

شناسایی دسته‌رخساره FSST در توالی‌های رودخانه‌ای با مثالی از سازند شوربچه

غلامرضا حسین‌یار^۱، رضا موسوی حرمی^۲، ایرج عبدالهی‌فرد^۳، اسدالله محبوبی^۲ و حمیدرضا مصفی^۲

^۱دکتر، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

^۳دکتر، مدیریت اکتشاف نفت، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

^۴کارشناسی ارشد، گروه محیط‌رسوبی دیرینه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۲۱

چکیده

در مطالعات چینه‌نگاری سکانسی شناسایی دسته‌رخساره FSST در توالی‌های رسوبی از کاربرد و اهمیت بسزایی در تعیین موقعیت مرز سکانسی و مطالعات اکتشافی برخوردار می‌باشد. با این حال، شانس تشکیل و حفظ شدگی رخساره‌های مرتبط با آن در توالی‌های رودخانه‌ای بسیار کم است. در این مطالعه به علائم و شواهد شناسایی دسته‌رخساره FSST در مطالعات چینه‌نگاری سکانسی در قالب مثالی از توالی رودخانه‌ای سازند شوربچه (کرتاسه پیشین Early Cretaceous) در خاور حوضه کپه داغ پرداخته می‌شود. این مطالعه با تکیه بر اطلاعات کامل زمین‌شناسی متشکل از ۴ برش چینه‌شناسی از رخنمون سازند شوربچه در روستای شوربچه، انجیربلاغ، گردنه مزدوران و قرقره به همراه نمودارهای چاه‌پیمایی و خرده‌های حفاری از ۷ حلقه چاه و نیز داده‌های لرزه‌نگاری ۳ بعدی از میدان خانگیران می‌باشد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با عقب‌نشینی دریا در اواخر ژوراسیک-اوایل کرتاسه رخساره‌های دانه‌ریز آواری و بعضاً هیبریدی متعلق به دسته‌رخساره FSST در قاعده سازند شوربچه تشکیل شده است. این رخساره‌ها در محیط‌های کم انرژی دشت سیلابی و دشت ساحلی تشکیل شده‌اند. تشکیل کانال‌ها و گسترش سیستم رودخانه‌ای در شرق کپه‌داغ از عوارض زمین‌شناسی دیگری است که در زمان افت شدید سطح آب/اساس ایجاد شده‌اند. بررسی‌های ژئومورفولوژی آماری کانال‌ها و رخساره‌های تشکیل شده نشان می‌دهد که کانال‌های مذکور در زمان افت سطح آب از نظر هیدرولیکی تعادلی بوده و بار رسوبی را عبور می‌دهد (bypass).

کلیدواژه‌ها: چینه‌نگاری سکانسی، رخساره‌های آواری، دسته‌رخساره، شوربچه، کرتاسه، کپه‌داغ.

*نویسنده مسئول: رضا موسوی حرمی

E-mail: moussavi@um.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

چینه‌نگاری سکانسی که امروزه به عنوان روشی کارآمد در مطالعات اکتشافی و تفسیر حوضه‌های رسوبی به کار می‌رود؛ نوعی از چینه‌نگاری است که در آن توصیف، تفسیر و طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی بر اساس الگوی انباشتگی و روابط چینه‌ای آنها سنجیده می‌شود (Catuneanu, 2017). در چینه‌نگاری سکانسی شناسایی وقفه‌های رسوب‌گذاری و تغییر در فرایندهای رسوبی که تحت کنترل فرایندهای درون‌حوضه‌ای و یا برون‌حوضه‌ای هستند بر روی توالی‌های رسوبی در سطوح سکانسی و نحوه انباشتگی رسوبات (فضای رسوب‌گذاری و نرخ رسوب‌گذاری) نمود پیدا می‌کند. بنابراین الگوهای برانبارش (stacking pattern) ساختارهای چینه‌ای در توالی‌های رسوبی، پایه و اساس چینه‌نگاری سکانسی هستند و هر الگوی برانبارش به عنوان یک سیستم ترک یا دسته‌رخساره‌ای شناخته می‌شود (Brown and Fisher, 1977; Catuneanu et al., 2009; Catuneanu, 2017). استانداردهای چینه‌نگاری سکانسی ارائه شده (Catuneanu et al., 2009 and 2011; Catuneanu, 2017)، دسته‌رخساره‌ها بر اساس طرح برانبارش داخلی، روابط چینه‌ای و سطوح محدود کننده شناسایی می‌شوند و هر سکانس در مناطق مختلف بسته به شرایط محلی فضای رسوب‌گذاری و نرخ رسوب‌گذاری ممکن است از یک یا چند دسته‌رخساره تشکیل شده باشد (Brown and Fisher, 1977; Csato and Catuneanu, 2012; Catuneanu, 2017).

چینه‌نگاری سکانسی بیشتر بر روی توالی‌های نزدیک خط ساحلی (نواحی ساحلی و دریای کم‌عمق که طرح‌های برانبارش تحت کنترل تغییرات سطح آب دریاست) که احتمال تشکیل و حفظ شدگی تمامی سطوح سکانسی زیاد است، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. با این حال در توالی‌های قاره‌ای (دور از ساحل)، سکانس‌ها مستقل از تغییرات خطوط ساحلی تشکیل می‌شوند که تحت کنترل فرایندهای بالادست رودخانه‌ای هستند (Shanley et al., 1992; Holbrook et al., 2006; Miall, 2014). با توجه به این موضوع که چینه‌نگاری سکانسی توالی‌های رودخانه‌ای تحت کنترل

۲- زمین‌شناسی

گنبدلی و رخنمون‌های جنوب آنها به چهار واحد مجزا تقسیم کرد (از قاعده به رأس): الف) واحد زیرین شامل شیل و ماسه‌سنگ‌های نازک تا متوسط‌لایه با چینه‌بندی مورب مسطح که به سمت بالا به کنگلومرای ضخیم‌لایه با طبقه‌بندی مورب همراه با ماسه‌سنگ‌های پیل‌دار تبدیل می‌شود؛ ب) واحد دوم شامل ماسه‌سنگ‌های دانه‌درشت با طبقه‌بندی مورب همراه با ماسه‌سنگ‌های پیل‌دار و کمی مادستون؛ ج) واحد سوم شامل کنگلومرای با قطعات و پیل‌های کربناته به سمت بالا ریزشونده همراه با کمی لایه‌های مادستونی و ماسه‌سنگی در بخش فوقانی؛ د) واحد فوقانی نیز شامل ماسه‌سنگ‌های ضخیم‌لایه تا نازک‌لایه همراه با شیل‌های ژپس‌دار در بخش فوقانی.

۳- مواد و روش

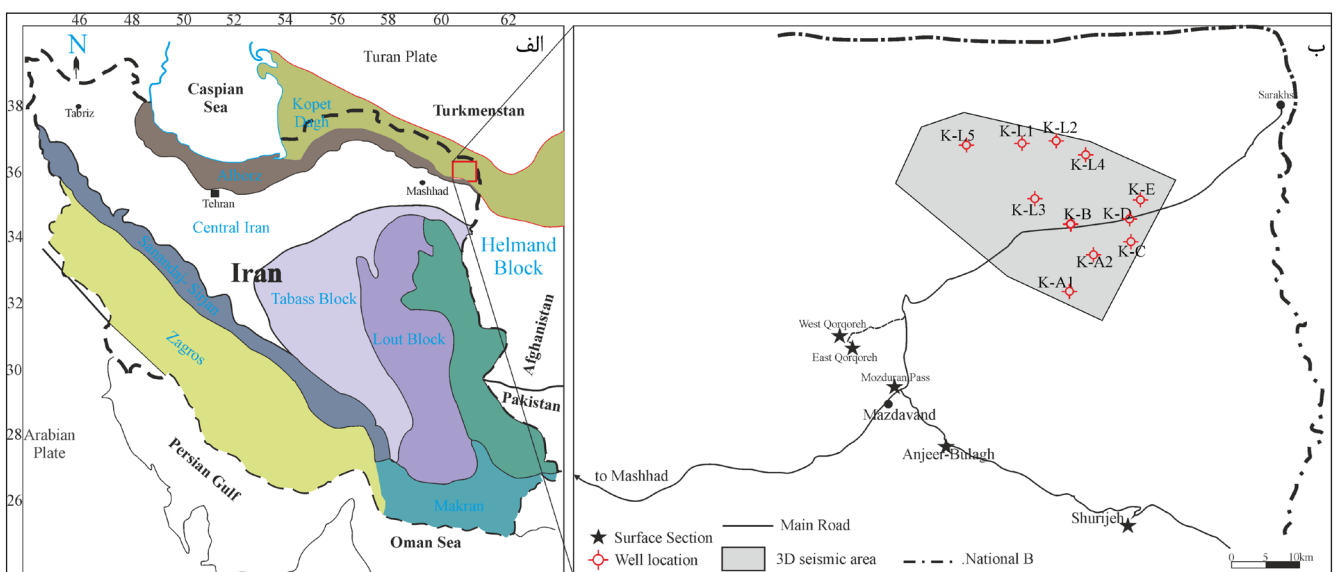
منطقه مورد مطالعه در شمال خاور ایران و در بخش خاوری حوضه رسوبی کپه‌داغ قرار دارد (شکل ۱). اطلاعات مورد استفاده در این مطالعه شامل رخنمون سطحی از سازند شورپیجه در امتداد رشته کوه مزدوران، اطلاعات چاه‌های میدان‌های گازی شمال خاور ایران و داده‌های لرزه‌نگاری ۳ بعدی از میدان خانگیران است.

در این مطالعه ۴ برش چینه‌شناسی سطحی از سازند شورپیجه شامل برش‌های روستای شورپیجه، انجیربلاغ، گردنه مزدوران و قرقه مطالعه و برداشت شده است (شکل ۱). ضخامت سازند شورپیجه در این برش‌ها به ترتیب ۹۲، ۱۴۳، ۱۹۰ و ۲۸۶ متر اندازه‌گیری شده است. در برداشت‌های سطحی رخساره‌های رسوبی، عناصر ساختاری رسوبی، سطوح محدود کننده رخساره‌ها و ماهیت و ارتباط آنها با یکدیگر بررسی و مطالعه شد.

اطلاعات و داده‌های ۷ حلقه چاه از میدان گازی خانگیران (شکل ۱) شامل مغزه‌های حفاری، خرده‌های حفاری و نمودارهای چاه‌پیمایی (گاما، پتانسیل خودزا، صوت، چگالی و مقاومت) در این مطالعه بررسی و ستون سنگ‌شناسی آنها ترسیم شد.

سازند آواری شورپیجه به سن نئوکومین (عمدتاً رودخانه‌ای) با دو افق مخزنی به همراه سازند مزدوران (ژوراسیک پسین) سنگ‌های مخزن میدان‌های حوضه رسوبی کپه‌داغ در شمال خاور ایران را تشکیل می‌دهند (شکل ۱). حوضه رسوبی کپه‌داغ در اواسط ژوراسیک و پس از بسته شدن اقیانوس پالتوتیس بین ایران و اوراسیا تشکیل شد (Ruttner, 1991; Zanchetta et al., 2013). رسوبات همزمان با بازشدگی حوضه رسوبی کپه‌داغ شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، سیلتستون و شیل تحت عنوان سازند کشف‌رود شناخته می‌شوند که شیل‌های مذکور به عنوان یکی از توالی‌های سنگ منشأ این حوضه شناخته می‌شوند (Robert et al., 2014; Saadati et al., 2016). در ادامه سازند چمن‌بید (بازوسین پسین- تیتونین) و توالی کربناته مزدوران (ژوراسیک پسین) بر روی سازند کشف‌رود تشکیل شده‌اند. سازند چمن‌بید به سمت میدان گنبدلی و جنوب خاور حوضه به‌طور تدریجی از بین می‌رود و توالی کربناته سازند مزدوران (در همین راستا) به تدریج تبدیل به رخساره‌های آواری مناطق ساحلی می‌شود (Moussavi-Harami and Brenner 1992; Kavooosi et al., 2009; Zand-Moghadam et al., 2016).

با پسروی وسیع دریا در اواخر ژوراسیک- اوایل کرتاسه در اثر برخورد و بسته شدن حوضه‌های ایران مرکزی و هلمند به حوضه کپه‌داغ و آمودریا در زمان رخداد خشکی‌زایی سیمیرین پسین (Thomas et al., 1999; Golonka, 2004; Brunet et al., 2017) رخساره‌های آواری سازند شورپیجه شروع به رسوب‌گذاری در حوضه کپه‌داغ کرده‌اند. سازند شورپیجه به‌طور تدریجی به سازند کربناته تیرگان (بارمین) تبدیل می‌شود. در منطقه مورد مطالعه نواحی خاوری حوضه رسوبی کپه‌داغ، توالی آواری سازند شورپیجه در بخش زیرین در محیط رودخانه‌ای و در بخش فوقانی در محیط دلتایی تادریایی کم‌عمق رسوب‌گذاری کرده است (Moussavi-Harami et al., 2009; Mortazavi et al., 2013; Moussavi-Harami and Brenner, 1992 and 1993). از دیدگاه سنگ‌شناسی، می‌توان سازند شورپیجه را در میدان‌های خانگیران و

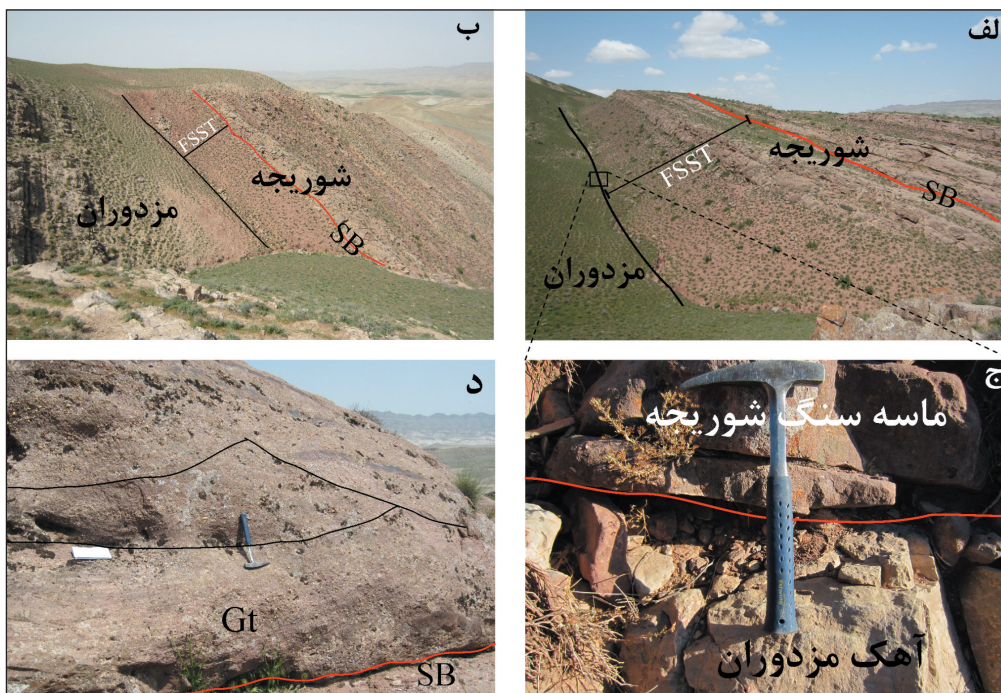


شکل ۱- الف) عوارض اصلی تکتونیکی حوضه‌های رسوبی کپه‌داغ و آمودریا (با تغییرات از Stocklin, 1977; Ulmishek, 2004)؛ ب) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد و موقعیت برش‌های چینه‌شناسی، چاه‌ها و محدوده داده‌های لرزه‌نگاری ۳ بعدی.

۴- نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره شد قاعده سازند شوربچه در برش‌های مورد مطالعه از رخساره‌های دانه‌ریز به همراه لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ دانه‌ریز تا پبلی تشکیل شده است. در برش انجیربلاغ، سازند شوربچه با لایه ماسه‌سنگی پیل‌دار قهوه‌ای با لامیناسیون موازی به ضخامت ۵۰ سانتی‌متر بر روی سنگ آهک‌های ماسه‌ای اینتراکست‌دار و آهک‌های میکرایتی سازند مزدوران قرار دارد (شکل ۲- ب). در برش‌های گردنه مزدوران و قرقره نیز تبدیل سازند مزدوران به سازند شوربچه تدریجی است و رخساره کربناته به تدریج به رخساره‌های شیلی و مادستونی تبدیل می‌شوند. لایه ماسه‌سنگی در قسمت‌های زیرین برش‌های مذکور نیز مشاهده می‌شود. شیل‌های سیلی و گل‌سنگ قهوه‌ای تا قرمز رنگ به ضخامت متوسط ۸ متر (در برش‌های انجیربلاغ، گردنه مزدوران و قرقره) بر روی لایه ماسه‌سنگ قاعده شوربچه رسوب‌گذاری کرده است (شکل ۲). رخساره‌های مذکور توسط تناوب ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز تا متوسط دانه‌ریز شونده به طرف بالا و مادستون پوشیده می‌شوند. سطح فوقانی رخساره‌های ماسه‌سنگی و شیلی با سطح فرسایشی درجه ۹ (بر اساس طبقه‌بندی Miall, 2006) محدود شده و بر روی آن رخساره‌های کنگلومرای دانه‌غالب، درشت‌دانه با طبقه‌بندی مورب تشکیل شده است (شکل ۲- د).

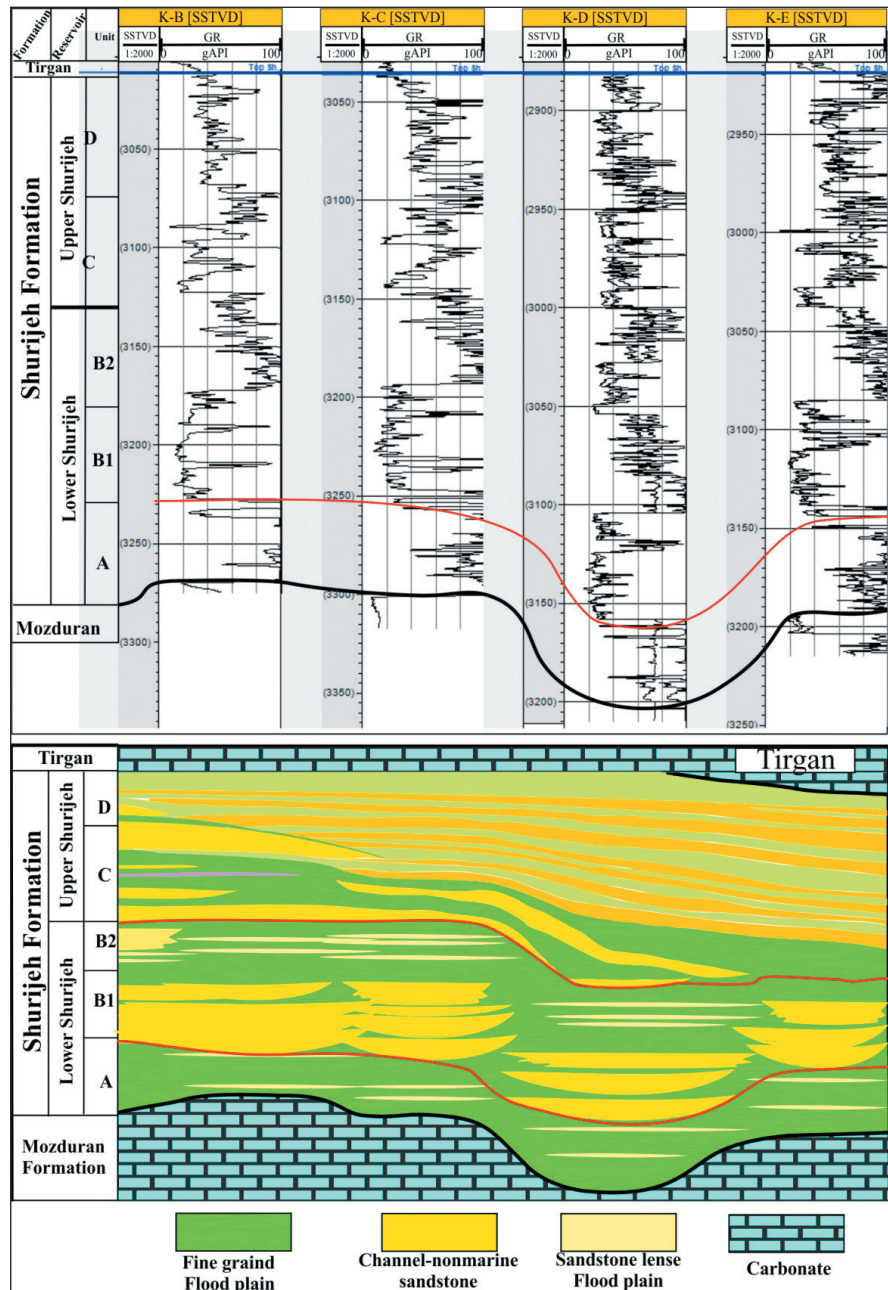
به منظور تفسیر سازند شوربچه بر روی داده‌های لرزه‌نگاری ۳ بعدی میدان خانگیران (شکل ۱) - که توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت تهیه شده است - مرز زیرین و بالایی سازند از روی انطباق نمودارهای پتروفیزیکی و اطلاعات چاه‌ها با داده‌های لرزه‌نگاری تعیین شد. تفسیر داده‌ها بر روی پروفیل‌های قائم و افقی به دو صورت اثر لرزه‌ای (trace wiggle) و به روش رنگی (visual enhancement technique) که موجب افزایش تشخیص بصری می‌شود، در نرم‌افزارهای کاریزما (Charisma) و اپندتکت (Opendtect) انجام گرفت. با توجه به قطبیت (polarity) و اثر لرزه‌ای ۸ افق اصلی لرزه‌ای در میدان خانگیران بر روی سازند شوربچه شناسایی شد. از آنجا که انطباق بین نمودارهای چاه‌پیمایی و لیتولوژی حاصل از چاه‌ها با داده‌های لرزه‌نگاری در تعیین و شناسایی گسترش افقی رخساره‌های سنگی بسیار مفید است (Zeng and Hentz, 2004; Wood, 2007)، گسترش افقی‌های تفسیر شده در تفسیر زمین‌شناسی حوضه رسوبی در قالب چینه‌نگاری لرزه‌ای و ژئومورفولوژی لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور به تصویر کشیدن عناصر رسوبی از روی داده‌های لرزه‌ای، نشانگرهای (attributes) مختلفی همچون دامنه لرزه‌ای (seismic amplitude)، تجزیه طیفی (spectral decomposition) و همسانی (coherency) بر روی افق‌های تفسیر شده اعمال شد.



شکل ۲- الف و ب) رخنمون سطحی سازند شوربچه در برش چینه‌شناسی انجیربلاغ و گردنه مزدوران که رخساره‌های دانه‌ریز متعلق به دسته رخساره FSST در قاعده سازند شوربچه در آن تفکیک شده است؛ ج) مرز بین سازندهای مزدوران و شوربچه که نشانگر تبدیل رخساره‌های کربناته به ماسه‌سنگ پبلی در برش انجیربلاغ است؛ د) سطح تماس فرسایشی (مرز سکانشی) بین رخساره‌های دانه‌ریز (دسته رخساره FSST) و رخساره‌های کنگلومرای با چینه‌بندی مورب ترف.

به محیط قاره‌ای هستند. حضور رخساره‌های دانه‌ریز قهوه‌ای تا قرمز (رخساره‌های سنگی Fl و شیل)، رخساره‌های ماسه‌سنگی با ضخامت کم و گسترش زیاد (رخساره سنگی Sh) و فرم شبه‌زنگوله‌ای (semi bell) و مضرسی نمودارهای گاما (شکل ۳) در چاه‌ها مؤید رسوب‌گذاری واحد A در محیط‌های کم انرژی نظیر دشت سیلابی و نواحی دور از کانال رودخانه‌ای و یا دشت ساحلی است (Hosseinyar et al., 2018).

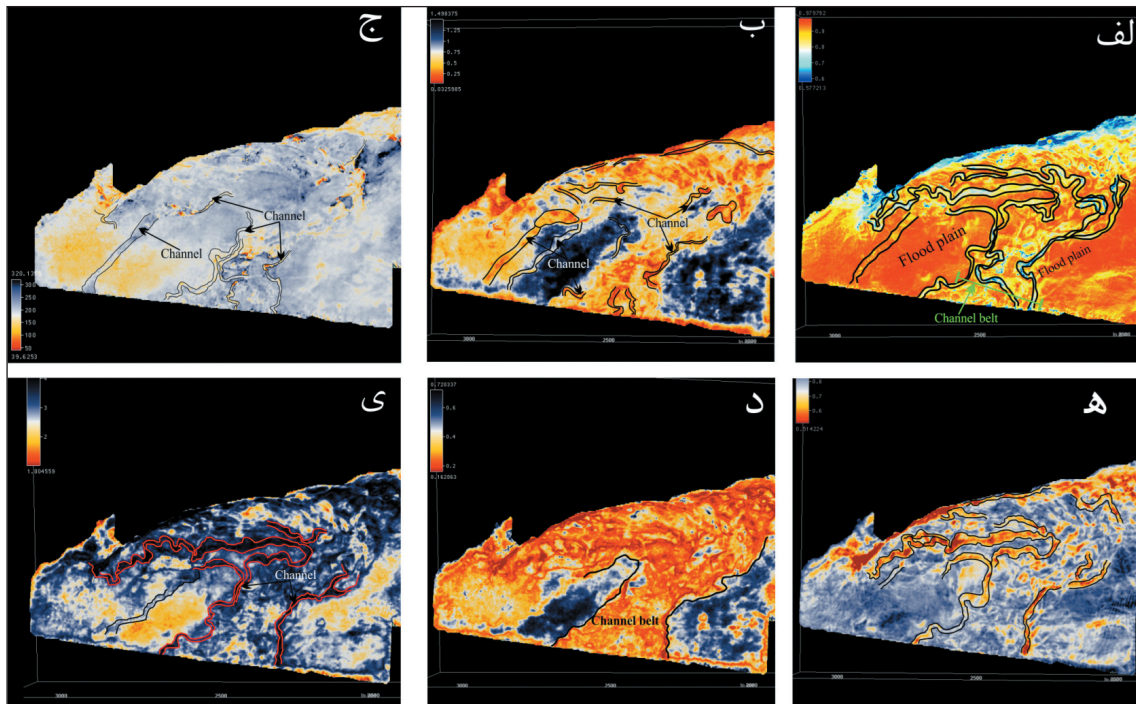
در میدان‌های گازی شرایط رسوبی مشابهی با نواحی رخنمون به خصوص در میدان گازی خانگیران حاکم بوده است. اطلاعات چاه‌ها و خرده‌سنگ‌های به دست آمده از آنها نشان می‌دهد که توالی کربناته ژوراسیک پسین به‌طور تدریجی تبدیل به رخساره‌های آواری دانه‌ریز سازند شوربچه شده است. رخساره‌های هیبریدی کربناته-تخریبی و به دنبال آن شیل و گل‌سنگ در قاعده سازند شوربچه بیانگر تبدیل شلف کربناته



شکل ۳- تطابق چینه‌ای سازند شورجه بر اساس نمودارهای گاما (GR) در تعدادی از چاه‌های میدان خانگیران (با تغییرات از Hosseinyar et al., 2018) که بیانگر تشکیل رخساره‌های دانه‌ریز با مقدار گامای بالا در قاعده توالی است. در واحد A پیوستگی کانال‌ها کم است و رخساره‌های دشت سیلابی گسترش یافته‌اند. خط قرمز مرز سکانسی را نشان می‌دهد.

نشانه‌های RMS و تجزیه طیفی هستند. امتداد کانال‌ها در بخش غربی میدان با مقادیر بالا در نشانگر نوع انرژی و ناهمگنی و آنتروپی ضعیف همراه است (شکل ۴). کانال‌ها، زیرمحوهای آنها و سایر عوارض زمین‌شناسی شناسایی شده در افق زیرین سازند شورجه در نقشه‌های ژئومورفولوژی لرزه‌ای جهت جریان دیرینه سیستم رودخانه‌ای میدان خانگیران را در امتداد جنوب غرب - شمال شرق نشان می‌دهد که در پایین دست رودخانه به سمت شمال، شمال غرب تغییر می‌یابد (شکل ۴). کانال‌های شناسایی شده بر روی نشانگرهای لرزه‌ای و رخساره‌های دانه‌ریز مرتبط با سیستم‌های رودخانه‌ای تداعی کننده حضور رخساره‌های دانه‌درشت (کنگلومرای یا ماسه‌ای) و درون کانالی در واحد A هستند. ولی همان‌طور که اشاره شد شواهدی برای حضور چنین رخساره‌هایی در این واحد در خرده‌های حفاری و نمودارهای چاه‌پیمایی وجود ندارد (شکل‌های ۲ و ۳).

عوارض زمین‌شناسی (کانال‌ها و سیستم رودخانه‌ای) در نشانگرهای لرزه‌ای مختلفی در میدان خانگیران بر روی نقشه‌های حاصل از نشانگر تجزیه طیفی (spectral decomposition) - به عنوان یکی از مهم‌ترین نشانگرهای بازتابی عوارض منقطع زمین‌شناسی - نشانگرهای بافت لرزه‌ای (seismic texture attribute) شامل انرژی، آنتروپی و همگنی و نشانگر همسانی (coherency) به نقشه درآمده است (شکل ۴). بررسی نقشه‌های نشانگرهای مختلف بافت لرزه‌ای در افق A نشان می‌دهد که نواحی با انرژی نسبی و ناهمگنی نسبی بالا منطبق با نواحی با مقادیر آنتروپی نسبی ضعیف هستند (شکل ۴). اختصاصات و فرم هندسی این نواحی در افق A بیانگر یک سیستم رودخانه‌ای است (Chopra and Marfurt, 2007; Brown, 2011). همچنین این نواحی منطبق با موقعیت گسترش سیستم رودخانه‌ای و کانال‌های شناسایی شده بر روی



شکل ۴- نقشه نشانگرهای لرزه‌ای بر روی افق A سازند شورجه در میدان خانگیران که تشکیل و گسترش سیستم رودخانه‌ای و کانال‌ها به خوبی به تصویر در آمده است. (الف) نشانگر همسانی؛ (ب) نشانگر تجزیه طیفی در ۱۰ Hz؛ (ج) نشانگر دامنه لحظه‌ای؛ (د، ه و ی) به ترتیب نشانگرهای بافت لرزه‌ای ناھنگی، انرژی و آنتروپی هستند.

توسعه کانال‌ها و دره‌ها افزایش می‌یابد و فراوانی سیلاب بسیار کم می‌شود و رسوبات حمل شده با رسیدن به دریا ته نشست می‌کنند. سیستم رودخانه‌ای به نقشه در آمده در نشانگرهای لرزه‌ای قاعده سازند شورجه در میدان خانگیران، به احتمال زیاد در این مرحله (مراحل پایانی افت سطح اساس/آب) توسعه یافته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که همزمان با افت سطح آب و عقب‌نشینی دریا در زمان اواخر ژوراسیک- اوایل کرتاسه به تدریج به سمت شمال غرب و غرب کپه‌داغ، رخساره‌های هیبریدی (آواری- کربناته) و سپس رخساره‌های آواری دانه‌ریز بر روی رخساره‌های کربناته (عمدتاً آهک‌های میکربیتی) مربوط به دسته‌رخساره تراز بالای آب (HST) سازند مزدوران تشکیل شده‌اند. رخساره‌های دانه‌ریز در مراحل اولیه عقب‌نشینی دریا و در محیط‌های دشت سیلابی رودخانه‌ها و دشت ساحلی تشکیل شده‌اند و در نتیجه متعلق به دسته‌رخساره FSST هستند. افت شدید سطح آب موجب بیرون آمدن بخش زیادی از حوضه کپه‌داغ شده و سیستم رودخانه‌ای چند کاناله در منطقه ایجاد شده است که در نقشه‌های نشانگرهای لرزه‌ای به تصویر در آمده‌اند. با توجه به حضور غالب رخساره‌های دانه‌ریز در نواحی رخنمون‌ها و نتایج ژئومورفولوژی لرزه‌ای آماری بر روی سیستم رودخانه‌ای میدان خانگیران، می‌توان نتیجه گرفت که حداقل در بخشی از بازه زمانی، افت سطح آب کانال‌های رودخانه‌ای از نظر هیدرولیکی تعادلی بوده است و بار رسوبی فرسایشی را عبور داده‌اند (bypass). روش‌های استفاده شده در این مطالعه می‌تواند در بررسی و مطالعه رخساره‌های متعلق به دسته‌رخساره FSST به کار رود و نیز می‌تواند تأثیر شرایط تعادلی در زمان افت سطح آب را بر روی رخساره‌های کربناته سازند مزدوران در میدانی خانگیران و گنبدلی و سایر میدانی مشابه مورد بررسی قرار داد.

نتایج ژئومورفولوژی لرزه‌ای آماری نشان می‌دهد که کانال‌های شناسایی شده بر روی نقشه‌های نشانگرهای لرزه‌ای نرخ پیش‌روی برابر با $1/18$ تا $1/3$ است که در زمره کانال‌های تعادلی (bypass) قرار می‌گیرند (Wood, 2007). بنابراین، اگر چه در بازه زمانی تشکیل واحد A سیستم رودخانه‌ای در شرق کپه‌داغ حاکم بوده است، لیکن رخساره‌های کانالی تشکیل نشده‌اند و یا گسترش بسیار کمی دارند. شرایط تعادل رسوبی یا عبور رسوب در زمان افت نسبی سطح اساس و یا سطح نسبی آب دریاها ایجاد می‌شود (Wright and Marriott, 1993; Shanley and McCabe, 1994; Miall, 2014; Catuneanu, 2017). انطباق رخساره‌های دانه‌ریز قاعده سازند شورجه با نتایج چین‌نگاری لرزه‌ای نشان می‌دهد که این رخساره‌ها در زمان سیلاب کانال‌های رودخانه‌ای در محیط‌های خارج کانالی و یا مصب‌های رودخانه‌ای (که با عقب‌نشینی خط ساحلی جایجا می‌شده‌اند) رسوب‌گذاری کرده‌اند. از آنجایی که رخساره‌های تشکیل شده در زمان افت سطح اساس معمولاً متعلق به دشت سیلابی کانال‌های مانداری هستند (Catuneanu, 2017) و نیز بیشترین فراوانی سیلاب در مرحله آغازین افت نسبی سطح آب (early stages of relative sea-level fall) اتفاق می‌افتد (Karamitopoulos et al., 2014)، می‌توان استنباط کرد که رخساره‌های دانه‌ریز قاعده سازند شورجه در دسته‌رخساره FSST تشکیل شده‌اند.

بررسی نقشه نشانگرهای لرزه‌ای نشان می‌دهد که در منطقه پایین‌دست رودخانه شرایط محیط‌رسوبی تغییر کرده، که با افزایش پیش‌روی رودخانه‌ها نیز همراه است، و رسوبات حمل شده احتمالاً در مصب رودخانه‌ها رسوب‌گذاری کرده‌اند. چنین شرایطی در مطالعات آزمایشگاهی توسط Karamitopoulos et al. (2014) نیز ثبت شده است؛ به طوری که در زمان پایین بودن سطح آب، رسوبات حمل شده توسط رودخانه‌ها در کانال‌های فرعی و محل اتصال به دریا رسوب‌گذاری کرده‌اند. در مرحله پسین افت نسبی سطح آب (late stages of relative sea-level fall) فرسایش و

References

- Brown, A. R., 2011- Interpretation of three-dimensional seismic data, 7th edition. American Association of Petroleum Geologists Memoir 42. 646 p. <http://store.aapg.org/detail.aspx?id=1025>.
- Brown, L. F. Jr. and Fisher, W. L., 1977- Seismic strati-graphic interpretation of depositional sys-tems: examples from the Brazilian rift and pull-apart basins. See Payton 1977, pp. 213- 248.
- Brunet, M. F., Ershov, A. V., Korotaev, M. V., Melikhov, V. N., Barrier, E., Mordvintsev, D. O. and Sidorova, I. P., 2017- Late Palaeozoic and Mesozoic evolution of the Amu Darya Basin (Turkmenistan, Uzbekistan). In: Brunet, M. F., McCann, T., Sobel, E.R. (eds) Geological Evolution of Central Asian Basins and the Western Tien Shan Range. Geological Society, London, Special Publications, 427. <https://doi.org/10.1144/SP427.17>.
- Catuneanu, O., Galloway, W. E., Kendall, C. G. St. C., Miall, A. D., Posamentier, H. W., Strasser, A. and Tucker, M. E., 2011- Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. *Newsl. Stratigr.*, v. 44/3, p. 173- 245. [10.1127/0078-0421/2011/0011](https://doi.org/10.1127/0078-0421/2011/0011).
- Catuneanu, O., Abreu, V., Bhattacharya, J. P., Blum, M. D., Dalrymple, R. W., Eriksson, P. G., Fielding, C. R., Fisher, W. L., Galloway, W. E., Gibling, M. R., Giles, K. A., Holbrook, J. M., Jordan, R., Kendall, C. G. S. C., Macurda, B., Martinsen, O. J., Miall, A. D., Neal, J. E., Nummedal, D., Pomar, L., Posamentier, H. W., Pratt, B. R., Sarg, J. F., Shanley, K. W., Steel, R. J., Strasser, A., Tucker, M. E. and Winker, C., 2009- Towards the standardization of sequence stratigraphy. *Earth Sci. Rev.* 92, 1- 33. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2008.10.003>.
- Catuneanu, O., 2006- Principles of Sequence Stratigraphy. Elsevier Science and Technology, Amsterdam, The Netherlands. <https://www.elsevier.com/books/principles-of-sequence-stratigraphy/catuneanu/978-0-444-51568-1>.
- Catuneanu, O., 2017- Sequence Stratigraphy: Guidelines for a Standard Methodology. *Stratigraphy and Timescales*. 2, 1- 57. <https://doi.org/10.1016/bs.sats.2017.07.003>.
- Chopra, S. and Marfurt, K. J., 2007- Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization. SEG Geophysical developments 11. 464p. <https://library.seg.org/doi/book/10.1190/1.9781560801900>.
- Csato, I. and Catuneanu, O., 2012- Systems tract successions under variable climatic and tectonic regimes: a quantitative approach. *Stratigraphy*, v. 9, no. 2, p. 109- 130.
- Golonka, J., 2004- Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic. *Tectonophysics* 381(1-4), 235- 273. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2002.06.004>.
- Holbrook, J., Scott, R. W. and Oboh-Ikuenobe, F. E., 2006- Base-level buffers and buttresses: a model for upstream versus downstream control on fluvial geometry and architecture within sequences. *J Sediment Res* 76:162- 174. <https://doi.org/10.2110/jsr.2005.10>.
- Hosseinyar, G., Moussavi-Harami, R., Abdollahie Fard, A., Mahboubi, A., Noemani Rad, R. and Ebrahimi, M. H., 2018- Facies analyses and depositional setting of the Lower Cretaceous Shurijeh-Shatlyk formations in the Kopeh Dagh-Amu Darya Basin. *Geological Journal*. <https://doi.org/10.1002/gj.3264>.
- Karamitopoulos, P., Weltje, G. J. and Dalman, R. A. F., 2014- Allogenic controls on autogenic variability in fluvio-deltaic systems: inferences from analysis of synthetic stratigraphy. *Basin Research* 26, 767- 779. <https://doi.org/10.1111/bre.12065>.
- Kavoosi, M. A., Lasemi, Y., Sherkati, S. and Mossavi-Harami, R., 2009- Facies analysis and depositional sequences of the Upper Jurassic Mozduran Formation, a reservoir in the Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Journal of Petroleum Geology* 32(3), 235- 260. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2009.00446.x>.
- Miall, A. D., 2014- Fluvial depositional systems. Springer, 319 p. <https://www.springer.com/gp/book/9783319006659>.
- Miall, A. D., 2006- The geology of fluvial deposits, sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. Springer. 582p. <https://www.springer.com/gp/book/9783540591863>.
- Mitchum, Jr. R. M., 1977- Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 11: glossary of terms used in seismic stratigraphy. In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy- Applications to Hydrocarbon Exploration*, pp. 205- 212. American Association of Petroleum Geologists Memoir 26. <https://doi.org/10.1306/M26490C13>.
- Mortazavi, M., Moussavi-Harami R., Brenner, R. and Mahboubi, A., 2013- Stable isotope record in pedogenic carbonates in northeast Iran: Implications for Early Cretaceous (Berriasian–Barremian) paleovegetation and paleoatmospheric P(CO₂) levels. *Geoderma* 211- 212, 85- 97. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.07.008>.

- Moussavi-Harami, R. and Brenner, R. L., 1992- Geohistory analysis, petroleum reservoir characteristics of Lower Cretaceous (Neocomian) sandstones, eastern Kopet-Dagh Basin, northeastern Iran. *AAPG Bulletin* 76, 1200- 1208. <https://doi.org/10.1306/BDF9258-1718-11D7-8645000102C1865D>.
- Moussavi-Harami, R. and Brenner, R. L. 1993- Diagenesis of non-marine petroleum reservoirs: the Neocomian (Lower Cretaceous) Shurijeh Formation, Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Journal of Petroleum Geology* 16, 55- 72. <https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.1993.tb00730.x>.
- Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Nadjafi, M., Brenner, R. L. and Mortazavi, M., 2009- Mechanism of calcrite formation in the Lower Cretaceous (Neocomian) fluvial deposits, northeastern Iran based on petrographic, geochemical data. *Cretaceous Research* 30, 1146- 1156. <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2009.04.003>.
- Plint, A. G. and Nummedal, D., 2000- The falling stage systems tract: recognition and importance in sequence stratigraphic analysis. In *Sedimentary Response to Forced Regression* (D. Hunt and R. L. Gawthorpe, Eds.), pp. 1- 17. Geological Society of London Special Publication 172. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.172.01.01>.
- Plint, A. G., 2002- Paleovalley systems in the upper Cretaceous Dunvegan Formation, Alberta and British Columbia. *B Can Petrol Geol* 50:277- 298. <https://doi.org/10.2113/50.2.277>.
- Ramaekers, P. and Catuneanu, O., 2004- Development and sequences of the Athabasca Basin, Early Proterozoic, Saskatchewan and Alberta, Canada. In: Eriksson, P.G., Altermann, W., Nelson, D., Mueller, W., Catuneanu, O. (Eds.), *The Precambrian Earth: Tempos and Events. Developments in Precambrian Geology*, vol. 12. Elsevier Science Ltd., Amsterdam, pp. 705- 723.
- Robert, A. M. M., Letouzey, J., Kavooosi, M. A., Sherhati, Sh., Muller, C., Verges, J. and Aghababaei, A., 2014- Structural evolution of the Kopeh Dagh fold-and-thrust belt (NE Iran) and interactions with the South Caspian Sea Basin and Amu Darya Basin. *Marine and Petroleum Geology* 57, 68- 87. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2014.05.002>.
- Ruttner, A., 1991- The Triassic of Aghdarband (AgDarband), NE-Iran, and its preTriassic frame. In: *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 38, 252 p.
- Saadati, H., Al-Iessa, H. J., Alizadeh, B., Tarhandeh, E., Jazayeri, M. H., Bahrami, H. and Rashidi, M., 2016- Geochemical characteristics and isotopic reversal of natural gases in eastern Kopeh-Dagh, NE Iran. *Marine and Petroleum Geology*, 78, 76- 87. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2016.09.004>.
- Shanley, K. W. and McCabe, P. J., 1994- Perspectives on the sequence stratigraphy of continental strata. *Am Assoc Petr Geol B* 78:544- 568. <https://doi.org/10.1306/BDF9258-1718-11D7-8645000102C1865D>.
- Shanley, K. W., McCabe, P. J. and Hettlinger, R. D., 1992- Significance of tidal influence in fluvial deposits for interpreting sequence stratigraphy. *Sedimentology* 39:905- 930. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb02159.x>.
- Stocklin, J., 1977- Structural correlation of alpien ranges between Iran and Central Asia. *Memorie Hors. Serie.No.8de la Soc.Geolo.de France* 8. pp. 333- 353.
- Thomas, J. C., Cobbold, E. R., Shein, V. S. and Le Douaran, S., 1999- Sedimentary record of late Paleozoic to Recent tectonism in central Asia: analysis of subsurface data from the Turan and south Kazak domains. *Tectonophysics* 313(3), 243- 263. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00208-5](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00208-5).
- Ulmishek, G. F., 2004- Petroleum geology and resources of the Amu-Darya Basin Turkmenistan Uzbekistan Afghanistan and Iran. Reston: U.S Geological Survey Bulletin. p. 2201-H.
- Van Wagoner, J. C., 1995- Overview of sequence stratigraphy of foreland basin deposits: terminology, summary of papers, and glossary of sequence stratigraphy. In: Van Wagoner, J.C., Bertram, G.T. (Eds.), *Sequence Stratigraphy of Foreland Basin Deposits: Outcrop and Subsurface Examples from the Cretaceous of North America. Memoir*, vol. 64. American Association of Petroleum Geologists, pp. ix- xxi.
- Wood, L., 2007- Quantitative seismic geomorphology of Pliocene and Miocene fluvial systems in the northern Gulf of Mexico, USA. *J Sediment Res.* 77:713- 730. <https://doi.org/10.2110/jsr.2007.068>.
- Wright, V. P. and Marriott, S. B., 1993- The sequence stratigraphy of fluvial depositional systems: the role of floodplain sediment storage. *Sediment. Geol.*, v. 86, p. 203- 210. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(93\)90022-W](https://doi.org/10.1016/0037-0738(93)90022-W).
- Zanchetta, S., Berra, F., Zanchi, A., Bergomi, M., Caridroit, M., Nicorab, A. and Heidarzadeh, G., 2013- The record of the Late Palaeozoic active margin of the Palaeotethys in NE Iran: constraints on the Cimmerian orogeny. *Gondwana Research* 24(3-4), 1237- 1266. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.02.013>.

- Zand-Moghadam, H., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A. and Aghaei, A., 2016- Lithofacies and sequence stratigraphic analysis of the Upper Jurassic siliciclastics in the eastern Kopet-Dagh Basin, NE Iran. *Journal of African Earth Sciences* 117, 48- 61. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.01.021>.
- Zeng, H. L. and Hentz, T. F., 2004- High-frequency sequence stratigraphy from seismic sedimentology: applied to Miocene, Vermilion Block 50, Tiger Shoal area, offshore Louisiana. *Am Assoc Petr Geol B* 88:153- 174. <https://doi.org/10.1306/10060303018>.

Identification of falling stage system tract in fluvial successions, an example from Shurijeh Formation

Gh. Hosseinyar¹, R. Moussavi-Harami^{2*}, I. Abdollahi fard³, A. Mahboubi² and H. Mosaffa⁴

¹Ph.D., Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³Ph.D., Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

⁴M.Sc., Sedimentary Environment Group, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

Received: 2018 February 14

Accepted: 2018 August 12

Abstract

Identification of falling-stage system tracts (FSST) in sequence stratigraphy has important role in sequence boundary recognition and exploration researches. However, formation and preservation chance of its related facies in the fluvial successions is very low. This study pays to signs and evidence of identification of the FSST in sequence stratigraphy with an example from Lower Cretaceous fluvial Shurijeh Formation in the east Kopeh Dagh Basin. Integration of 3D seismic data with boreholes data from seven wells and four outcrop sections (Shurijeh Village, Anjeer-Bulagh, Mozduran Pass and Qorqoreh) used in this study. Results show that during Late Jurassic-Early Cretaceous marine regression fine-grained and hybrid carbonate-siliciclastic facies in the base of the Shurijeh Formation are belong to falling stage system tract. These facies deposited in low energy condition in flood plain and coastal plain, related to the shoreline trajectory. Based on seismic stratigraphic study, fluvial system tocks place and channels created in the basin, during sea/base level forced regression. Quantitative seismic geomorphological analyses indicate that existed channels were hydraulically as bypassing channels.

Keywords: Sequence stratigraphy, Siliciclastic facies, System tract, Shurijeh, Cretaceous, Kopeh Dagh.

For Persian Version see pages 283 to 290

*Corresponding author: R. Moussavi-Harami; E-mail: moussavi@um.ac.ir