

رخساره‌های سنگی و محیط رسوبی سازند آبجایی (ژوراسیک پیشین) در رخنمون و چاه‌های اکتشافی معدن زغال‌سنگ پروده طبس، خاور ایران مرکزی

محمدعلی صالحی^{۱*}، سیدرضا موسوی حرمی^۲، اسداله محبوبی^۲ و بهنام رحیمی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۳ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۲

چکیده

سازند آبجایی از رسوبات آواری با سن ژوراسیک پیشین تشکیل شده است که به‌طور گسترده در بلوک طبس رخنمون دارد. ستبرای این سازند در شمال بلوک طبس از ۵۰۰ متر تا در حد چند ده متر در تغییر است. سازند آبجایی در محدوده معدن زغال‌سنگ پروده طبس ستبرایی در حدود ۷۵ متر دارد و بیشتر از توالی ماسه‌سنگ، سیلت‌استون، گل‌سنگ و رگه‌های نازک زغال (به ستبرای ۲۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) تشکیل شده است. برای شناسایی رخساره‌های سنگی و تفسیر محیط رسوبی سازند آبجایی از دو رخنمون و سه چاه اکتشافی در منطقه مورد مطالعه نیز استفاده شده است. تحلیل رخساره‌های سنگی در رخنمون‌های مورد مطالعه به شناسایی دو رخساره دانه‌درشت (Gcm, Gt)، چهار رخساره دانه متوسط (St, Sr, Sh, Sp)، دو رخساره دانه‌ریز (Fm, Fl) و یک رخساره زغالی (C) انجامیده است. رخساره‌های سنگی شناسایی شده قابل گروه‌بندی در قالب چهار عنصر ساختاری کانال، بخش پیچیده متاندر (رسوبات سد نقطه‌ای)، کروس پهن و باتلاق هستند. بررسی رخساره‌های الکتریکی و مطالعه روند تغییرات نمودار گاما نیز به شناسایی و تفکیک این عناصر ساختاری در چاه‌های اکتشافی انجامیده است. رخساره‌های سنگی و عناصر ساختاری شناسایی شده نشان از ته‌نشست رسوبات سازند سیلیسی آواری آبجایی در یک محیط رودخانه‌ای مآندری گسترش یافته در یک دشت ساحلی با باتلاق‌های گسترده است. مطالعات رسوب‌شناسی این سازند امکان بازسازی جغرافیای دیرینه در لبه خاوری بلوک طبس را فراهم آورده است که بیانگر ته‌نشست رسوبات غیر دریایی تا دشت ساحلی در لبه خاوری این بلوک است.

کلیدواژه‌ها: سازند آبجایی، رخساره‌های سنگی، عناصر ساختاری، رخساره‌های الکتریکی، دشت ساحلی.

*نویسنده مسئول: محمدعلی صالحی

E-mail: ma.salehi@stu-mail.um.ac.ir

۱- پیش‌گفتار

بخش خاوری ایران مرکزی با نام خردقاره ایران مرکزی شناخته می‌شود که از دید ساختاری قابل تقسیم به بلوک‌های (صفحه‌های) لوت، طبس و یزد است (آقاباتی، ۱۳۸۳) (شکل ۱). این بخش از ایران مرکزی در طی مزوزویک و سنوزویک به منطقه‌ای پر تحرک و پویا تبدیل شده است؛ به‌گونه‌ای که هر کدام از بلوک‌ها ویژگی جداگانه داشته‌اند و فعالیت آنها با یکدیگر یکسان نبوده است (آقاباتی، ۱۳۸۳؛ Seyed-Emami et al., 2004). حرکات زمین‌ساختی سیمین پیشین در اواخر تریاس میانی و پسین نقش عمده‌ای در شکل‌گیری زمین‌شناسی ایران در زمان ژوراسیک داشته است. در این زمان در حوضه‌های کم‌ژرفای قاره‌ای-ساحلی افزون بر رسوبات سیلیسی آواری، توالی‌های زغال‌دار نیز نهشته شده‌اند (Wilmsen et al., 2009). این نهشته‌های زغالی دارای ارزش اقتصادی هستند و معادن زغال‌سنگ با ذخیره‌های قابل توجه را در ایران مرکزی به‌وجود آورده‌اند. باوجود شباهت‌های چینه‌شناسی در گروه شمشک ایران مرکزی و البرز، و با توجه به تغییرات چینه‌شناسی و فسیل‌شناسی موجود در آنها، توالی‌های رسوبی به سازندهای مختلف تفکیک شده‌اند (آقاباتی، ۱۳۸۳). برای اولین بار Aghanabati (1975) سازند آبجایی را با سن ژوراسیک پیشین معرفی و برش نمونه این سازند را در طبس، پیرامون روستای رباط‌خان انتخاب کرده است. این سازند در بخش خاوری ایران مرکزی گسترش دارد و ستبرای میانگین آن در حدود ۵۰۰ متر است (آقاباتی، ۱۳۸۳) که البته ستبرای آن در برخی مناطق خاوری بلوک طبس، مانند معدن زغال‌سنگ پروده، تا چند ده متر کاهش می‌یابد و حتی در بخشی از مناطق مانند بالاآمدگی شتری کاملاً فرسایش یافته و یا رسوب‌گذاری نکرده است (Wilmsen et al., 2009). رخساره‌ها و محیط رسوبی این سازند در بسیاری از مناطق ایران مرکزی ناشناخته است که شناسایی آنها در بازسازی جغرافیای دیرینه این منطقه در طی ژوراسیک زیرین با اهمیت است. مطالعه علی‌خاصی و همکاران (۱۳۹۰)

از مطالعات اخیر رسوب‌شناسی صورت گرفته روی سازند آبجایی است که به شناسایی رخساره‌ها و محیط رسوبی از نوع دلتایی در منتهی‌الیه بلوک یزد (بلوک کلمرد) انجامیده است. سازند آبجایی در محدوده معدن زغال‌سنگ پروده طبس (با مساحتی در حدود ۱۸۰۰ کیلومتر مربع) با هدف مطالعه رخساره‌های سنگی و تفسیر محیط رسوبی در رخنمون‌ها و چاه‌های اکتشافی حفر شده در منطقه و نیز به منظور بازسازی جغرافیای دیرینه بخشی از لبه خاوری بلوک طبس مورد مطالعه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه از دید اکتشاف و استخراج زغال‌سنگ مطالعه دقیق رسوب‌شناسی توالی‌های زغال‌دار مورد توجه است. از این رو این مطالعه به شناخت بیشتر از توالی رسوبی زغال‌دار سازند آبجایی کمک می‌کند و نوآوری آن در معرفی ویژگی‌های رخساره‌های سازنده این سازند در زیر سطح زمین است. نتیجه این مطالعه می‌تواند در توسعه فازهای اکتشافی و در حال استخراج توالی‌های زغال‌دار منطقه مورد مطالعه و دیگر مناطق مشابه مفید باشد.

از ویژگی‌های این منطقه رخنمون‌های منحصراً به فرد با شیب ملایم و نزدیک به مسطح است. ستبرای میانگین سازند آبجایی در منطقه مورد مطالعه ۷۵ متر است که به‌صورت ناپیوسته و هم‌شیب روی سازند نایبند و به‌صورت پیوسته در زیر سازند بادامو قرار گرفته است (شکل‌های ۲ و ۴-A). معدن زغال‌سنگ پروده از دید ساختاری به بلوک‌های پروده شماره یک تا چهار و پروده خاوری تقسیم شده است (شکل ۳).

۲- روش مطالعه

در بازسازی محیط رسوبی سازند آبجایی در محدوده معدن زغال‌سنگ پروده از دو رخنمون صحرایی و نمودار چاه‌پیمایی ۳ چاه اکتشافی استفاده شده است

زیرین به‌صورت مشخص و گاه فرسایشی است. این رخساره در بخش‌های بالایی به رخساره‌های دانه‌متوسط ماسه‌سنگی پبل دار تبدیل می‌شود.

تفسیر: این رخساره با توجه به گردش‌گی و جورشدگی متوسط دانه‌های آواری بازتابی از انرژی بالای جریان و بار رسوبی متوسط در یک محیط قاره‌ای است. این رخساره بیشتر توسط جابه‌جایی سدهای درون کانال (مگاریپل‌های سه‌بعدی) و به شکل رسوبات پرکننده کانال‌های فرعی گراولی شکل می‌گیرد (Miall, 2006; Türkmen et al., 2007).

۲-۲. رخساره‌های سنگی دانه‌متوسط

رخساره‌های سنگی دانه‌متوسط فراوانی به‌نسبت بالایی دارند و ۴ نوع رخساره ماسه‌سنگی از آنها (St, Sp, Sh, Sr) شناسایی شده است (جدول ۱). در این مجموعه، رخساره‌ها بر پایه فراوانی ساخت‌های رسوبی اولیه آنها دسته‌بندی شده‌اند و به‌طور کلی دارای ویژگی‌های بافتی همانندی هستند.

– رخساره ماسه‌سنگی با لایه‌های مورب عدسی (St)

توصیف: این رخساره دارای لایه‌بندی مورب عدسی است و نسبت به دیگر رخساره‌های سنگی فراوانی بیشتری دارد (شکل ۴-D). لایه‌های مورب دارای زاویه‌ای میان ۱۰ تا ۱۵ درجه است. این رخساره با اندازه دانه از ماسه متوسط تا درشت دیده شده و در بخش قاعده، چرخه‌های به‌سوی بالا ریزشونده فراوان است. این رخساره از دید بلوغ بافتی دارای جورشدگی و گرد شدگی متوسط تا خوب است.

تفسیر: این رخساره نیز بیشتر در اثر حرکت ریپل‌مارک‌ها یا مگاریپل‌های سه‌بعدی با خط رأس سینوسی حاصل می‌شوند (Khalifa & Catuneanu, 2008; Ghosh et al., 2006). تشکیل این رخساره در سازند آبحاجی می‌تواند حاصل پر شدن کانال یا گسترش بخش‌های پیچیده‌مانند (پوینت‌بار) باشد (برای نمونه، Gani & Alam, 2004).

– رخساره ماسه‌سنگی با لایه‌های مورب مسطح (Sp)

توصیف: رخساره Sp فراوانی به‌نسبت کمتری در میان رخساره‌های دانه‌متوسط در سازند آبحاجی دارد. در این رخساره سنگی، اندازه دانه‌ها از ماسه متوسط تا درشت در تغییر و دارای لایه‌بندی مورب مسطح با زاویه کم (میان ۱۰ تا ۲۰ درجه) است (شکل‌های ۴-E و F). اندازه دانه در این رخساره میان ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر در تغییر است و در بیشتر موارد جورشدگی و گردشدگی خوبی دارند. این رخساره به‌طور جانبی به دیگر رخساره‌های ماسه‌سنگی مانند St و Sh و رخساره‌های گل‌سنگی تبدیل می‌شود.

تفسیر: این رخساره بیشتر می‌تواند در اثر حرکت ریپل‌های دوبعدی و با خط‌رأس مستقیم تشکیل شود (Ghosh et al., 2006). همچنین، ماسه‌سنگ‌های همانند با این رخساره به‌عنوان نهشته‌های سدهای زبانه‌ای یا متقاطع در شرایط رژیم جریان پایین تفسیر شده است (برای نمونه، Miall, 2006; Türkmen et al., 2007; Khalifa & Catuneanu, 2008; Tewari et al., 2012).

– رخساره ماسه‌سنگی با لایه‌های افقی (Sh)

توصیف: رخساره Sh یکی از فراوان‌ترین رخساره‌ها در سازند آبحاجی است. ویژگی اصلی این رخساره وجود لایه‌ها و لامیناسیون‌های موازی و افقی است (شکل ۴-G). چینه‌ها در حد لامیناسیون (میلی‌متری) هستند که مجموعه‌هایی ستبر تا ۱ متر را به‌وجود می‌آورند. رخساره Sh در ماسه‌سنگ‌های با اندازه دانه در حد ۰/۱ تا ۰/۳ میلی‌متر و ۰/۵ تا ۰/۸ میلی‌متر تشخیص داده شده است. این رخساره همچنین از دید بافتی دارای جورشدگی و گردشدگی بالایی است. رخساره Sh در سازند آبحاجی گاه در بخش‌های بالایی رسوبات دانه‌درشت که به رسوبات دانه‌متوسط تبدیل می‌شوند دیده شده است (شکل ۴-G). این رخساره معمولاً به‌طور جانبی به رخساره‌های ریزدانه گل‌سنگی تبدیل می‌شود.

تفسیر: این رخساره می‌تواند در رسوبات با اندازه‌های متفاوت و در سرعت‌های

(شکل ۳). رخنمون این سازند در بلوک‌های شماره یک و دو معدن اندازه‌گیری شده‌اند و به‌ترتیب دارای ستبرای ۹۰ و ۷۴ متر هستند (شکل ۳). سازند آبحاجی در چاه‌های شماره A، B و C ستبرای ۸۲/۵، ۶۳ و ۶۲ متر دارد و این چاه‌ها به‌ترتیب در بلوک‌های دو، چهار و بلوک خاوری معدن پروده قرار گرفته‌اند (شکل ۲).

نام‌گذاری رخساره‌های سنگی و عناصر ساختاری در صحرا بر پایه کدهای رخساره‌ای ارائه شده توسط (Miall 2000 & 2006) انجام شده است. برای تعیین رخساره الکتریکی و تطابق نمودارهای چاه‌پیمایی ابتدا فایل‌های تصویری نمودارهای چاه‌پیمایی آنها با استفاده از نرم‌افزار دیجیتایزر (Dijitizer) به‌صورت رقمی در آمده‌اند و سپس از آنها در نرم‌افزار پترل (Petrel) استفاده شده است. رخساره‌های الکتریکی به کمک روش آماری تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis) و با استفاده از نرم‌افزار متلب (Matlab) تعیین شده است (Tavakoli & Amini, 2006; Kadhodaie-Ikhchi et al., 2013). مراحل تعیین رخساره الکتریکی شامل ۱- تعیین فاصله میان داده‌ها، ۲- برقراری ارتباط میان فواصل داده‌ها، ۳- تولید درخت خوشه‌ای از داده‌های مرحله‌پیش و ۴- تعیین خوشه‌های مناسب در جدایش داده‌هاست (Tavakoli & Amini, 2006; Kadhodaie-Ikhchi et al., 2013). همچنین از شکل نمودار گاما در شناسایی و جدایش عناصر ساختاری محیط‌های رسوبی مختلف استفاده شده است (Serra, 1986; Cant, 1992; Rider, 2000).

۳- رخساره‌های سنگی

رخساره‌های سنگی شناسایی شده در سازند آبحاجی به ۳ دسته دانه‌درشت، دانه‌متوسط و ریز دانه تقسیم شده که به شرح زیر است (جدول ۱).

۳-۱. رخساره‌های سنگی دانه‌درشت

دو رخساره سنگی دانه‌درشت در سازند آبحاجی تنها در محدوده معدن پروده یک و بخشی از پروده دو شناسایی شده است (شکل ۳).

– رخساره گراولی دانه‌پشتیان توده‌ای (Gem)

توصیف: از ویژگی‌های اصلی این رخساره می‌توان به حضور دانه‌های پبل به‌صورت توده‌ای و بدون آرایش خاصی در کنار یکدیگر اشاره کرد. در این رخساره مقدار زمینه (ماتریکس) بسیار ناچیز و شامل دانه‌های آواری در حد ماسه است. این رخساره در پروده یک بیشتر در بخش زیرین سازند آبحاجی و در مرز با سازند نایبند دیده شده است (شکل ۴-B). مرز زیرین این رخساره به‌صورت فرسایشی است و روی توالی‌های دانه‌ریز سازند نایبند قرار می‌گیرد. در این رخساره پبل‌های سیاه‌رنگ ماسه‌سنگی و سفیدرنگ چرتی در اندازه چند میلی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر دیده می‌شود که جورشدگی ضعیفی نشان می‌دهند (شکل ۴-B).

تفسیر: فراوانی دانه همراه با جورشدگی ضعیف نشان از جریان‌های با آشفستگی کم و چگالی بالا دارد که حالت توده‌ای دارند و در نواحی نزدیک به منشأ تشکیل می‌شوند (Köykkä, 2011). این رخساره احتمالاً در اثر حمل و نقل بار بستر به‌صورت نهشته‌های باقیمانده کانالی و از جریان‌هایی که سرعت و انرژی بالایی دارند تشکیل شده است (Petit et al., 2005).

– رخساره گراولی با لایه‌بندی مورب عدسی (Gt)

توصیف: این رخساره از ذرات دانه‌درشتی در حد گرانول تا پیل تشکیل شده است که دارای لایه‌بندی مورب عدسی است (شکل ۴-C). این رخساره در بخش زیرین سازند آبحاجی متناوب با دیگر رخساره‌های دانه‌متوسط ماسه‌سنگی دیده می‌شود. از ویژگی‌های این رخساره می‌توان به لایه‌های کنگلومرایی به ستبرای در حد چند ده سانتی‌متر تا ۱ متر اشاره کرد که با رخساره‌های ماسه‌سنگی در تناوب قرار گرفته است (شکل ۴-C). قطعات از نوع چرت و در بیشتر موارد گردشده و جورشده هستند. همچنین در بیشتر موارد زمینه دانه‌ریزی در اندازه ماسه میان دانه‌ها را فرا گرفته است. شکل هندسی این رخساره سنگی عدسی‌شکل و همبری آن با لایه‌های

رخساره زغالی دیده می‌شود. این رخساره در رخنمون‌های معدن پروده دیده شده است. **تفسیر:** زغال‌ها معمولاً در دشت‌های سیلابی رودخانه‌ها و محیط‌های باتلاقی دشت‌های ساحلی شکل می‌گیرند (Higgs et al., 2012; Tewari et al., 2012). وجود بقایای گیاهی و همچنین مواد آواری دانه‌ریز در این رخساره بیانگر تشکیل در یک محیط باتلاقی با پوشش گیاهی فراوان است که مواد آواری دانه‌ریز به درون آن وارد می‌شده‌اند.

۴- عناصر ساختاری

مجموعه رخساره‌های سنگی سبب جدایش عناصر ساختاری می‌شود. عناصر ساختاری شامل شکل‌های رسوب‌گذاری و فرسایشی می‌شود که بر پایه محیط رسوبی دسته‌بندی می‌شوند (Miall, 2000). به منظور شناسایی عناصر ساختاری در سازند آبجایی ویژگی‌هایی مانند نوع سطح تماس زیرین و بالایی لایه‌ها، فرم هندسی رسوبات، نوع سنگ‌شناسی و رخساره آنها در نظر گرفته شده است. به طور کلی ۴ عنصر ساختاری کانال، بخش پیچیده مئاندر (رسوبات سد نقطه‌ای)، کروس پهن و باتلاق دشت ساحلی در رسوبات سازند آبجایی شناسایی شده است (جدول ۲).

- عنصر ساختاری کانال (CH): عنصر ساختاری کانالی به فرم رسوبات پرکننده کانال با شکل هندسی کانالی و در بخش زیرین توالی‌های ریز شونده وجود دارند. بخش زیرین این عنصر ساختاری به صورت آشکار و فرسایشی ولی مرز بالایی آن به صورت تدریجی است. ارتفاع میانگین کانال‌ها ۵ متر است و پهنای آنها تا ۲۰ متر می‌رسد (شکل‌های ۵-A و B). کانال‌ها بیشتر به صورت زنجیره‌ای ولی منفرد در کنار هم قرار گرفته‌اند و گاه نیز به یکدیگر متصلند و اثر حرکت جانبی در آنها دیده می‌شود (شکل‌های ۵-A و B). این عنصر ساختاری در رخنمون‌های مورد مطالعه فراوان است، محور کانال آن بیشتر روند خاوری-باختری دارد و در حدود ۲۰ درصد از توالی را تشکیل می‌دهد. رخساره‌های سنگی Gcm, Gt, St, Sh, Sr سازنده این عنصر ساختاری هستند. گسترش جانبی زیاد کانال نشان از جابه‌جایی زیاد این زیر محیط دارد (Ghazi & Mountney, 2009).

- عنصر ساختاری سد نقطه‌ای (PB): سد نقطه‌ای با توالی‌های ریزشونده به سوی بالا و بالایه‌بندی مورب که از ماسه‌های دانه‌متوسط تشکیل شده است شناخته می‌شود (شکل ۵-C). مرز زیرین و بالایی این عنصر ساختاری به صورت تدریجی است؛ ستبرای آن ۵ تا ۱۰ متر است و تا حدود ۲۰ درصد از کل توالی را به خود اختصاص می‌دهد. رخساره‌های سنگی St, Sp, Sh, Sr سازنده این عنصر ساختاری هستند و معمولاً این عنصر همراه با عنصر ساختاری کانال دیده می‌شود.

- عنصر ساختاری باتلاق دشت ساحلی (CPS): عنصر ساختاری باتلاق دشت ساحلی بیشتر از رخساره‌های سنگی ریزدانه و رخساره آلی زغال تشکیل شده است. لایه‌بندی در این عنصر ساختاری به صورت افقی ولی گاه نیز به صورت توده‌ای است که لایه‌های ماسه‌ای کروس‌های پهن دارد (شکل ۵-D). در توالی مورد مطالعه مرز زیرین این عنصر ساختاری با رسوبات سد نقطه‌ای تدریجی و مرز بالایی در صورتی که کانال وجود داشته باشد فرسایشی است. ستبرای رخساره باتلاق دشت ساحلی از ۱۰ تا ۴۰ متر در نوسان است. رخساره‌های سنگی این عنصر ساختاری Sr, Fl, Fm, C است. رخساره باتلاق دارای آثار فسیلی گیاهی است که نشان از حمل بخشی از آنها توسط رودخانه به سوی دشت ساحلی و باتلاق‌های آن دارد (Ojo & Akande, 2009).

- عنصر ساختاری کروس پهن (CS): کروس‌های پهن با لایه‌های افقی با اندازه ماسه دانه‌ریز، در میان لایه‌های دانه‌ریز رسی و سیلتی قرار گرفته و به صورت جانبی نازک شده‌اند و گاه حالت عدسی دارند (شکل ۵-E). مرز زیرین و بالایی آنها معمولاً آشکار است. ستبرای این عنصر ساختاری نیم تا یک متر است که به صورت جانبی از ستبرای آن کاسته می‌شود. ستبرای آن در توالی‌های مورد مطالعه از ۱ تا ۲ درصد بیشتر نمی‌شود. رخساره‌های سنگی Sr و Sh تنها رخساره‌های سازنده این عنصر ساختاری هستند.

مختلف جریان آب تشکیل شود (Ghazi & Mountney, 2009). به طوری که در جریان‌های بالا، لامیناسیون‌ها بیشتر در رسوبات در حد ماسه و سیلت شکل گرفته‌اند و همراه با ریپل مارک نیستند. بر خلاف آن در جریان پایین آب لامیناسیون‌های افقی بیشتر در رسوبات ماسه‌ای با اندازه دانه بیشتر از ۰/۶ دیده شده که در چنین حالتی نیز سرعت جریان به حد شکل‌گیری ریپل نیست (Ghazi & Mountney, 2009; Higgs et al., 2012). در سازند آبجایی به نظر می‌رسد رخساره Sh در سرعت‌های پایین و بالای جریان آب تشکیل شده است.

- رخساره ماسه‌سنگی ریپلی (Sr)

توصیف: رخساره Sr یکی از رخساره‌های شناسایی شده در سازند آبجایی است (شکل ۴-H). شکل‌های ریپلی در سازند آبجایی تنوع فراوانی دارند که از انواع آن می‌توان به ریپل مارک‌های با خط‌الرأس مستقیم متقارن، سینوسی، دو شاخه و پیچیده اشاره کرد. این ریپل‌ها در سازند آبجایی در دو نوع موجی و جریانی تشکیل شده‌اند. پراکندگی اندازه دانه‌ها در این رخساره میان ماسه ریز تا متوسط در تغییر است. در رخساره Sr، جورشدگی و گردشدگی دانه‌ها بالا و بلوغ بافتی آن در حد بالغ است. **تفسیر:** ریپل مارک‌های موجی در این رخساره نشان‌دهنده تشکیل آنها در محیط‌های تحت تأثیر امواج ساحلی است (Davis, 2012). ریپل مارک‌های جریانی حاصل رسوب‌گذاری توسط جریان‌های یک‌سویه در محیط‌های رودخانه‌ای است (برای نمونه Higgs et al., 2012). با توجه به مشاهده هر دو نوع ریپل مارک متقارن و جریانی در سازند آبجایی وجود محیط‌های رسوبی زیر آب و قاره‌ای تأیید می‌شود.

۳- رخساره‌های سنگی دانه‌ریز

رخساره سنگی دانه‌ریز بیشتر در بخش‌های میانی و بالایی توالی مورد مطالعه وجود دارد و نزدیک به ۴۰ درصد رسوبات سیلیسی آواری سازند آبجایی را به خود اختصاص داده است (شکل ۴-A). دو رخساره دانه‌ریز در نهشته‌های مورد مطالعه شناسایی شده است. از رخساره‌های سنگی دانه‌ریز می‌توان به رخساره سیلتی و گلی دارای لامیناسیون (Fl) و بدون لامیناسیون (Fm) اشاره کرد.

- رخساره گلی بدون لامیناسیون (Fm)

توصیف: این رخساره بدون هرگونه لایه‌بندی و ساخت رسوبی است و معمولاً در سازند آبجایی به رنگ سبز روشن دیده می‌شود (شکل ۴-I). رخساره Fm در برش معدن پروده در حدود ده متر ستبرای دارد. این رخساره بیشتر همراه با رخساره Fl و C قرار گرفته است.

تفسیر: همراهی این رخساره با رخساره‌های دانه‌ریز و زغالی نشان‌دهنده تشکیل در نتیجه رسوب‌گذاری سریع ذرات معلق در آب در یک محیط کم‌انرژی مانند دشت‌های سیلابی محیط رودخانه‌های است (Miall, 2006).

- رخساره گلی دارای لامیناسیون (Fl)

توصیف: رخساره Fl شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های دانه‌ریز گل‌سنگی است که اندازه دانه‌ها بیشتر در حد رس است ولی در برخی بخش‌های توالی به دانه‌های در حد ماسه ریز یا سیلت تبدیل می‌شود (شکل ۴-J). لامیناسیون موازی مهم‌ترین ساخت رسوبی این رخساره سنگی است. این رخساره بیشترین ستبرای را در بخش‌های پایانی سازند آبجایی مانند بخش پایانی رخنمون شماره ۲ در معدن پروده دارد. رخساره Fl بیشتر به رنگ سبز دیده شده است.

تفسیر: این رخساره بیشتر در انرژی پایین جریان آب و در نتیجه جریان‌های تعلیقی حاصل شده است (Higgs et al., 2012). رنگ سبز این رخساره نشان‌دهنده تشکیل در شرایط احیایی است (برای نمونه Davis, 2012).

- رخساره زغال (C)

توصیف: این رخساره به صورت لایه‌هایی از زغال و گل‌سنگ‌های سیاه‌رنگ، معمولاً با ستبرای کمتر از ۰/۵ متر و با محتوای بالایی از مواد آلی شناسایی شده است (شکل ۴-I). آثار گیاهی مانند برگ و ساقه گیاهان به فراوانی در

به خود اختصاص می‌دهد. شکل لاگ گاما در این رخساره به صورت نامنظم (Serrated) و مقدار آن از ۱۲ تا بیشینه ۳۰ گاما/سانتی‌متر در تغییر است. ستبرای این رخساره در چاه A به ۳۰ متر هم می‌رسد (شکل ۷).

تفسیر: شکل نامنظم لاگ گاما و مقدار بالای آن نشان‌دهنده وجود رسوبات دانه‌ریز رسی - سیلتی و گاه لایه‌های نازکی از ماسه‌های ریز است که می‌توانند در محیط دشت سیلابی و یا ساحلی نهشته شوند (Cant, 1992; Ghazi & Mountney, 2010). در این رخساره لایه‌های زغال و شیل‌های غنی از مواد آلی نیز وجود دارد که نشان‌دهنده تشکیل آنها در باتلاق دشت سیلابی و یا دشت ساحلی است. این رخساره الکتریکی در توالی چاه‌های مورد مطالعه بیشتر روی رسوبات بخش پیچیده متاندر قرار دارد و با رخساره‌های سنگی Sr, Fl, Fm, C تطبیق می‌کند.

– رخساره الکتریکی ۴ (EF-4)

توصیف: این رخساره الکتریکی کمتر از ۵ درصد از توالی چاه‌های اکتشافی سازند آبخاجی را به خود اختصاص می‌دهد. نمودار لاگ گاما در این رخساره قیفی شکل (Funnel Shape) و مقدار آن به سوی بالا کاهش می‌یابد. تغییرات لاگ گاما میان ۵ تا ۱۵ گاما/سانتی‌متر و ستبرای آن کمتر از یک متر است (شکل ۷ و جدول ۲).

تفسیر: روند کاهشی لاگ گاما که با درشت‌شوندگی اندازه دانه همراه است و همچنین وجود مرز مشخص زیرین آن می‌تواند بیانگر رسوبات کروس پهن باشد (Cant, 1992; Ghazi & Mountney, 2010). این رخساره الکتریکی در میان رخساره الکتریکی ۳ قرار گرفته و با رخساره‌های سنگی Sr و Sh منطبق است.

۵-۱. تطابق رخساره‌های الکتریکی

۴ رخساره الکتریکی شناسایی شده در چاه‌های اکتشافی قابل انطباق با زیرمحیط‌های شناسایی شده در رخنمون‌های مطالعه شده از سازند آبخاجی معدن پروده است که در نزدیک‌ترین فاصله با چاه‌های اکتشافی قرار دارد. نکته قابل توجه در مطالعه رخساره‌های الکتریکی همانندی ویژگی‌های رخساره‌ها در محیط دشت سیلابی رودخانه‌ای و دشت ساحلی است که هر دوی این رخساره‌ها در گروه رخساره الکتریکی ۳ قرار گرفته‌اند. از آنجایی که مطالعات صحرایی در برش معدن پروده نشان داد بخش چهارم سازند آبخاجی در محیط دشت ساحلی ته‌نشست یافته، بنابراین این رخساره در این بخش از سازند آبخاجی به رخساره دشت ساحلی و در بخش‌های زیرین به دشت سیلابی نسبت داده شده است (شکل ۸). شکل ۸ تطابق نسبی رخساره‌های الکتریکی در چاه‌های B و C را نشان می‌دهد. با توجه به کاهش ستبرای رخساره کانال و افزایش ستبرای رخساره بخش پیچیده متاندر در چاه B در مقایسه با چاه C، این اختلاف ستبرای با موقعیت مکانی آنها در بخش‌های مختلف محیط رسوبی مرتبط است. به طوری که چاه B نسبت به چاه C در محیط‌های دور از کانال نهشته شده است.

۶- محیط رسوبی و جغرافیای دیرینه

رخساره‌های سنگی و عناصر ساختاری شناسایی شده از سازند آبخاجی در رخنمون‌ها و چاه‌های اکتشافی در منطقه مورد مطالعه به‌همراه شواهدی چون توالی‌های به‌سوی بالا ریزشونده، تغییر ستبرای جانبی عناصر ساختاری مشاهده شده در رخنمون‌ها و چاه‌های انطباق داده شده، نشان می‌دهند که این رسوبات در یک محیط رودخانه‌ای از نوع متاندیری که در دشت ساحلی گسترش داشته است ته‌نشست کرده‌اند (شکل ۹). با توجه به جهت‌گیری خاور به باختر محور کانال‌ها در سازند آبخاجی در رخنمون‌های منطقه مورد مطالعه رسوبات آواری احتمالاً از خاور بلوک طبس منشأ یافته‌اند و کانال‌های رودخانه به‌سوی باختر بلوک در جریان بوده‌اند. شواهدی مانند گسترش ناچیز رخساره‌های دانه‌درشت و فراوان بودن رخساره‌های دانه‌متوسط و ریز به‌همراه لایه‌های زغال به‌نسبت پیوسته همگی نشان می‌دهند که رودخانه متاندیری یادشده در بخش‌های از دشت ساحلی در جایی که سطح آب زیرزمینی بالاست و

در شکل ۵-F نمای از رخنمون سازند آبخاجی به‌همراه مجموعه عناصر ساختاری نشان داده شده است. از ویژگی‌های آشکار سازند آبخاجی در بلوک شماره دو معدن پروده و همچنین در دیگر بلوک‌ها توالی‌های به‌سوی بالا ریز شونده با ستبرای ۳۰ تا ۴۰ متر است که در بخش زیرین از رسوبات دانه‌درشت تا متوسط کانالی شروع می‌شود تا در پایان به رسوبات دانه‌ریز و یا زغالی برسد (شکل ۶). توالی دانه‌ریز بخش بالایی سازند آبخاجی که از عنصر ساختاری باتلاق دشت ساحلی تشکیل شده است، فسیل‌هایی مانند دوکفه‌ای‌ها و براکیوپود دارد که نشان‌دهنده برقرار شدن شرایط ساحلی - دریایی پیش از پیشروی گسترده آب دریا و ته‌نشست سازند کربناتی بادامو است (شکل ۶).

۵- رخساره‌های الکتریکی

به منظور بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و تعیین ویژگی الکتریکی رخساره‌های شناسایی شده در رخنمون معدن پروده و همچنین بازسازی محیط رسوب‌گذاری سازند آبخاجی در محدوده این برش از اطلاعات سنگ‌شناسی و نمودار چاه‌پیمایی ۳ چاه اکتشافی استفاده شده است. استفاده از اطلاعات چاه‌های اکتشافی مجاور با رخنمون به‌دست آوردن اطلاعات بیشتر از تغییرات جانبی رخساره‌ها در محدوده مورد مطالعه می‌انجامد (Luthi & Flint, 2014). رخساره الکتریکی یک روش برای دسته‌بندی لاگ‌های چاه‌پیمایی است که سبب جدایش خوشه‌ها یا دسته‌هایی از لاگ‌ها با ویژگی‌های همانند می‌شود و می‌تواند نشان‌دهنده تغییر ویژگی‌های زمین‌شناسی (رسوبی و دیاژنتزی) لایه‌ها باشد (Serra, 1986; Ghazi & Mountney, 2010). به منظور دسته‌بندی داده‌های لاگ‌های چاه‌پیمایی از روش آماری تحلیل خوشه‌ای که یکی از روش‌های کاربردی و مفید در دسته‌بندی داده‌هاست در تعیین رخساره‌های الکتریکی و انطباق آن با رخساره‌های همانند بهره گرفته شده است (Tavakoli & Amini, 2006; Kadkhodaie-Ikhchi et al., 2013). در این بررسی چهار رخساره الکتریکی در سازند آبخاجی در چاه‌های A، B و C تشخیص داده شد که قابل انطباق با زیرمحیط‌های کانال، سد نقطه‌ای، کروس پهن و باتلاق دشت ساحلی هستند.

– رخساره الکتریکی ۱ (EF-1)

توصیف: این رخساره ۱۰ تا ۲۰ درصد از توالی‌های چاه‌های اکتشافی سازند آبخاجی را به خود اختصاص می‌دهد. این رخساره با شکل لاگ گاما استوانه‌ای (Cylindre) قابل شناسایی و جدایش است (شکل ۷ و جدول ۲). دامنه تغییرات لاگ گاما در برابر این رخساره از ۵/ تا ۵ گاما/سانتی‌متر در تغییر است. این رخساره بیشتر از ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت تا متوسط تشکیل شده است.

تفسیر: مقدار کم لاگ گاما به‌همراه شکل استوانه‌ای لاگ گاما شاخص ته‌نشست‌های محیط کانال است (Cant, 1992; Higgs et al., 2012). این رخساره الکتریکی می‌تواند با رخساره‌های سنگی Sr, Sh, St, Gt شناسایی شده در زیر محیط کانال قابل انطباق باشد.

– رخساره الکتریکی ۲ (EF-2)

توصیف: این رخساره الکتریکی، ۲۰ درصد از توالی سازند آبخاجی را در چاه‌های اکتشافی مورد مطالعه تشکیل می‌دهد و بیشترین ستبرای آن ۱۰ متر است. شکل لاگ گاما در این رخساره زنگوله‌ای شکل (Bell Shape) است و مقدار گامای آن از ۵ تا ۱۲ گاما/سانتی‌متر در تغییر است به‌گونه‌ای که مقدار آن در ابتدا کم است و به‌سوی بالای توالی زیاد می‌شود (شکل ۷ و جدول ۲). این رخساره از ماسه‌سنگ‌های ریز تا متوسط‌دانه تشکیل شده است.

تفسیر: شکل زنگوله‌ای، شاخص رسوبات بخش پیچیده متاندر است (Cant, 1992; Ghazi & Mountney, 2010) که با رخساره‌های سنگی Sr, Sh, St قابل انطباق است.

– رخساره الکتریکی ۳ (EF-3)

توصیف: این رخساره ۴۰ تا ۵۰ درصد از توالی سازند آبخاجی را در چاه‌های اکتشافی

شناسایی ۹ رخساره سنگی Gt, Gcm, St, Sr, Sh, Sp, Fm, Fl, C انجامیده است که در ۴ دسته درشت، متوسط و ریز دانه و زغالی قرار می‌گیرند. رخساره‌های سنگی شناسایی شده قابل گروه‌بندی در قالب چهار عنصر ساختاری کانال، سد نقطه‌ای، کروس پهن و باتلاق دشت ساحلی هستند. بررسی رخساره‌های الکتریکی و مطالعه شکل لاگ گاما نیز به شناسایی و جدایش ۴ رخساره الکتریکی در سازند آبجایی در چاه‌های اکتشافی شد که قابل مقایسه با عناصر ساختاری یا رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده هستند. تحلیل رخساره‌ای و عناصر ساختاری یا رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده به همراه شواهدی چون توالی‌های به‌سوی بالا ریزشونده نشان از تنشست رسوبات سازند آواری آبجایی در یک محیط رودخانه‌ای میانداری جریان یافته در دشت ساحلی است. شواهدی مانند گسترش ناچیز رخساره‌های دانه‌درشت و فراوان بودن رخساره‌های دانه‌متوسط و ریز به‌همراه لایه‌های زغال به‌نسبت پیوسته همگی نشان می‌دهند که رودخانه میانداری یادشده در دشت ساحلی تشکیل شده است. به کمک مطالعه انجام‌شده در منطقه امکان بازسازی جغرافیای دیرینه لبه‌خاوری بلوک طبس فراهم شده است که این نتایج بیانگر تنشست رسوبات غیر دریایی تا دشت ساحلی در لبه‌خاوری این بلوک است.

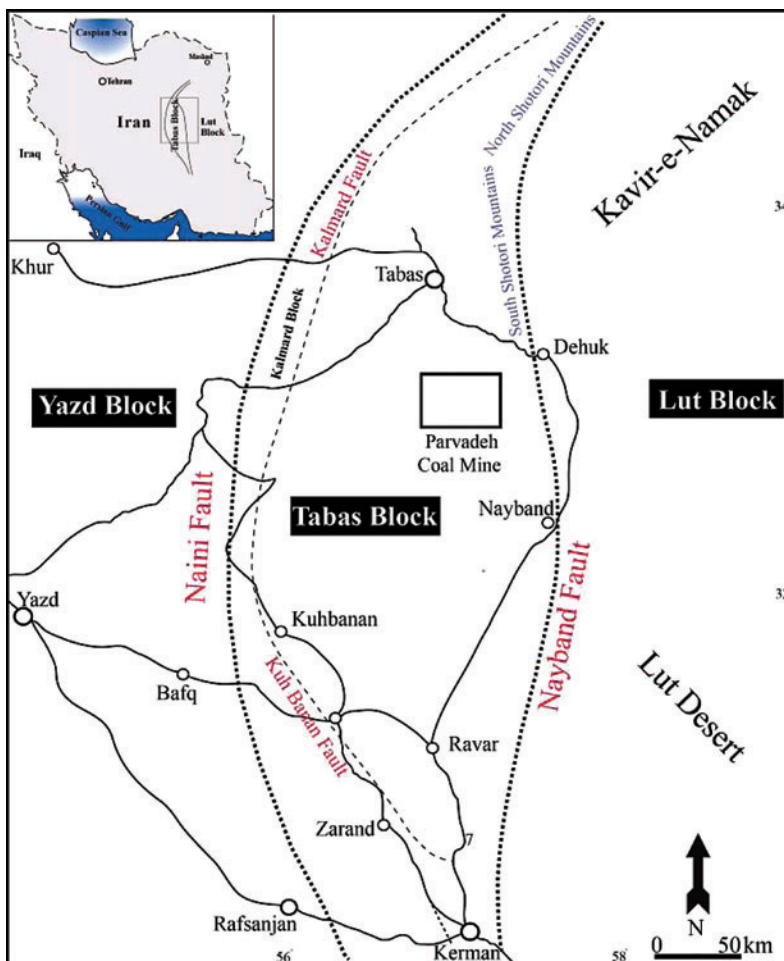
سپاسگزاری

در اینجا لازم است از شرکت زغال‌سنگ پروده طبس به سبب مهیا کردن عملیات صحرایی در طی چندین مرحله و در اختیار قرار دادن اطلاعات چاه‌های اکتشافی تشکر شود. همچنین از گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد به سبب فراهم کردن امکانات مورد نیاز سپاسگزاری می‌شود.

امکان تشکیل باتلاق‌های گسترده با پوشش گیاهی فراوان وجود دارد قرار داشته است. مطالعات پیشین صورت گرفته روی چینه‌شناسی توالی‌های رسوبی و تغییر جغرافیایی دیرینه ژوراسیک بلوک طبس بیانگر تنشست رسوبات غیر دریایی تا دشت ساحلی در لبه‌خاوری بلوک و تغییر آن به محیط دریایی به‌سوی باختر است (Fürsich et al., 2003; Wilmsen et al., 2009 & 2010). با شناسایی محیط رسوبی از نوع رودخانه میانداری جریان یافته در دشت ساحلی برای سازند آبجایی در منطقه مورد مطالعه و نتایج حاصل از مطالعات پیشین که تغییر محیط رسوبی از شرایط غیر دریایی به دریایی این سازند را از سوی خاور بلوک به‌سوی باختر نشان می‌دهد، امکان بازسازی جغرافیایی دیرینه برای بخش خاوری بلوک طبس به‌وجود آمده است (شکل ۱۰). با توجه به گسترش نیافتن سازند آبجایی در خاوری‌ترین بخش بلوک طبس (بالآمدگی شتری)، به احتمال زیاد منشأ رسوبات آواری سازند آبجایی توالی‌های رسوبی دیرینه‌تر از تریاس در آن بخش از بلوک است که این موضوع منطبق بر نتایج حاصل از مطالعات پیشین صورت گرفته در منطقه است (Fürsich et al., 2003). همچنین گسترش رخساره‌های زغالی در منطقه مورد مطالعه بیانگر آب‌وهوای مرطوب در زمان تشکیل سازند آبجایی (ژوراسیک پیشین) است.

۷- نتیجه‌گیری

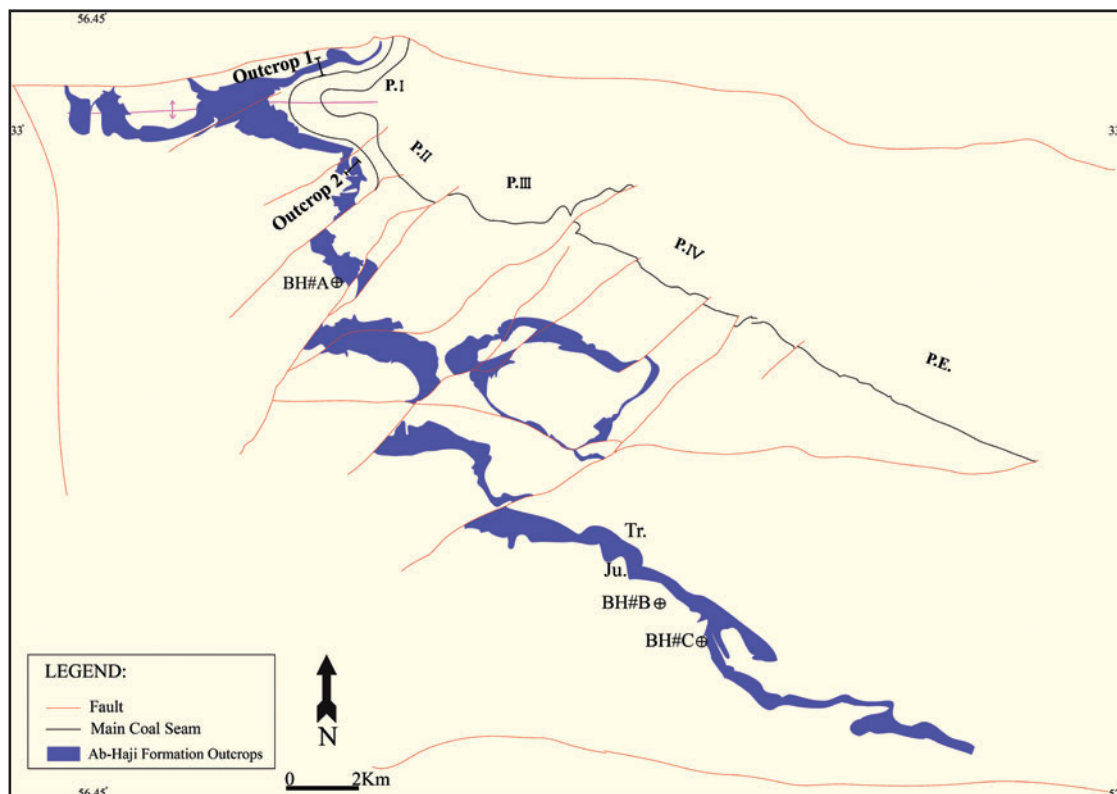
سازند سیلیسی آواری آبجایی با سن ژوراسیک پیشین در لبه‌خاوری بلوک طبس دارای ستبرای متوسط ۷۵ متر است و از ماسه‌سنگ، سیلت‌استون، گل‌سنگ و رگه‌های نازک زغال تشکیل شده است. تحلیل رخساره‌ها در رخنمون‌های مورد مطالعه به



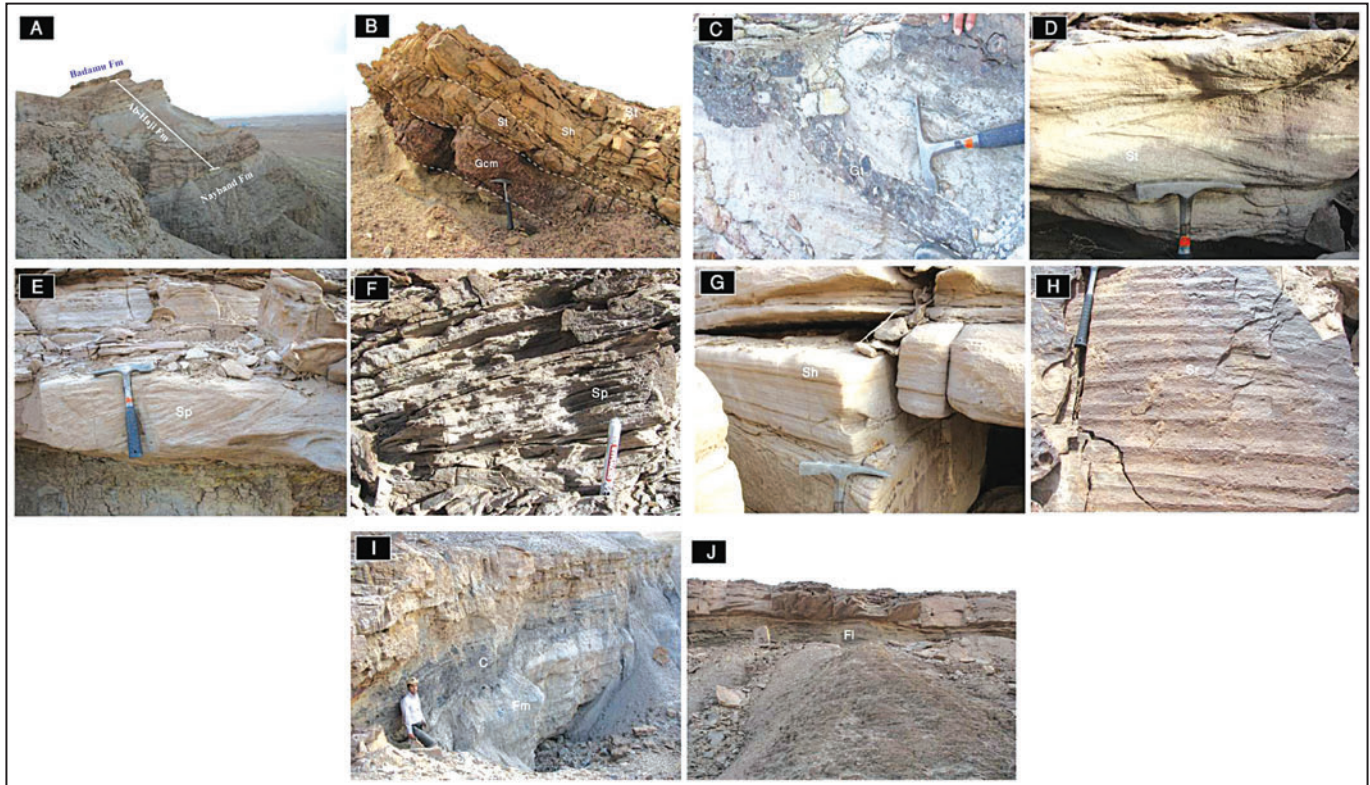
شکل ۱- نقشه راه‌های ارتباطی منطقه مورد مطالعه که روی آن مرز بلوک‌های ساختاری ایران مرکزی مشخص شده است (برگرفته از Wilmsen et al., 2010). منطقه مورد مطالعه شامل محدوده معدن زغال‌سنگ پروده طبس است که در لبه‌خاوری بلوک طبس قرار دارد.

Age	Group	Lithostratigraphy of Northern Tabas Block	Prodromant Depositional Environment	
Middle Jurassic	Bajocian	Hojedk Formation (siliciclastics)	Marginal Marine	
	Aalenian	Badamu Formation (limestone, marl, siliciclastics) ? transgression	Shallow Marine Carbonate	
Lower Jurassic	Toarcian	Ab-e-Haji Formation (predominantly non-marine siliciclastics and coal)	Non-Marine	
	Lower-Middle Lias			Gravellite
				Nayband Formation (marine carbonates and fine-grained siliciclastics, coal towards the top)
U. Trias				

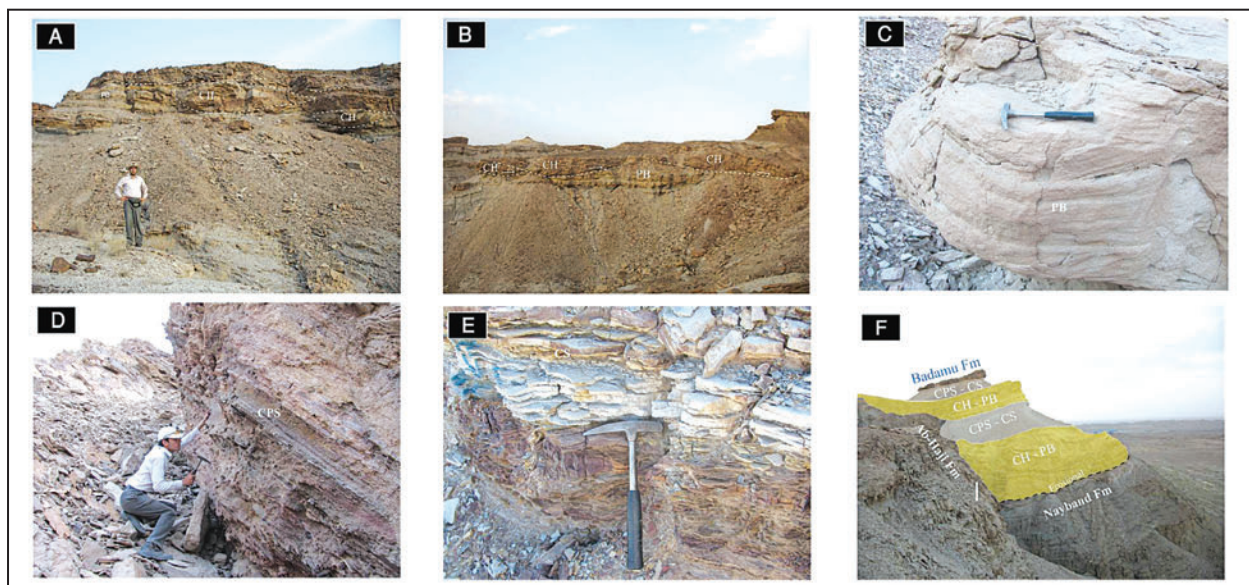
شکل ۲- توالی چینه‌شناسی سازندهای ژوراسیک زیرین و میانی در بلوک طبس (برگرفته از Wilmsen et al., 2009 با تغییرات). سازند آبجی روی سازند نایبند و در زیر سازند بادامو قرار گرفته است.



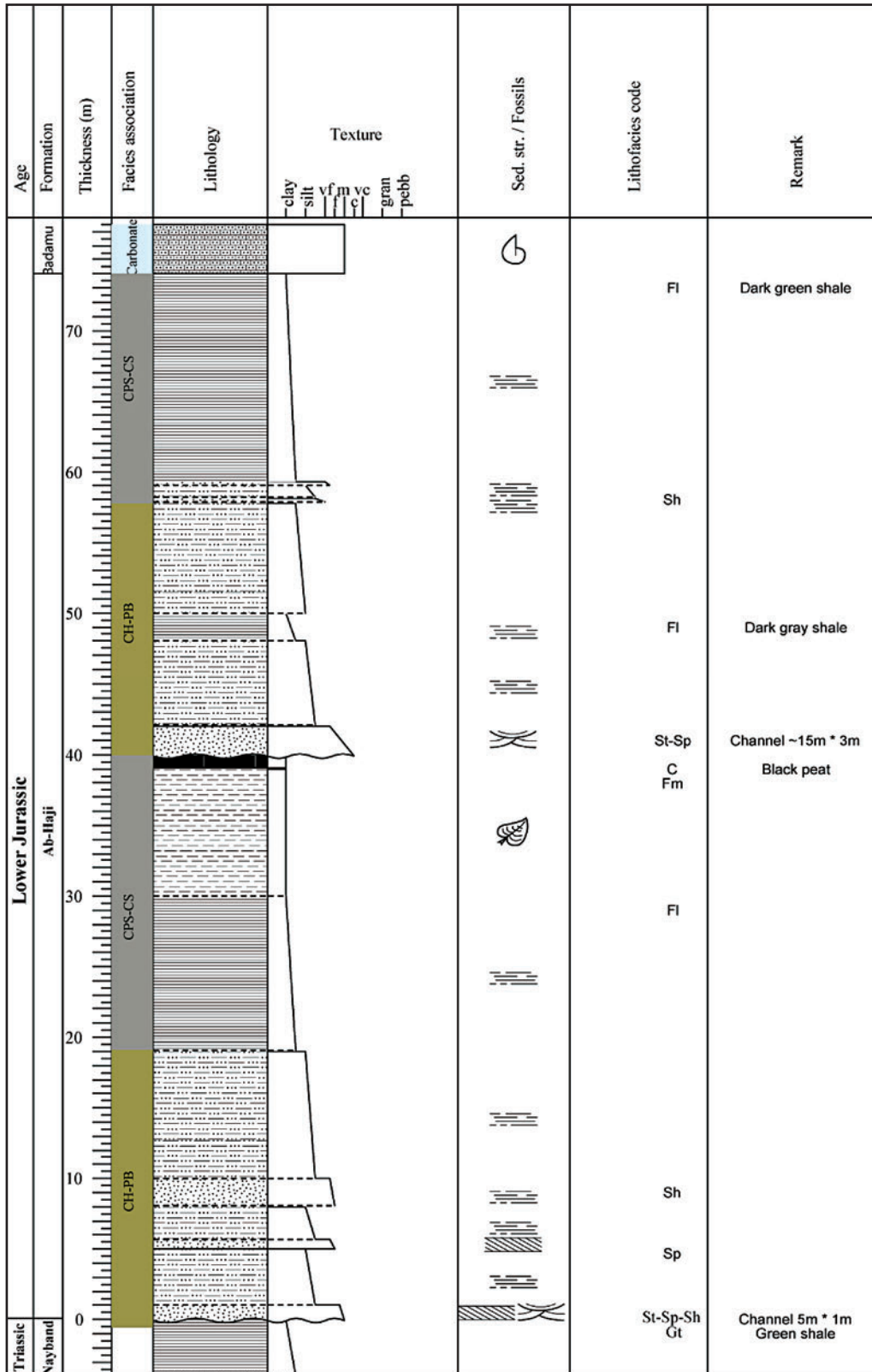
شکل ۳- محدوده معدن زغال‌سنگ پروده طبس که تقسیمات ساختاری و گسترش رخنمون سازند آبجی در آن مشخص شده است (برگرفته از عظیمی، ۱۳۸۶ با تغییرات). مختصات‌های جغرافیایی: رخنمون شماره (۱) (N 33° 02' 45", E 56° 81' 54"; رخنمون شماره (۲) (N 33° 00' 17", E 56° 50' 14"; چاه (A) (N 32° 97' 38", E 56° 81' 57"; چاه (B) (N 32° 92' 64", E 56° 82' 12"; چاه (C) (N 32° 92' 39", E 56° 83' 84".



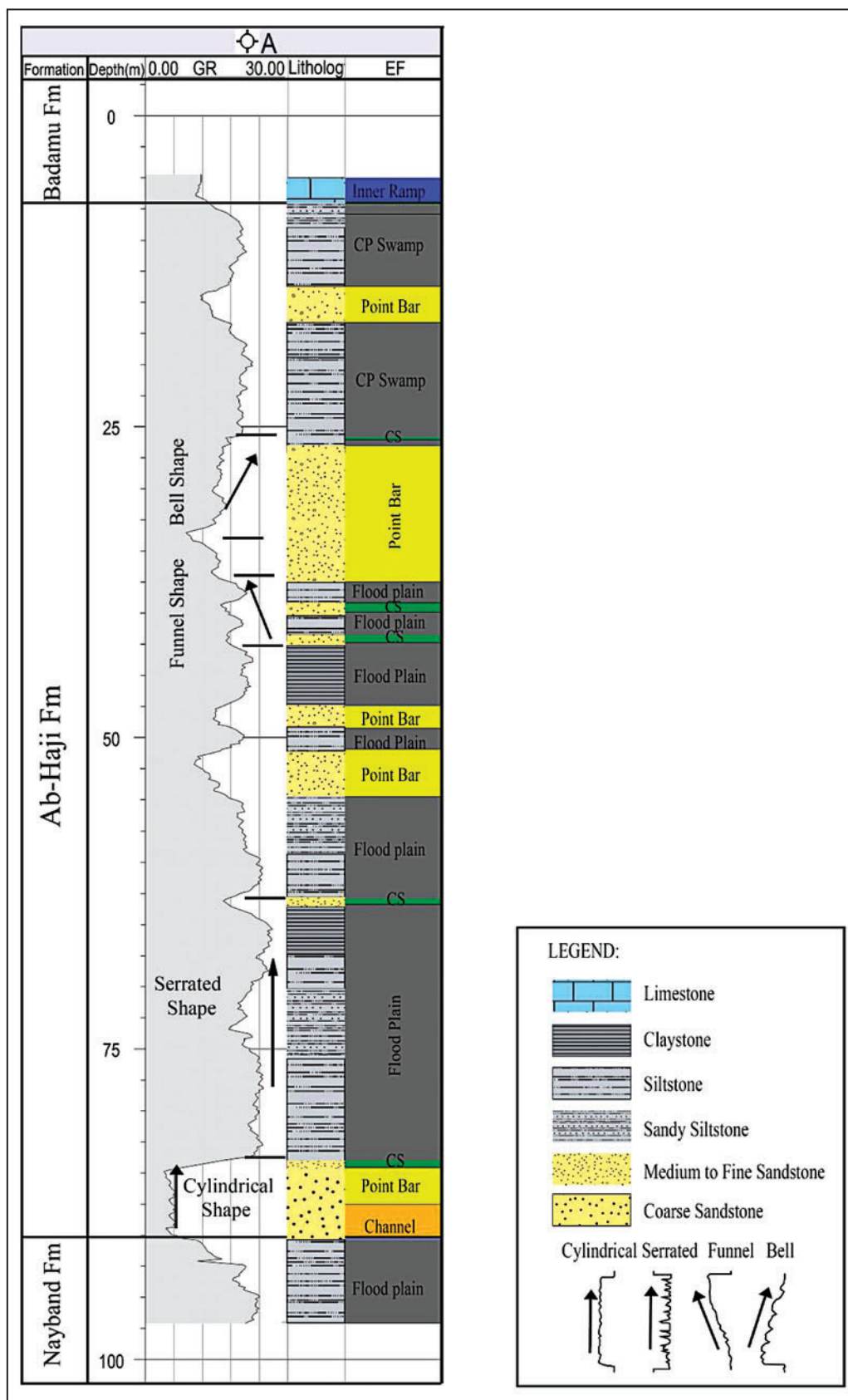
شکل ۴- تصاویر صحرایی از رخساره‌های سنگی شناسایی شده در سازند آبحاجی؛ (A) نمایی از رخنمون سازند آبحاجی در محدوده بلوک دو معدن زغال‌سنگ پروده (رخنمون شماره ۲). این سازند به صورت همشیب در زیر سازند بادامو و روی سازند نایبند قرار گرفته است؛ (B) رخساره کنگلومرایی دانه‌پشتیبان (Gcm) همراه با رخساره ماسه سنگی St و Sh در مرز سازند آبحاجی و نایبند (رخنمون شماره ۱)؛ (C) رخساره کنگلومرایی با لایه‌بندی مورب عدسی (Gt) همراه با رخساره ماسه سنگی St؛ (D) رخساره ماسه سنگی با لایه‌بندی مورب عدسی (St)؛ (E و F) رخساره ماسه سنگی با لایه‌بندی مورب مسطح (Sp)؛ (G) رخساره ماسه سنگی با لایه‌بندی مورب مسطح (Sh)؛ (H) رخساره ماسه سنگی ریلی (Sr) از نوع متقارن؛ (I) رخساره گلی بدون لامیناسیون (Fm) که در بالا به رخساره آلی زغالی (C) تبدیل شده است؛ (J) رخساره گلی دارای لامیناسیون (FI) در مرز سازند آبحاجی و بادامو.



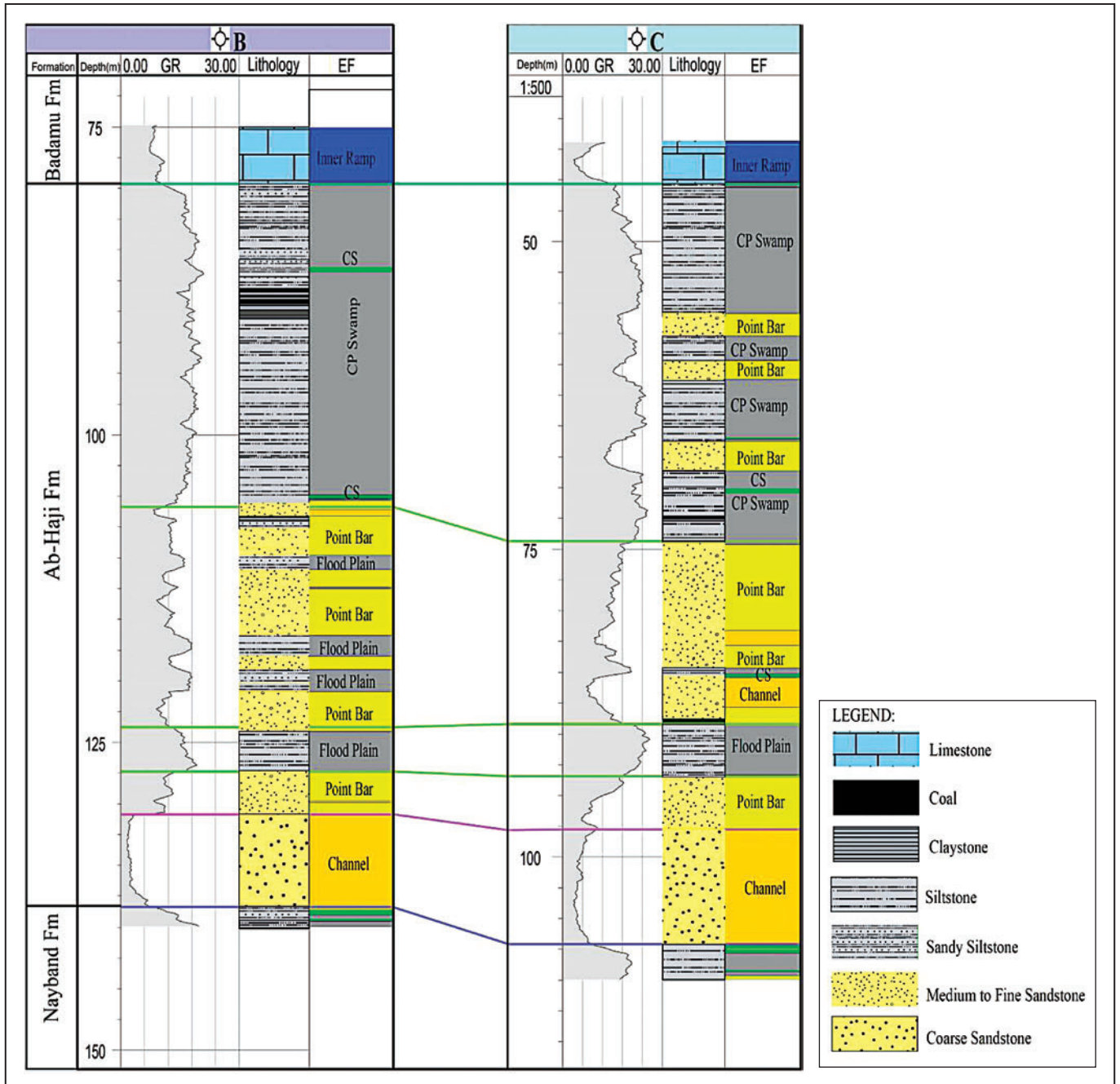
شکل ۵- تصاویر صحرایی از عناصر ساختاری شناسایی شده در سازند آبحاجی؛ (A) عنصر ساختاری کانال (CH) در بخش میانی سازند آبحاجی در رخنمون شماره ۲. کانال‌ها بصورت پیوسته در کنار هم قرار دارند و فاصله بین آنها عنصر ساختاری سد نقطه‌ای (PB) قرار دارد. دید به سوی خاور؛ (B) کانال‌های بخش میانی با شواهدی از جابه‌جایی به یک سو. دید به سوی خاور در رخنمون شماره ۲؛ (C) عنصر ساختاری سد نقطه‌ای (PB) که بیشتر از رخساره ماسه سنگی St تشکیل شده‌اند؛ (D) عنصر ساختاری باتلاق دشت ساحلی (CPS). این عنصر ساختاری بیشتر از رخساره‌های ماسه‌ای دانه‌ریز، گلی و زغالی تشکیل شده است؛ (E) عنصر ساختاری کروس پهن (CS) که از رخساره ماسه سنگی با لایه‌بندی مسطح (Sh) تشکیل شده و در میان رخساره‌های دانه‌ریز تر قرار گرفته است؛ (F) نمایی از رخنمون سازند آبحاجی که روی آن مجموعه عناصر ساختاری با توجه به فراوانی بیشتر آنها در آن بخش تفکیک شده‌اند. عناصر ساختاری کانال و سد نقطه‌ای در ابتدای هر دو توالی ریز شو قرار دارند که در بالا به عناصر ساختاری کروس پهن و باتلاق تبدیل می‌شوند.



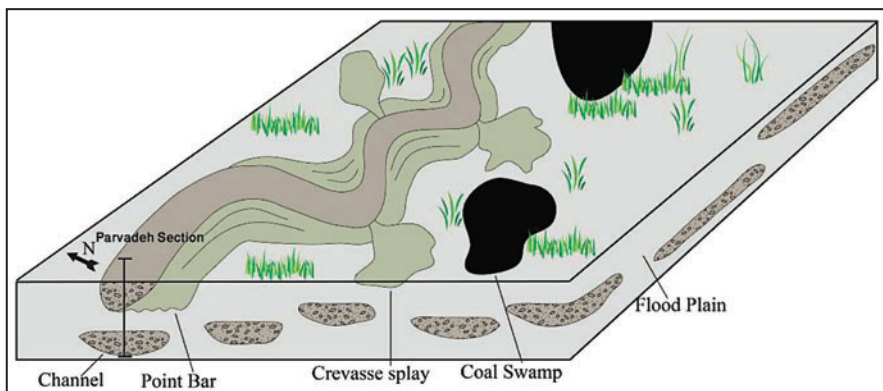
شکل ۶- ستون چینه‌شناسی سازند آبجی در بلوک پروده ۲ (رخنمون شماره ۲). ساخت‌های رسوبی، رخساره‌های سنگی و دیگر ویژگی‌های صحرایی.



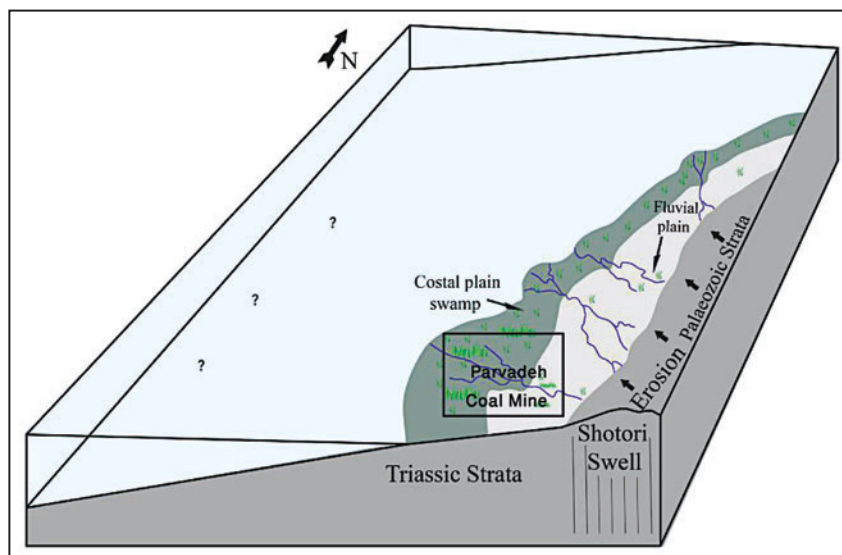
شکل ۷- تغییرات لاک گاما و رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده در چاه A. نوع شکل لاک گامای رخساره‌های الکتریکی با روند و شکل معمول لاک گاما در رسوبات آواری محیط‌های مختلف مقایسه شده است (Cant, 1992).



شکل ۸- تطابق رخساره‌های الکتریکی شناسایی شده در سازند آبجایی در چاه‌های اکتشافی B و C. خط مبنا در تطابق، قاعده سازند بادامو است.



شکل ۹- مدل نمادین از محیط رسوبی رودخانه‌ای مانداری همراه با باتلاق‌های گسترش یافته در همسایگی آنها در سازند آبجایی در محدوده برش پروده. موقعیت تقریبی این برش در شکل نشان داده شده‌است.



شکل ۱۰- مدل نمادین جغرافیای دیرینه بلوک طبس در زمان ته‌نشست سازند آبجی (ژوراسیک پیشین). رودخانه‌های ماندری در دشت‌های سیلابی-باتلاقی و ساحلی از سوی خاور به باختر حوضه در جریان بوده‌اند. با توجه به نتایج این مطالعه در بخش خاوری بلوک طبس ته‌نشست رسوبات غیر دریایی بیشتر در شرایط آب‌وهوایی گرم و مرطوب انجام می‌گرفته است. منطقه مورد مطالعه با مستطیل مشکی در شکل مشخص شده است.

جدول ۱- رخساره‌های سنگی شناسایی شده در سازند آبجی به همراه ویژگی‌های مختلف آنها.

Lithofacies	Gcm
Lithology	Conglomerate
Colour	Red matrix; black and white clasts
Grain size	Pebble to granule with rare boulder grain size
Sedimentary structure	Massive to horizontal bedding
Internal features	Subangular to rounded; clast-supported polymictic conglomerates
Fossil and/or trace fossil	Non
Contacts	Lower contact is erosional and sharp and upper contact is usually gradational with Sh and St
Geometry	Sheet bodies
Thickness	1-2 m
Extent and lateral relationship	Laterally extent and only present in western part of study area (P-1)
% succession	1-2 % of total succession in P-1
Environmental interpretation	Channel lag under conditions of high flow regime, with sediment transport occurring via traction currents
Lithofacies	Gt
Lithology	Conglomerate
Colour	White to yellowish brown with black clasts
Grain size	Pebble to granule grain size
Sedimentary structure	Trough cross-stratified
Internal features	clast-supported conglomerates
Fossil and/or trace fossil	Non
Contacts	Lower contact is erosional and sharp and upper contact is usually gradational with Sh and St
Geometry	Lens shape
Thickness	0.1-0.3 m
Extent and lateral relationship	Isolated channels and laterally restricted
% succession	1-2 % of total succession in P-1 and P-2
Environmental interpretation	Channel deposit under conditions of high flow regime, with sediment transport occurring via traction currents
Lithofacies	St
Lithology	Sandstone
Colour	White to yellowish brown
Grain size	Medium to coarse sand
Sedimentary structure	Trough cross-bedding

Internal features	Sometimes pebbly at base
Fossil and/or trace fossil	Non
Contacts	Gradational with facies Gt and is erosional with facies Fm
Geometry	lenticular or wedge-shaped bodies
Thickness	3-5 m
Extent and lateral relationship	Laterally extensive bodeys
% succession	10-30% of total successions
Environmental interpretation	Deposited as dunes or bars under conditions of lower flow regime
Lithofacies	Sp
Lithology	Sandstone
Colour	White, gray to yellowish brown
Grain size	Fine to medium sand
Sedimentary structure	Planar cross-bedding
Internal features	Cross-bed
Fossil and/or trace fossil	Non
Contacts	Gradational with lower (Fl) and upper facies (Sh)
Geometry	Lenticular to tabular
Thickness	0.5-1 m
Extent and lateral relationship	Extensive laterally but wedge shaped some times pinch out within few meters
% succession	5-10% of total successions
Environmental interpretation	Fluvial bedforms and bars. Mostly close to river banks and form lower part of point bars
Lithofacies	Sr
Lithology	Sandstone
Colour	White, gray to yellowish brown
Grain size	Very fine to medium sand
Sedimentary structure	Current and sometimes wavy ripple cross-lamination
Internal features	Flat bedding
Fossil and/or trace fossil	Small vertical shaft and meandering horizontal burrow
Contacts	Gradational with lower (Sh) and upper facies (Fl)
Geometry	Thin sheets bodies
Thickness	0.3-1 m
Extent and lateral relationship	Extensive laterally but some times pinch out within few meters
% succession	1-2%
Environmental interpretation	Deposition under subaqueous condition traction
Lithofacies	Sh
Lithology	Sandstone
Colour	White to yellowish brown
Grain size	Fine to coarse sand
Sedimentary structure	Horizontally laminated sandstone
Internal features	Flat bedding
Fossil and/or trace fossil	Non
Contacts	Lower contact is gradational with facies St and its upper contact is with facies Sr, Fl and Fm.
Geometry	Sheet or tabular
Thickness	1-5 m
Extent and lateral relationship	Laterally extensive bodies
% succession	20-40% of total successions
Environmental interpretation	Deposited under the condition of either upper or lower flow regime, on bar top surfaces
Lithofacies	Fl
Lithology	Shale
Colour	Light green to gray
Grain size	Clay and silt size
Sedimentary structure	Horizontally laminated claystone and siltstone
Internal features	rare iron concretions
Fossil and/or trace fossil	Plant fossil debris
Contacts	Lower contact is gradational with facies Sh or Sr and upper contact is with facies Fm.
Geometry	Sheet-like bodies

ادامه جدول ۱

Thickness	10-20m
Extent and lateral relationship	Laterally extensive bodies
% succession	40-60% of total successions
Environmental interpretation	Deposition from suspension on top of sandy barforms and/or across low relief, abandoned flood plains
Lithofacies	Fm
Lithology	Claystone
Colour	Gray to dark gray and green
Grain size	Clay size
Sedimentary structure	Massive
Internal features	iron concretions and high organic content
Fossil and/or trace fossil	Non
Contacts	Lower contact of this facies is typically gradational, whereas the upper contact is usually sharply truncated
Geometry	Massive and usually covered by scree
Thickness	5-25 m
Extent and lateral relationship	Extensive laterally extent
% succession	40-50%
Environmental interpretation	Suspension in overbank settings or abandoned channel
Lithofacies	C
Lithology	Coal-carbonaceous claystone
Colour	Black
Grain size	Clay size
Sedimentary structure	Horizontally laminated seams
Internal features	Carbonaceous claystone grading to coal
Fossil and/or trace fossil	Plant debries
Contacts	Lower contact of this facies is ussally gradational with Fm and upper contact is erosional with facies St
Geometry	Extend seam to isolated lens
Thickness	0.3-0.9 m
Extent and lateral relationship	Laterally extent
% succession	0.5% of total successions
Environmental interpretation	Vegetated coastal or flood plain swamp deposit with input of clastic sediment

جدول ۲- عناصر ساختاری شناسایی شده در سازند آبجایی به همراه ویژگی‌های مختلف آنها.

Architectural Element	Channel	Point Bar
Code	CH	PB
Lithofacies	Gcm, Gt, St, Sh, Sr	St, Sp, Sh, Sr
Geometry	Channel-fill bodies	Cross bedding sandstone
Contact	Lower contact is sharp and erosional and upper contact is gradational	Lower and upper contacts are gradational
Thickness	5-20 m	5-10 m
Log Motif	Cylindrical shape	Bell shape
% succession	10-20%	20%
GR Value	0.5-5 gamma/cm	5-12 gamma/cm
Architectural Element	Coastal Plain Swamp	Crevasse Splay
Code	CPS	CS
Lithofacies	Sr, Fl, Fm, C	Sh, Sr
Geometry	Sheet-like or massive bodies	Lobes and lenticular sheet like bodies
Contact	Lower contact is gradational with PB and upper contact is erosional with CH	Lower and upper contacts are sharp
Thickness	10-40 m	0.5-1m
Log Motif	Serrated shape	Funnel-shaped signatures
% succession	40-60%	1-2%
GR Value	12-30 gamma/cm	5-15 gamma/cm

کتابنگاری

آفانیاتی، س.ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
 عظیمی، م.، ۱۳۸۶- گزارش عملیات اکتشاف تفصیلی منطقه پروده چهار، جلد اول، شرکت زغال سنگ پروده طیس، ۲۸۱ صفحه.
 علی خاصی، ع.م.، حسینی برزی، م. و شادان، م.، ۱۳۹۰- محیط رسوبی و برخاستگاه ماسه سنگ‌های سازند آب‌حاجی در برش‌های چشمه بخشی و سر تخت شتران، بلوک کلرد، ایران مرکزی، فصلنامه علوم زمین، ۸۲، ۲۳۱-۲۴۲.

References

- Aghanabati, A., 1975- Etude geologique de la region de Kalmard (W. Tabas). Stratigraphie et tectonique. Geological Survey of Iran, Report, 53, 239 p.
- Cant, D. J., 1992- Subsurface facies analysis. In: R.G., Walker and N.P., James (Eds.), Facies Models, Response to Sea Level Changes. Geol. Assoc. Canada, p. 27-45.
- Davis, R. A., 2012- Tidal signatures and their preservation potential in stratigraphic sequences. In: Davis, R.A. and Dalrymple, R.W. (Eds.), Principles of Tidal Sedimentology. Springer, Heidelberg, pp. 35-55.
- Fürsich, F., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K. & Majidifard, M., 2003- Evidence of synsedimentary tectonics in the Northern Tabas Block, East-Central Iran: The Callovian (Middle Jurassic) Sikhor Formation: Facies, v. 48, p. 151-170.
- Gani, M. R. & Alam, M. M., 2004- Fluvial facies architecture in small-scale river systems in the Upper Dupi Tila Formation, northeast Bengal Basin, Bangladesh: Journal of Asian Earth Sciences, v. 24, p. 225-236.
- Ghazi, S. & Mountney, N. P., 2009- Facies and architectural element analysis of a meandering fluvial succession: The Permian Warchha Sandstone, Salt Range, Pakistan: Sedimentary Geology, v. 221, no. 1-4, p. 99-126.
- Ghazi, S. & Mountney, N. P., 2010- Subsurface lithofacies analysis of the fluvial Early Permian Warchha Sandstone, Potwar Basin, Pakistan: Journal Geological Society of India, v. 76, p. 505-517.
- Ghosh, P., Sarkar, S. & Maulik, P., 2006- Sedimentology of a muddy alluvial deposit: Triassic Denwa Formation, India: Sedimentary Geology, v. 191, p. 3-36.
- Higgs, K. E., King, P. R., Raine, J. I., Sykes, R., Browne, G. H., Crouch, E. & Baur, J. R., 2012- Sequence stratigraphy and controls on reservoir sandstone distribution in an Eocene marginal marine-coastal plain Fairway, Taranaki Basin, New Zealand: Marine and Petroleum Geology, v. 30, no. 2, p. 175-192.
- Kadkhodaie-Ilkhchi, R., Rezaee, R., Moussavi-Harami, R. & Kadkhodaie -Ilkhchi, A., 2013- Analysis of the reservoir electrofacies in the framework of hydraulic flow units in the Whicher Range Field, Perth Basin, Western Australia: Journal of Petroleum Science and Engineering, v. 111, p. 106-120.
- Khalifa, M. A. & Catuneanu, O., 2008- Sedimentology of the fluvial and fluvio-marine facies of the Bahariya Formation (Early Cenomanian), Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt: Journal of African Earth Sciences, v. 51, p. 89-103.
- Köykkä, J., 2011- Precambrian alluvial fan and braidplain sedimentation patterns: Example from the Mesoproterozoic Rjukan Rift Basin, southern Norway: Sedimentary Geology, v. 234, p. 89-108.
- Luthi, S. M. & Flint, S. S., 2014- The application of outcrop-based research boreholes for reservoir modelling: potential, challenges and pitfalls: Geological Society of London, Special Publication, v. 387, p. 233-246.
- Miall, A. D., 2000- Principle of Sedimentary Basin Analysis: Springer- Verlag, New York, 668p.
- Miall, A. D., 2006- The Geology of Fluvial Deposits (3rd edition): Springer-Verlag, Berlin, 582p.
- Ojo, O. J. & Akande, S. O., 2009- Sedimentology and depositional environments of the Maastrichtian Patti Formation, southeastern Bida Basin, Nigeria: Cretaceous Research, v. 30, no. 6, p. 1415-1425.
- Petit, F., Gol, F., Houbrechts, G. & Assani, A. A., 2005- Critical specific stream power in gravel-bed rivers: Geomorphology, v.69, p. 92-101.
- Rider, M., 2000- The Geological Interpretation of Well Logs: Rider-French Consulting Ltd., Scotland, 280p.
- Serra, O., 1986- Fundamentals of well log interpretation. v. 2: the interpretation of logging data. Elsevier, Amsterdam, 648p.
- Seyed-Emami, K., Fürsich, F. T. & Wilmsen, M., 2004- Documentation and significance of tectonic events in the Northern Tabas block (East-Central Iran) during the Middle and Late Jurassic: Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, v. 110, no. 1, p. 163-171.
- Tavakoli, V. & Amini, A., 2006- Application of multivariate cluster analysis in logfacies determination and reservoir Zonation, case study of Marun Field, south of Iran: Journal of Sciences, University of Tehran, v. 32, no. 2, p. 69-75.
- Tewari, R. C., Hota, R. N. & Maejima, W., 2012- Fluvial architecture of Early Permian Barakar rocks of Korba Gondwana basin, eastern-central India: Journal of Asian Earth Sciences, v. 52, p. 43-52.
- Türkmen, İ., Aksoy, E. & Taşgin, C. K., 2007- Alluvial and lacustrine facies in an extensional basin: The Miocene of Malatya basin, eastern Turkey: Journal of Asian Earth Sciences, v. 30, p. 181-198.
- Wilmsen, M., Fürsich, F. T., Seyed-Emami, K. & Majidifard, M. R., 2009- An overview of the stratigraphy and facies development of the Jurassic System on the Tabas Block, east-central Iran: Geological Society, London, Special Publications, v. 312, no. 1, p. 323-343.
- Wilmsen, M., Fürsich, F., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. & Zamani-Pedram, M., 2010- Facies analysis of a large-scale Jurassic shelf-lagoon: the Kamar-e-Mehdi Formation of east-central Iran: Facies, v. 56, no. 1, p. 59-87.

Lithofacies and Depositional Environment of the Early Jurassic Ab-Haji Formation in Outcrop and Exploration Boreholes of Parvadeh Coal Mine, Tabas, East Central Iran

M. A. Salehi ^{1*}, S. R. Mousavi-Harami ², A. Mahboubi ² & B. Rahimi ³

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2012 August 15

Accepted: 2013 April 22

Abstract

The Lower Jurassic Ab-Haji Formation consists of siliciclastic sediments, which are widely exposed in the Tabas Block. This formation varies in thickness from tens of meters to more than 500 m in northern Tabas Block. The Ab-Haji Formation with average thickness of 75 meters presents in the Tabas Coal Mine area and consists mainly of sandstone, siltstone, claystone with a few thin interbeds of coal seams. Two outcrops and three exploration boreholes were studied in order to identify lithofacies and to interpret the depositional environment. The lithofacies analysis in outcrops imply two siliciclastic coarse grained (Gm, Gt), four medium grained (St, Sp, Sr, Sh), two fine grained (Fl, Fm) and one coal lithofacies. Identified lithofacies can be grouped into four architectural elements including channel, point bar, crevasse splay and coastal plain swamps. The lithofacies and log motif analysis led to recognition and differentiation of architectural elements in exploration boreholes. The lithofacies and architectural elements show that the siliciclastic sediments of the Ab-Haji Formation were deposited in the meandering river system within a coastal plain with widespread swamps. The sedimentological analysis led to reconstruction of paleogeography in eastern part of the Tabas Block, which shows deposition of nonmarine to coastal plain environment in this part of the block.

Keywords: Ab-Haji Formation, Lithofacies, Architectural elements, Lithofacies, Coastal plain.

For Persian Version see pages 249 to 262

*Corresponding author: M. A. Salehi; E-mail: ma.salehi@stu-mail.um.ac.ir