی زون *Globotruncanita stuartiformis* همراه با تغییر لیتولوژی از شیل به شیل آهکی، کاهش ماسرال‌های قهوه‌ای و افزایشی از مواد آمورف شفاف (TAOM) مشاهده می‌شود. این چنین شرایطی با افزایش C17/C27 و کاهش از آلکان نرمال با زنجیره بلند و کاهش از نسبت TAR (۴/۰~) و CPI (۷/۰~) نشان‌دهنده افزایش ژرفای حوضه است که منطبق با پیشینه بالا آمدگی سطح آب (70 Ma MFS K175) در کشورهای عربی است (Sharland et al., 2001) (شکل ۲ و ۴).

۲-۵. اینتروال دوم: از قاعده عضو آهکی لופا شروع و تا انتهای عضو آهکی امام حسن ادامه پیدا می‌کند. در قاعده عضو آهکی لופا افزایشی از ماسرال‌های تیره رنگ مشاهده می‌شود که گویای پایین‌آمدن سطح آب و افزایش میزان اکسیژن است. به تدریج در شیل‌های سیاه‌رنگ قسمت بالایی عضو لופا، تسلطی از مواد آمورف روشن مشاهده می‌شود. فراوانی مواد آمورف شفاف (TAOM) به همراه افزایشی از آلکان‌های نرمال کوتاه به کل آلکان‌های نرمال و افزایشی از نسبت C17/C27 و کاهش قابل ملاحظه‌ای از TAR و CPI گویای افزایش ژرفا است. چنین شرایطی به همراه کاهش قابل ملاحظه‌ای از نسبت Pr/Ph تأیید کننده شرایط احیایی است. با ظهور *Gansserina ganssera* افزایش مجددی از مواد آمورف شفاف مشاهده می‌شود. چنین شرایطی تا ثبت پیشینه میزان مواد آمورف شفاف و کربن آلی (TOC ~ ۱/۵) چندین متر پیش از بخش امام حسن تداوم دارد. این شرایط با کاهش قابل ملاحظه‌ای از آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه و نسبت (۴/۹~) C17/C27 و افزایش ناچیزی از TAR (۲/۰~) و حالت biomodal از آلکان‌های نرمال همراه است. چنین شرایطی در نگاه اول تناقضی را بین داده‌های ژئوشیمی با داده‌های پالینوفاسیسی نشان می‌دهد. بررسی فاکتورهای پالینوفاسیسی گویای حضور مواد آمورف شفاف

ژئوشیمیایی برای بررسی تغییرات سطح آب نشان می‌دهد. با مقایسه این داده‌ها در برش مورد مطالعه، بیشینه پایین آمدگی را می‌توان در مرز سازند ایلام و گورپی، قاعده عضو آهکی لوف، انتهای بخش آهکی امام حسن و مرز کرتاسه - ترشیری در نظر گرفت، که بیشینه فراوانی پالینوماسرال‌ها و مقدار ناچیزی از پالینومرف‌های دریایی در آنها مشاهده می‌شود. مطالعه داده‌های ژئوشیمیایی نشان‌دهنده بیشترین میزان Pr/Ph ، TAR ، CPI و کمترین میزان نسبت $C17/C27$ است. همچنین نسبت پرستان به فیتان ($Pr/Ph > 1$) محدوده‌ای بیشتر از یک را نشان می‌دهد. به تدریج با افزایش سطح آب افزایشی از پالینومرف‌های دریایی و مواد آمورف شفاف مشاهده می‌شود که این افزایش با افزایشی از آلکان‌های با زنجیره کوتاه و نسبت بالایی از $C17/C27$ و کاهش $Pr/Ph < 1$ همراه است، به طوری که بیشینه بالا آمدگی سطح آب را می‌توان در شیل‌های آهکی پیش از عضو لوف و شیل‌های سیاه‌رنگ بین دو عضو آهکی لوف و امام حسن و چندین متر پیش از مرز کرتاسه و ترشیری (انتهای زیست‌زون *Contusotruncana contusa*) و قاعده شیل‌های ارغوانی سازند پابده مشاهده کرد که منطبق با بیشینه بالا آمدگی سطح آب در کشورهای عربی است که توسط Sharland et al. (2001) ارائه شده است. مقایسه منحنی تغییرات نسبی سطح آب ترسیم شده بر اساس داده‌های پالینوفاسیسی و ژئوشیمی آلی با منحنی اتوستازی ارائه شده توسط Haq et al. (1988) نشان از تأثیرپذیری نهشته‌های سازند گورپی در منطقه مورد مطالعه از تغییرات اتوستازی جهانی به‌ویژه در مرز کمپانین - ماستریشتین است. غلبه آلکان‌های نرمال unimodal با ارجحیت زوج به فرد از آلکان‌های نرمال ($CPI < 1$) و بالا بودن نسبت $C17/C27$ و نسبت پایین $Pr/nC17 (< 0.5)$ ، $TAR (< 1)$ و نسبت پایین $Pr/Ph < 0.5$ به همراه غلبه مواد آلی آمورف شفاف در بیشتر نمونه‌های سازند گورپی یک محیط دریایی باز با شرایط احیایی تا نیمه‌احیایی که گاهی امکان ورود مواد خشکی به آن وجود داشته را برای برش مورد مطالعه پیشنهاد می‌نماید.

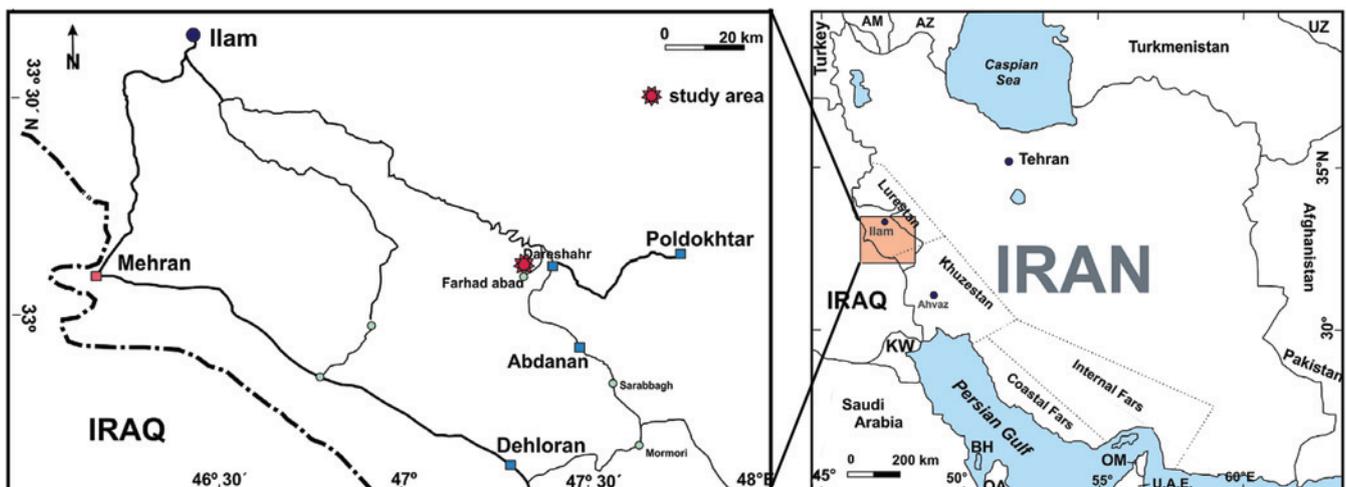
سپاسگزاری

آزمایشات ژئوشیمی این مطالعه در دانشکده نفت دانشگاه RWTH Aachen کشور آلمان انجام شده است، لذا بدینوسیله از زحمات جناب آقای پروفیسور Ralf Littke و خانم دکتر Sabine Heim که در تهیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی نویسندگان را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌شود.

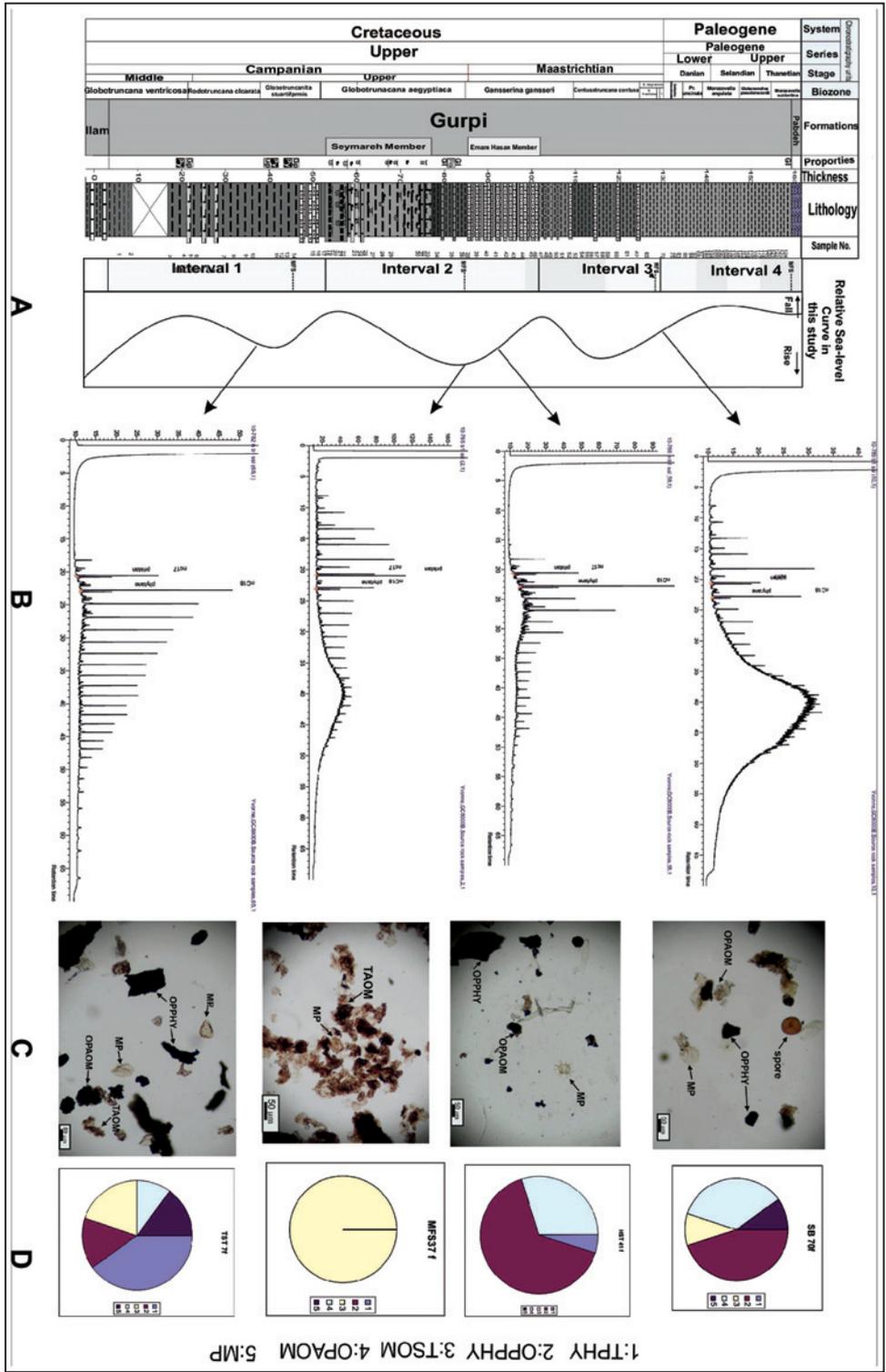
تاشیل‌های ارغوانی رنگ قاعده سازند پابده در نظر گرفت. افزایشی از میزان مواد آمورف شفاف همزمان با ظهور نمونه‌های داین مشاهده می‌شود. بر مبنای مطالعات ژئوشیمیایی حداقل مقدار $C17/C27$ و آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه و افزایشی از TAR ، CPI و Pr/Ph قابل مشاهده است. چنین شرایطی با افزایش جزئی از TOC نشان‌دهنده شرایطی مشابه ابتدای ماستریشتین است، که در اثر عملکرد باکتری‌های بی‌هوایی ذرات سرچشمه گرفته از خشکی که مقاوم‌تر هستند باقی می‌مانند. در نتیجه به‌رغم افزایش ژرفا، کاهش آلکان‌های نرمال با زنجیره کوتاه، $C17/C27$ و افزایش TAR و کاهش CPI مشاهده می‌شود. به تدریج به سمت بالا افزایش ماسرال‌های تیره‌رنگ مشاهده می‌شود به طوری که در لایه شیلی ارغوانی رنگ قاعده سازند پابده بیشینه میزان ماسرال‌ها و مواد آمورف تیره‌رنگ مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده شرایط اکسیژن‌دار و عدم حفظ‌شدگی مواد آلی است. فراوانی روزن‌بران پلاژیک و وجود لایه‌های غنی از آهن (گلوکونیت) در شیل‌های ارغوانی رنگ سازند پابده نشان‌دهنده عدم رسوب‌گذاری (Condensed sediment) است (Flugel, 2004)، زیرا این نهشته‌ها نیاز به زمان برای نهشته شدن دارند. بنابراین می‌توان مجموعه شیل ارغوانی را به عنوان بیشینه بالا آمدگی سطح آب (MFS) در محیط دریایی کم‌ژرفا در نظر گرفت که منطبق با بیشینه بالا آمدگی سطح آب در انتهای پالتوسن (58 Ma Pg10) در کشورهای عربی است (Sharland et al., 2001). منحنی تغییرات نسبی سطح آب رسم شده بر اساس داده‌های پالینوفاسیسی و ژئوشیمی آلی با منحنی اتوستازی که توسط Haq et al. (1988) ارائه شده قابل مقایسه است. مقایسه این منحنی‌ها نشان از تأثیرپذیری نهشته‌های سازند گورپی در منطقه مورد مطالعه از تغییرات اتوستازی جهانی به‌ویژه در مرز کمپانین - ماستریشتین دارد (شکل ۶).

۶- نتیجه‌گیری

برای بررسی تغییرات سطح آب و چگونگی شرایط محیطی سازند گورپی از داده‌های پالینوفاسیسی و ژئوشیمیایی استفاده شد. داده‌های پالینوفاسیسی مورد استفاده شامل: نسبت سه گروه از عناصر پالینولوژیکی (AOM, MP, P) و فاکتورهای ژئوشیمیایی شامل نسبت آلکان‌های نرمال (TAR ، CPI ، $C17/C27$) و آلکان‌های با زنجیره کوتاه، متوسط و بلند به جمع آلکان‌های بلند) و نسبت پرستان به فیتان (pr/ph) و $pr+ph/nC17+nC18$ است. داده‌های پالینوفاسیسی تطابق خوبی با داده‌های



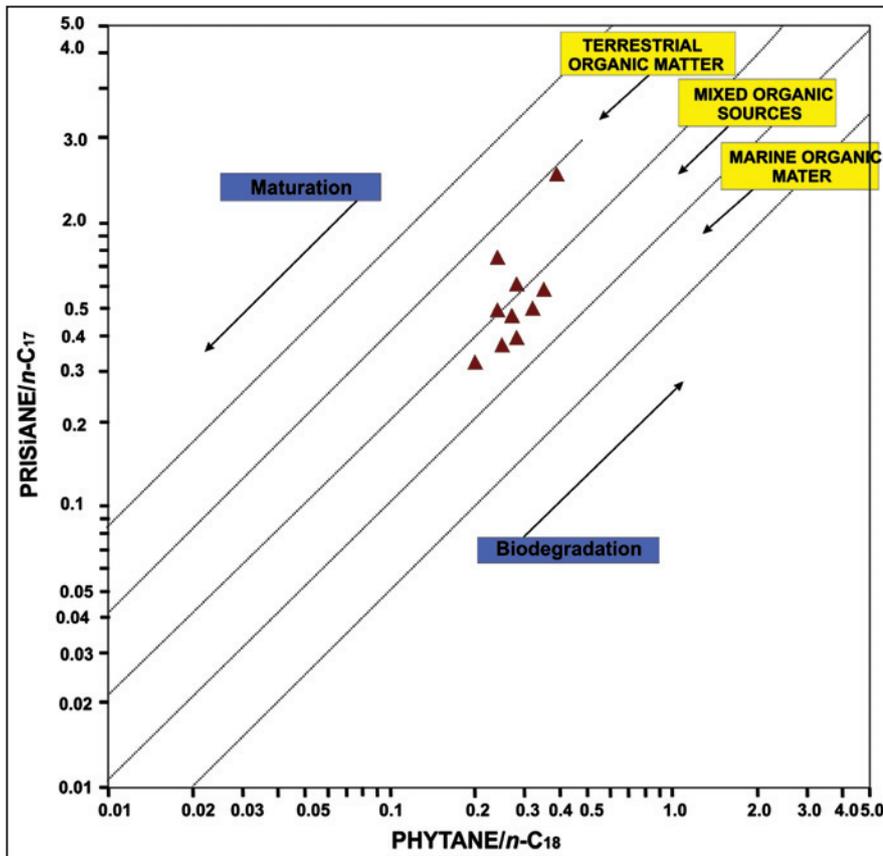
شکل ۱- نمایش موقعیت برش مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.



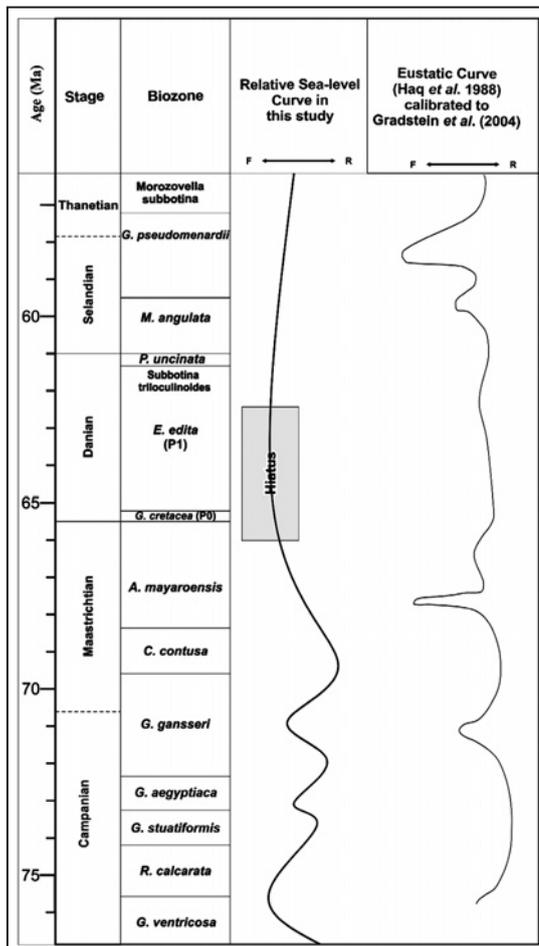
شکل ۴- A) منحنی تغییرات سطح آب در برش مورد مطالعه از سازند گورچی؛ B) آلگوی آکنان‌های نرمال unimodal در برش مورد مطالعه که یک پیشینه فراوانی از C14C19 را در اینتروال‌های ۱ تا ۴ در زمان‌های پیشینه بالا آمده‌گی و پایین آمدگی سطح آب نشان می‌دهد؛ Pr، Ph و nC17 و nC18 روی نمودارها مشخص شده است؛ C) پالیئوقاسمی‌های برش فرهاد آباد؛ پالیئوماسرال سیاه (OPPH)، پالیئوماسرال سفید (TPHY)، مواد آمورف سفید (TAOM)، مواد آمورف تیره (OPAOM) و پالیئومرف دریایی (MP) در شکل با فلش مشخص شده است؛ D) درصد سه گروه اصلی از عناصر پالیئوزوئیک (مواد آمورف سفید) و تیره (OPAOM، TAOM، TPHY، OPPHY) در شکل با رنگ‌های متنوع مشخص شده است.



شکل ۵- یک قطعه ویتربایت که نشان‌دهنده ضریب انعکاس ویتربایت (Vitrinite Reflectance) تقریباً ۰/۱۵ درصد در نمونه ۳۷ از برش فرهاد آباد است.



شکل ۵- نمودار $Pr/nC17$ در برابر $Ph/nC18$ که نشان‌دهنده آمیختگی مواد آلی خشکی و دریایی، بلوغ ضعیف از رسوبات و تأثیر به هم ریختگی زیستی (بایوتوریشن) در چندین نمونه از برش فرهادآباد است.



شکل ۶- تطابق منحنی تغییرات نسبی سطح آب سازند گورپی در برش مورد مطالعه با منحنی های ائوستازی (Haq et al., 1988).

جدول ۱- داده‌های ژئوشیمی آلی سازند گوری در برش فرهاد آباد.

S.N	TOC (%)	TIC	CPI	TAR	short chain n-alkan	mid chain n-alkan	long chain n-alkan	Pr/Ph	nC17/nC27	Pr+Ph/nC17+nC18
1	0.40	9	0.7	0.23	0.5	0.21	0.11	1.9	4.3	0.43
7	0.30	3.2	1	0.27	0.6	0.11	0.12	1.4	6.1	0.36
11	0.31	2.8	0.8	0.68	0.3	0.33	0.19	1.1	1.5	0.33
26	0.11	8.3	0.7	0.04	0.8	0.06	0.02	0.8	29.6	0.42
37	1.5	9.2	0.9	0.26	0.57	0.21	0.11	4.3	4.94	1.14
38	0.14	8.9	0.94	0.34	0.57	0.16	0.09	0.4	6.27	0.28
47	0.13	8.9	0.99	0.02	0.81	0.06	0.01	0.7	45.4	0.38
53	0.29	7.9	0.94	0.05	0.7	0.08	0.01	0.5	26.5	0.32
70	0.43	8.2	0.62	0.09	0.69	0.14	0.04	2.1	33.7	0.44
71	0.83	7.35	0.84	0.18	0.65	0.16	0.08	2.4	6.02	0.82
86	0.30	6.33	0.88	0.07	0.79	0.06	0.02	0.6	24.8	0.23

References

- Allan, J., Douglas, A.G., 1977- Variations in the content and distribution of n-alkanes in a series of carboniferous vitrinites and sporinites of bituminous rank; *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 41,1223– 1230.
- Amijaya, H., Schwarzbauer, J., 2006- Organic geochemistry of the Lower Suban coal seam, South Sumatra Basin, Indonesia: Palaeoecological and thermal metamorphism implications. *Organic Geochemistry*. 37(3), 261-279.
- Bombardiere, L. & Gorin, G., E., 2000- Stratigraphical and lateral distribution of sedimentary organicmatter in upper Jurassic carbonates of SE France. *Sedimentary Geology*, 132, 177-203.
- Bourbonniere, M. & Meyers, H.,1996 - *American Society of Limnology and Oceanography*, 41, 325.
- Bray, E. E., Evans, E.D., 1961- Distribution of n-paraffins as a clue to recognition of source beds; *Geochim. Cosmochim. Acta*. 22, 2– 15.
- Didyk, B., Simoneit, B. R. T., Brassell, S.C. & Eglinton, G., 1978- Organic geochemical indicators of palaeoenvironmental conditions of sedimentation; *Nature*. 272, 216– 222.
- Flügel, E., 2004- *Microfacies analysis of limestones*. Translated by K. Christenson. Springer-verlag, Berlin.
- Gorin, G., E., Steffen, D., 1991- Organic facies as a tool for recording eustatic variation in marine fine-grained carbonates-example of the Berriasian Stratotype at Barrias(Ardecch,SE France). *Paleo III*, 85, 303-320.
- Haq, B. U., Hardenbol, J. & Vail, P. R., 1988- Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change, in C. K. Wilgus, B. Hastings, C. Ross, H. Posamentier, J. Van Wagoner, and C. Kendall, eds., *Sea-level changes: an integrated approach*: Tulsa, Society for Sedimentary Geology (SEPM), p. 71–108.
- Killops, S.D., Funnell, R.H., Suggate, R.P., Sykes, R., Peters, K.E., Walters, C., Woolhouse, A. D., Weston, R. J., Boudou, J. P., 1998- Predicting generation and expulsion of paraffinic oil from vitrinite-rich coals; *Organic Geochemistry*. 29, 1 –21.
- Koopmans, M. P., Rijpstra, W. I. C., Klapwijk, M. M., de Leeuw, J.W., Lewan, M.D., Sinninghe Damste', J.S., 1999- A thermal and chemical degradation approach to decipher pristane and phytane precursors in sedimentary organic matter; *Org. Geochem*. 30, 1089–1104.
- Ku'spert, W., 1982- Environmental changes during oil-shale deposition as deduced from stable isotope ratios. In: Einsele, G., - Seilacher, A. (Eds.), *Cyclic and Event Stratification*; Springer, Berlin. 482–501.
- Lijmbach, G.W.M., 1975- On the origin of petroleum. *Proc. 9th World Pet. Congr*, vol. 2. Applied Science Publisher, London. 357–369.
- MacEachern, J. A., Pemberton, S.G., Gingras, M. K. & Bann, K. L., 2007- The ichnofaciesparadigm: a fifty-year retrospective. Pp. 52–77. in: Miller, W. (Editor), *Trace Fossils. Concepts, Problems, Prospects*. Elsevier, Amsterdam.
- Moradi, M., 2010- *Biostratigraphy and paleoecology of Gurpi Formation in Farhadabad, west of Darreh- Shahr*, MSc thesis, University of Tehran.
- Oboh-Ikuenobe, F.E., 1996- Correlating palynofacies assemblages with sequence Stratigraphy in upper Cretaceous (Campanian) sedimentary rocks of the Book Cliffs ,east-central Utah. *G. S. A., Ballerín*, 108, 1275-1294.

- Peters, K., 1986- Guidelines for evaluating Petroleum source rock using programmed pyrolysis. AAPG Bull. 70 (3), 318– 329.
- Peters, K.E. & Moldowan, J.M., 1993- The Biomarker Guide: Interpreting Molecular Fossils in Petroleum and Ancient Sediments Prentice-Hall, New Jersey. 343.
- Ro`hl, H.-J., Schmid-Ro`hl, A., Oschmann, W., Frimmel, A., Schwark, L., 2001- The Posidonia Shale (Lower Toarcian) of SW-Germany: an oxygen-depleted ecosystem controlled by sea level and palaeoclimate. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 165, 27–52.
- Sachsenhofer, R.F., Privalov, V. A., Izart, A., Elie, M., Kortensky, J., Panova, E.A., Sotirov, A., Zhykaliak, M.V., 2003- Petrography and geochemistry of Carboniferous coal seams in the Donets Basin (Ukraine): implications for palaeoecology. *International Journal of Coal Geology.* 55, 225– 259.
- Schioler, P., Crampton, J., Laird, M., 2002- Palynofacies and Sea level changes in the middle coniacian Late Campanian (Late Crataceous) of the East cos Basin, New Zealand. *Paleo III*, 188, 101-125.
- Schwark, L., Frimmel, A., 2004- Chemostratigraphy of the Posidonia Black Shale, SW-Germany: II. Assessment of extent and persistence of photic zone anoxia via aryl isoprenoid distributions. *Chem. Geol.* 206, 231–248.
- Schwarzbauer, J., Littke, R., 2000- Identification of specific organic contaminants for estimating the contribution of the Elbe river to the pollution of the German Bight. *Organic Geochemistry.* 31(12), 1713-1731. - Tyson, R., 1993 Palynofacies analysis. *Applied Micropaleontology*, 153-191.
- Sharland, P. R., Archer, R., Casey, D. M., Davies, R. B., Hall, S. H., Heward, A. P., Horbury, A. D., Simmon, M. D., 2001- Arabian plate sequence stratigraphy. *GeoArabia, Gulf Petrolink, Bahrin.* P: 371.
- Talukdar, S.C., De Toni, B., Marcano, F., Sweeney, J., Rangel, A., 1993- Upper Cretaceous source rocks of northern South America. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 71, 967– 985.
- Ten Haven, H.L., de Leeuw, J.W., Sinninghe Damste´, J.S., Schenk, P.A., Palmer, S.E., Zumberg, J., 1988- Application of biological markers in the recognition of palaeo-hypersaline environments. In: Fleet, A.J., Kelts, K., Talbot, M.R. (Eds.), *Lacustrine Petroleum Source Rocks.* *Geol. Soc. Spec. Publ.*, vol. 40. Blackwell, Oxford. 123– 130.
- Tissot, B.P., Welte, D.H., 1984- Petroleum formation and occurrence. Second revised and enlarged edition. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 699.
- Tyson, R.V., 1995- Sedimentary Organic Matter. Organic Facies and Palynofacies; Chapman and Hall, London. pp 615.
- Van der Zwan, G.J., 1990- palynostratigraphy and palynofacies Reconstruction of the upper Jurassic to lowermost cretaceous of the Drugen fild ,off shore mid Norway .Review of paleobotany and palynology ,62.157-186.
- Waveren, I., Visscher, H., 1994- Analysis of the composition and selective preservation of organic matter in surfical deep –sea sediment form a high –productivity area (Bandasa, Indonesia) *Paleo III*, 112, 85-111.

Palaeoenvironmental Study of the Gurpi Formation at Farhadabad Section (Northeast of Kabirkuh) based on Palynofacies and Organic Geochemistry Analysis

E. Zarei ^{1*} & E. Ghasemi-Nejad ²

¹ Ph.D., Faculty of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

² Professor, Faculty of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2013 April 24

Accepted: 2013 October 15

Abstract

The Gurpi Formation at Farhadabad section in west of Darehshahr, was studied in detail for environmental changes and water-level fluctuations via using organic matter contents of the rock samples. Depositional environment interpretation was done based on integration of evidences derived from organic geochemistry analysis (TOC, TIC and Aliphatic n-alkane (short, mid and long chain n-alkane to sum of n-alkane, TAR (terrigenous-aquatic ratio), CPI (Carbon Preference Index), ratio of C17 to C27 and Isoperinoids (pr/ph, pr+ph/nC17+nC18, pr/nC17 and ph/nC18) and palynofacies data (Amorphous organic matter, marine palynomorphs and palynomaceral). Statistical studies on palynomorphs confirm the results gained from the organic geochemical analysis. High ratio of palynomaceral and high TAR and CPI and dominance of long chain n-alkane and low ratio of C17/C27 (C17 relative to C27) and high ratio of Pr/Ph (>1) indicate regression condition at the base of the Gurpi Formation, Lophamember, top of Emam-Hassan Member and Cretaceous – Tertiary boundary. On the other hand high abundance of marine palynomorphs and transparent amorphous organic matter and unimodal n-alkane with a marked even over odd predominance (CPI <1) and TAR <1 and high C17/C27 (C17 relative to C27) and low ratio of pr/nC17 < 0.5 indicate transgressive condition in upper part of *Globotruncanita stuartiformis* biozones, black shales between Lophamember and Emam-Hassan, upper part of *Contusotruncana contusa* biozones and at the base of purple shale of the Pabdeh Formation. Maximum flooding surface probably equates the 70 Ma MFS K175, 68 Ma MFS K180 and 58 Ma MFS Pg10 of Sharland et al., 2001 that is recorded in many parts of the Arabian Plate. The relative sea level curve resulted in form this study is well in accord with the existing eustasy curves especially for the Campanian-Maastrichtian boundary indicating effect of eustasy on relative sea-level changes during this period. Combining all these data, an open marine environment with terrestrial organic input under suboxic to anoxic conditions can be concluded for the depositional course of the Gurpi Formation.

Keywords: Water-level fluctuations, Organic geochemistry analysis, Palynofacies, Gurpi Formation, Campanian-Maastrichtian, Zagros basin, Iran.

For Persian Version see pages 13 to 22

*Corresponding author: E. Zarei; E-mail:zareei@khayam.ut.ac.ir