

تحلیل جریان‌های گرانشی رسوبی با نگرشی ویژه بر توربیدایت‌ها

رضا بهبهانی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

نویسنده مسئول: rezabehbahani30@yahoo.com*

دریافت: ۹۷/۱۲/۷ پذیرش: ۹۸/۱۰/۲۵

چکیده

جریان‌های گرانشی رسوبی بر اساس ترکیب پنج شاخص غلظت رسوبات، مکانیسم تامین رسوبات، حالت جریان (خطی یا آشفته)، نوع جریان و تغییر شکل آن طبقه‌بندی می‌شوند. این نوع جریان‌ها از سیال‌های نیوتونی (نظیر جریان توربیدایتی) و یا از سیال‌های غیر نیوتونی (نظیر جریان خرده‌دار) تشکیل شده است. با این وجود، شناسایی نوع و تغییر شکل جریان توسط بررسی نهشته‌های آن‌ها به راحتی امکان‌پذیر نیست. اگرچه با قطعیت برخی سنگ‌ها جز توربیدایت‌ها و برخی دیگر جز دبریت‌ها (نهشته‌های خرده‌دار) طبقه‌بندی می‌شوند، حالت حد واسطی از این نوع سنگ‌ها تحت عنوان دنسیت‌ها (نهشته‌های جریان متراکم) نیز وجود دارد. دنسیت‌ها ویژگی‌های دوگانه توربیدایت‌ها و دبریت‌ها را از خود نشان می‌دهند. دنسیت‌ها دارای حالت ترکیبی سیال‌های نیوتونی و غیرنیوتونی هستند. واژه گراویت برای تمام نهشته‌های گرانشی رسوبی بدون در نظر گرفتن محیط رسوبی‌شان به کار برده می‌شود. امروزه، جریان‌های توربیدایتی برای جریان‌های گرانشی رسوبی نیوتونی به کار گرفته می‌شود. این نوع جریان‌های نیوتونی برخلاف سایر جریان‌ها به علت سقوط و رسوب متفاوت ذرات از بخش تحتانی تا بخش فوقانی رسوبات دارای دانه‌بندی تدریجی می‌باشند (نظیر توالی بوما). سیستم‌های توربیدایتی بر مبنای اندازه ذرات (غنی از گل، غنی از گل/ماسه، غنی از ماسه و غنی از گراول)، ترکیب رسوب (توربیدایت آهکی و توربیدایت آواری) و سیستم تغذیه‌کننده (مخروط زیردریایی با منشا نقطه‌ای، رمپ با منشا چندگانه و پیشانی شیب با منشا خطی) طبقه‌بندی می‌شوند. سیستم‌های توربیدایتی غنی از گل دانه‌ریز عمدتاً در حوضه‌های با ورودی رودخانه‌ای بزرگ ایجاد می‌شوند. می‌توان از نهشته‌های توربیدایتی آهکی در ایران از سازندهای پابده و سروک (حوضه زاگرس) و توربیدایت‌های آواری از بخش آواری سازند امیران و نهشته‌های آواری میوسن نام برد.

واژه‌های کلیدی: جریان‌های گرانشی رسوبی، توربیدایت، دنسیت، دبریت، گراویت

۱- پیشگفتار

بررسی نهشته‌های جریان‌های گرانشی خصوصاً جریان‌های توربیدایتی از دیرباز مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران علوم زمین بوده است (جدول ۱). بیش از چند دهه از پژوهش‌های علمی بر روی این نوع نهشته‌ها در کشور ما نمی‌گذرد. به همین دلیل یافتن منابع علمی مرتبط با این موضوع برای پژوهش‌گران جوان گاهی دشوار است. با توجه به تقاضای روزافزون جامعه علمی کشور در این پژوهش مروری، جریان‌های گرانشی رسوبی^۱ با نگرشی ویژه بر جریان‌های توربیدایتی^۲ (نهشته‌های توربیدایتی)، مکانیسم تشکیل، پارامترهای گوناگون در طبقه‌بندی آن‌ها و ویژگی‌های تشخیصی‌شان مورد بحث قرار می‌گیرند.

جریان‌های گرانشی رسوبی نقش مهمی را در انتقال و نهشته شدن رسوبات در محیط‌های با شیب تند در خشکی (نظیر مخروط‌افکنه) و محیط‌های رسوبی آب‌های ژرف^۳ ایفا می‌کنند. این جریان‌ها به عنوان یک مخلوط کامل از رسوبات و سیال‌های آبی تعریف می‌شوند که در اثر عملکرد نیروی گرانشی به سمت پایین‌دست شیب جریان می‌یابند (گانی، ۲۰۰۳).

۲- پارامترهای گوناگون در طبقه‌بندی جریان‌های

گرانشی رسوبی

تعاریف اولیه از جریان‌های توربیدایتی و جریان‌های خرده‌دار بسیار توصیفی و با نگرشی ویژه بر ویژگی‌های فیزیکی جریان‌ها هستند. پژوهشگران گوناگون، پارامترهای متفاوتی را در طبقه‌بندی جریان‌های گرانشی

¹ Sediment gravity flows

² Turbidity currents

³ Deep-water environments

بین تنش برشی^{۱۰} و نرخ واتنش^{۱۱} توسعه یابد، این سیال نیوتونی نامیده می‌شود (گانی، ۲۰۰۳). هر گونه انحراف از این ویژگی‌ها سبب بوجود آمدن سیال غیرنیوتونی می‌گردد. جریان‌های گرانشی رسوبی می‌توانند دو حالت غیرنیوتونی را از خود نشان دهند (شکل ۱). در پلاستیک بینگهام غیرنیوتونی^{۱۲}، مقدار بحرانی تنش برشی (تنش تسلیم^{۱۳}) قبل از هرگونه تغییر شکل و بعد از تغییر شکل خطی قطع می‌شود (نظیر یک پلاستیک بینگهام که ترکیبی از یک پلاستیک ایده‌آل و یک سیال نیوتونی است) (گانی، ۲۰۰۳). در یک سیال رقیق شده غیر نیوتونی، مقاومت تسلیم^{۱۴} وجود ندارد، اما تغییر شکل غیر خطی است (شکل ۱) (گانی، ۲۰۰۳). با کاربردی کردن مفاهیم ذکر شده بالا، جریان‌های گرانشی رسوبی با حالت نیوتونی جریان‌های توربیدیتی نامیده می‌شوند، در حالی که با حالت غیر نیوتونی جریان‌های خرده‌دار^{۱۵} نامیده می‌شوند (شکل ۱). هم‌چنین جریان‌های خرده‌دار به دو رده جریان‌های خرده‌دار چسبنده^{۱۶} (پلاستیک بینگهام غیرنیوتونی) و جریان‌های خرده‌دار غیرچسبنده^{۱۷} (سیال‌های رقیق شده غیرنیوتونی) تقسیم می‌شوند (گانی، ۲۰۰۳). چسبندگی جریان‌های خرده‌دار عمدتاً بستگی به غلظت رس موجود در جریان دارد. اگر چه برخی از پژوهشگران (هامپتون، ۱۹۷۵؛ باس و بست، ۲۰۰۲) نشان دادند که ۲ تا ۴ درصد حجمی رس می‌تواند بوجود آورنده مقاومت تسلیم در جریان‌ها باشد، اما به نظر می‌رسد که پژوهش‌های پیش‌تری برای مشخص کردن این موضوع لازم است. تاکنون تعداد اندکی از مدل‌های عددی و تجربی از جریان‌های گرانشی رسوبی رقیق شده غیرنیوتونی (نظیر جریان‌های دانه‌ای^{۱۸}) و رسوبات آن‌ها ارائه شده است. به نظر می‌رسد که هنوز در شناخت تکامل جریان‌های گرانشی رسوبی بین پژوهشگران مختلف اختلاف نظر وجود دارد. تشخیص نوع جریان‌ها در آزمایشگاه امری آسان است، اما تفسیر نوع و تغییر شکل جریان موثر در یک رسوب بوسیله بررسی ویژگی‌های رسوبی چالش برانگیز است.

رسوبی به کار گرفته‌اند که برخی از آن‌ها عبارتند از: شاخص باگنولد (بوما، ۱۹۶۲)، غلظت رسوب (دات، ۱۹۶۳)، نوع جریان و تغییر شکل ماده (سندرس، ۱۹۶۵)، آشفستگی سیال (میدلتون و هامپتون، ۱۹۷۳)، مکانیسم فراوانی رسوب (لاو، ۱۹۸۲)، ترکیب نوع جریان، تغییر شکل ماده و مکانیسم فراوانی رسوب (مولدر و اکساندر، ۲۰۰۱). از میان چهار شاخص مهم (غلظت رسوب، مکانیسم فراوانی رسوب، حالت جریان، نوع جریان و تغییر شکل ماده) در جریان‌های گرانشی رسوبی، غلظت رسوب سه شاخص دیگر را مستقیماً تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین، غلظت رسوب شاخص بسیار مهمی برای مشخص کردن انواع گوناگون این جریان‌ها می‌باشد. متاسفانه، مقادیر آستانه و جداکننده^۴ برای انواع گوناگون جریان‌های گرانشی رسوبی به دلیل اندازه گوناگون ذرات و غلظت کانی‌های رسی، متغیر و غیر کاربردی هستند (شان‌موگام، ۱۹۹۶ و ۲۰۱۲). مکانیسم فراوانی رسوبات شامل قوام ماتریکس^۵، فشار پراکنده کننده دانه^۶، فرار سیال درون حفره^۷ و آشفستگی سیال^۸ هستند. این مکانیسم‌ها به طور تدریجی با افزایش محتوی سیال می‌توانند تغییر کنند و بیش از یک مکانیسم می‌تواند در یک نوع جریان گرانشی رسوبی عمل کند. به طور مشابهی، حالت جریان نیز می‌تواند به طور تدریجی تغییر کند و بین حالت خطی و آشفته با تغییر در غلظت رسوب یا تغییر در شیب حوضه در نوسان باشد (گانی، ۲۰۰۳).

۳- طبقه‌بندی انواع جریان‌های گرانشی رسوبی

در شکل ۱ نوع جریان و تغییر شکل آن^۹ برای جریان‌های گرانشی رسوبی به صورت دو بعدی آورده شده است. نوع و تغییر شکل جریان می‌تواند به عنوان یک پارامتر با کمترین ابهام برای تعریف انواع گوناگون جریان‌های گرانشی رسوبی به کار برده شود. بر اساس این شکل، دو نوع اساسی جریان‌های گرانشی رسوبی نیوتونی و غیرنیوتونی وجود دارد. اگر این جریان به طور پیوسته با اعمال نیرو و تنش تغییر شکل یابد و یک ارتباط خطی

¹⁰ Shear stress

¹¹ Strain rate

¹² Non-newtonian bingham plastic

¹³ Yield stress

¹⁴ Yield strength

¹⁵ Debris flows

¹⁶ Cohesive debris flows

¹⁷ Non-cohesive debris flows

¹⁸ Grain flows

⁴ Threshold values

⁵ Matrix strength

⁶ Dispersive grain pressure

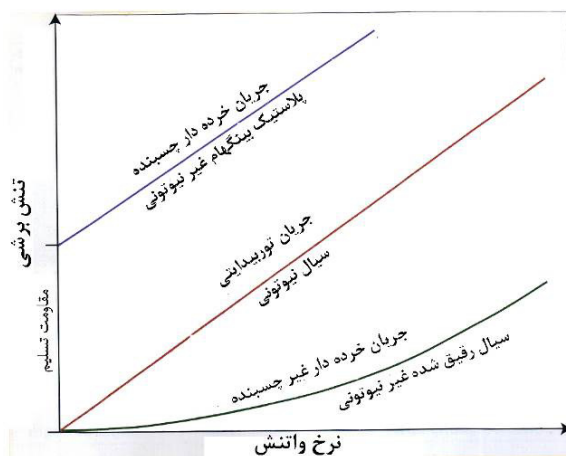
⁷ Escaping pore fluid

⁸ Fluid turbulence

⁹ Rheology

جدول ۱. برخی از پژوهش‌های انجام‌شده مرتبط با نهشته‌های جریان‌های گرانشی در ایران و سایر نقاط جهان (در دو دهه گذشته).

نویسنده / نویسندگان	محور اصلی پژوهش	نویسنده / نویسندگان	محور اصلی پژوهش
ایتو، ۲۰۱۹؛ بررسی منشا نهشته‌های جریان گرانشی درشت‌دانه	آوارز و همکاران، ۲۰۱۹؛ ساختارها و نهشته‌های گرانشی ناشی از فروریزش شیب در حاشیه پلتفرم کربناته	فن و همکاران، ۲۰۱۸؛ طبقه‌بندی نهشته‌های جریان‌های گرانشی و اهمیت آن‌ها در اکتشافات نفتی	راگوسا و کیندلر، ۲۰۱۸؛ تغییرات ترکیبی در نهشته‌های جریان‌های گرانشی
محسنی و جوانمرد، ۱۳۹۷؛ شواهد رسوبات توربیدیتی در سازند سروک	سراوانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ شواهد رسوبات توربیدیتی در سازند پابده	یانگ و همکاران، ۲۰۱۷؛ رخساره‌های سنگی و منشا نهشته‌های جریان‌های گرانشی گلی	کرلا و همکاران، ۲۰۱۶؛ تاثیر توربیدیت‌ها و نهشته‌های گرانشی در شکل‌دادن کانال‌های آب ژرف دریاچه‌های مدرن
زاوالا و آرکوری، ۲۰۱۶؛ منشا و ویژگی‌های متمایزکننده توربیدیت‌های درون و برون-حوضه‌ای	غلامی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ شواهد جریان‌های توربیدیتی در نهشته‌های آواری میوسن	در گستره نیریز	لیو و همکاران، ۲۰۱۵؛ ویژگی‌های رسوبی و مدل رخساره‌های نهشته‌های جریان گرانشی
عبدی و همکاران، ۲۰۱۴؛ شواهد رسوبات توفانی و توربیدیتی در سنگ‌آهک‌های بیستون	کانتالزو و پیکرینگ، ۲۰۱۴؛ توربیدیت‌های دانه‌ریز-بسیار دانه‌ریز	ریچمر و همکاران، ۲۰۱۴؛ مقایسه کلسی‌توربیدیت‌ها و کلسی‌دبریت‌ها	نصیری و همکاران، ۱۳۹۲؛ شواهد رسوبات توربیدیتی در رسوبات آواری-کربناته سازند امیران
محسنی و همکاران، ۱۳۹۲؛ شواهد رسوبی جریان توربیدیتی در سازند امیران	رابرت و همکاران، ۲۰۱۲؛ ویژگی‌های رخساره‌ای و شکل هندسی یک سیستم کلسی-توربیدیتی	محسنی و همکاران، ۲۰۱۱؛ شواهد رسوبات توربیدیتی در سازند پابده	بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ شواهد رسوبات توفانی و توربیدیتی در سازند پابده
هوریکوا و ایتو، ۲۰۰۹؛ شواهد رسوبات توربیدیتی	گرون، ۲۰۰۸؛ منشا کلسی‌دبریت‌ها	پیکرینگ و کارجیدور، ۲۰۰۵؛ تاثیر زمین‌ساخت بر جریان‌های گرانشی	ساواری و فرای، ۲۰۰۴؛ شکل هندسی و شاخص‌های پتروفیزیکی توربیدیت‌های کالک‌آرنایتی
فلوکوت و هتوی، ۲۰۰۳؛ تکامل نهشته‌های جریان گرانشی	پایروس و پوجالت، ۲۰۰۱؛ لوب‌های توربیدیتی آواری-کربناته	استلتنینگ و همکاران، ۲۰۰۰؛ سیستم‌های توربیدیتی دانه‌ریز	



شکل ۱. انواع جریان و تغییرشکل در جریان‌های گرانشی رسوبی. بر اساس این نمودار، جریان‌های توربیدیتی جز سیال‌های نیوتونی هستند، درحالی‌که جریان‌های خرده‌دار به دو دسته پلاستیک بینگهام غیرنیوتونی (جریان‌های خرده‌دار چسبنده نظیر جریان‌های گلی) با یک مقاومت تسلیم قطعی یا سیال‌های رقیق‌شده غیرنیوتونی (جریان‌های خرده‌دار غیرچسبنده نظیر جریان دانه‌ای) بدون مقاومت تسلیم طبقه‌بندی می‌شوند (گانی، ۲۰۰۳).

برای این رسوبات و سنگ‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (باس و بست، ۲۰۰۲). اکثر این رسوبات از جریان‌های گرانشی رسوبی لایه‌گون^۵ با یک زون تحتانی از سیالات رقیق‌شده غیرنیوتونی (جریان خرده‌دار غیرچسبنده) و یک زون فوقانی از سیال نیوتونی (جریان توربیدیتی) منشا می‌گیرند (تینتری و همکاران، ۲۰۰۳). به دلیل این‌که این نوع از جریان می‌تواند به طور متناوب به دو جریان اصلی دیگر تبدیل شود و طبقات رسوبی حادثه‌ای

نهشته‌های جریان‌های گرانشی رسوبی که دارای ویژگی‌های دوگانه توربیدیت‌ها و دبریت‌ها (رسوبات جریان‌های خرده‌دار) هستند، وجود دارند. این رسوبات دوگانه و هیبریدی همواره با شک و تردید مورد بررسی قرار گرفته‌اند. مجموعه‌ای از واژه‌ها (نظیر جریان‌های توربیدیتی با چگالی بالا^۱، جریان‌های خرده‌دار ماسه‌ای^۲، جریان‌های رقیق^۳ و جریان‌های چگال با غلظت بالا^۴)

¹ High density turbidity currents

² Sandy debris flows

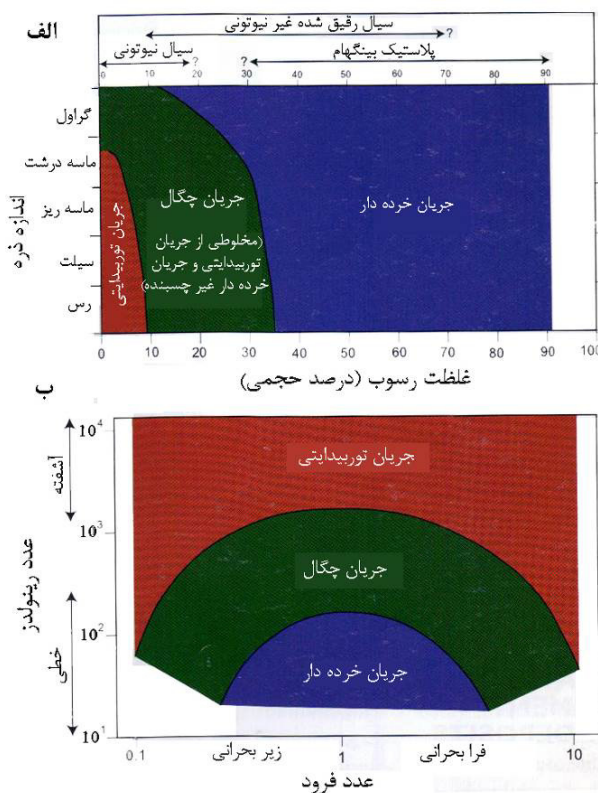
³ Slurry flows

⁴ Concentrated density flows

⁵ Stratified

رسوبات که بر اساس اندازه ذرات متغیر هستند، برای جریان‌های توربیدایتی، چگال و خرده‌دار پیشنهاد می‌شود (شکل ۲ الف). به طور کلی، با افزایش غلظت رسوبات، یک جریان توربیدایتی می‌تواند به یک جریان چگال و سپس به یک جریان خرده‌دار تبدیل شود. بسته به اعداد فرود^۳، این سه جریان می‌توانند هم به صورت آشفته^۴ و هم به صورت خطی^۵ وجود داشته باشند (شکل ۲ ب). با این وجود، اکثر جریان‌های توربیدایتی به صورت آشفته و جریان‌های خرده‌دار خطی هستند (گانی، ۲۰۰۳).

منفرد^۱ را بوجود آورد، یک نام مجزا برای این نوع جریان و رسوبات آن به عنوان جریان‌های چگال^۲ در نظر گرفته می‌شود (آلن، ۱۹۹۷). این نوع جریان یک چگالی متوسط (به علت غلظت متوسط رسوبات) بین جریان‌های توربیدایتی و جریان‌های خرده‌دار را نشان می‌دهند و رسوبات آن‌ها به عنوان دندسیت در نظر گرفته می‌شوند (شکل ۲ الف). همانطور که پیش‌تر ذکر شده است، هیچ گونه مقادیر آستانه‌ای از غلظت رسوبات (بر اساس درصد حجمی) برای تفکیک و تمایز انواع جریان‌های گرانشی رسوبی وجود ندارد. یک محدوده‌ای از مقادیر غلظت



شکل ۲. توزیع انواع متفاوت جریان‌های گرانشی رسوبی در نمودار دو بعدی غلظت رسوب در مقابل اندازه ذرات (شکل الف) و عدد رینولدز در مقابل عدد فرود (شکل ب) (آلن، ۱۹۹۷). لازم به ذکر است که جریان‌های چگال (جریان‌های گرانشی رسوبی لایه‌گون) در بین جریان‌های توربیدایتی و خرده‌دار قرار می‌گیرند.

ریزش‌ها^۷ بوجود می‌آیند، این نوع از فرایندها در بخش تحتانی جدول ۲ اضافه شده است. هم‌چنین این طبقه‌بندی، مکانیسم غالب تامین رسوب و حالت جریان را برای هر کدام از انواع جریان‌ها بیان می‌کند (گانی، ۲۰۰۳).

بر اساس نوع و تغییر شکل جریان و اضافه کردن مفهوم جریان‌های چگال، یک طبقه‌بندی ساده از جریان‌های گرانشی رسوبی در جدول ۲ آورده شده است. به علت این‌که اکثر جریان‌های گرانشی رسوبی از لغزش‌ها^۶ و

¹ Single event sedimentary beds

² Dense flows

³ Froude numbers

⁴ Turbulent

⁵ Laminar

⁶ Slumps

⁷ Slides

جدول ۲. طبقه‌بندی جریان‌های گرانشی رسوبی با یک نام‌گذاری ساده برای انواع جریان و رسوبات آن‌ها (گانی، ۲۰۰۳؛ مولدر و همکاران، ۲۰۰۳).

از پایین به بالا افزایش محتوای سیال	نوع جریان و تغییر شکل آن	نوع جریان		رسوبات	مکانیسم‌های غالب تامین رسوب
	نیوتونی	جریان توربیدایتی (غالباً "آشفته")	تقسیم‌های فرعی: ۱- غلظت کم (کم‌تر از ۱ درصد) و گلی (نظیر گل سیال) ۲- غلظت کم (۰/۲ تا ۳ درصد) و دانه متوسط (جریان‌های هایپر پیکنال). ۳- غلظت کم و دانه ریز. ۴- توالی دانه‌ریز و دانه متوسط (توالی بوما)		توربیدایت
متغیر (بخشی غیر نیوتونی و بخشی از آن نیوتونی)	جریان چگال (بخشی آشفته و بخشی از آن خطی)	دارای نام‌های گوناگون: ۱- جریان‌های توربیدایتی با چگالی بالا. ۲- جریان‌های خرده‌دار ماسه‌ای. ۳- جریان‌های رقیق. ۴- جریان‌های چگالی غلیظ. ۵- جریان‌های مایع و روان شده		دنسیت	فشار پراکنده کننده دانه، آشفته‌گی سیال، فرار سیال درون حفره و مقاومت ماتریکس
رقیق‌شده غیر نیوتونی	جریان خرده‌دار (غالباً خطی)	جریان خرده‌دار غیر چسبنده (نظیر جریان دانه‌ای)		دبریت	فشار پراکنده کننده دانه
پلاستیک بینگهام		جریان خرده‌دار چسبنده			مقاومت ماتریکس
پلاستیک بینگهام		ریزش و لغزش		رسوبات ریزشی و لغزشی	مقاومت ماتریکس

گرانشی رسوبی را مستقل از محیط رسوبی (حتی رسوبات لغزشی و ریزشی) فرا می‌گیرد. عدم استفاده از این واژه سبب استفاده از واژه توربیدایت^۲ (جریان توربیدایتی یکی از انواع جریان‌های گرانشی رسوبی است) در متون زمین‌شناسی می‌گردد. به عنوان مثال، اگرچه مخروط‌های زیردریایی^۳ شامل انواع گوناگونی از رسوبات جریان‌های گرانشی رسوبی هستند، واژه سیستم‌های توربیدایتی به طور بسیار نابجایی در این گونه مخروط‌ها استفاده می‌گردد (بوما و استون، ۲۰۰۰). زمانی که تشخیص انواع رسوبات جریان‌های گرانشی رسوبی از یکدیگر به علت عدم حفظ‌شدگی و یا کیفیت ضعیف رخنمون مشکل می‌شود، این واژه می‌تواند بدون هیچ تردیدی مورد استفاده قرار گیرد. البته لازم به ذکر است که گراویت‌ها، رسوبات جریان‌های گرانشی سیال^۴ را شامل نمی‌شوند (گانی، ۲۰۰۳). گراویت‌ها به سه دسته کلی دبریت‌ها، دنسیت‌ها و توربیدایت‌ها تقسیم می‌گردند (شکل ۳).

۶- دبریت‌ها^۵ یا رسوبات جریان‌های خرده‌دار

از مهم‌ترین رسوبات جریان گرانشی، رسوبات جریان‌های خرده‌دار یا دبریت‌ها می‌باشد (تاکر، ۱۹۹۴). قدرت ماتریکس گلی در برخی از جریان‌های خرده‌دار به قدر کافی بالا است تا قطعات با اندازه چندین متر را حمل

۴- ویژگی‌های تشخیصی نهشته‌های جریان‌های گرانشی رسوبی

یک دلیل برای مباحثه در مورد جریان‌های گرانشی در میان رسوب‌شناسان فقدان هدف مشترک در مورد ویژگی‌های رسوبی که عامل کلیدی مهم برای تشخیص انواع جریان‌های گرانشی رسوبی است، می‌باشد. هنگامی که بحث در مورد سنگ‌های رسوبی اتفاق می‌افتد، رسوب‌شناسان فرایندهای رسوب‌گذاری را بر اساس پارامترهای مشاهده‌ای رسوبات استنباط می‌کنند. بنابراین، تفسیر موفق نهشته‌های جریان‌های گرانشی بستگی به چگونگی برقراری ارتباط دقیق بین فیزیک (فرایندها) و رسوب‌شناسی (محصولات) دارد. نوع و تغییر شکل جریان و مکانیسم‌های تامین رسوب یک سری ارتباطات را پیشنهاد می‌دهد که به نوبه خود ویژگی‌های رسوبی کلیدی را برای هر کدام از انواع نهشته‌های جریان‌های گرانشی رسوبی تنظیم می‌کند (جدول ۳). بر اساس این ویژگی‌های تشخیصی، پژوهش‌گران واژه‌های گوناگونی را برای نهشته‌های جریان‌های گرانشی رسوبی به کار بردند که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود.

۵- رسوبات جریان گرانشی

گراویت‌ها^۱ رسوب یا سنگ نهشته شده توسط جریان- رسوبی گرانشی هستند. این واژه، تمام رسوبات جریانهای

² Turbidite

³ Sub-marine fan

⁴ Fluid gravity flows

⁵ Debrites

¹ Gravites

بزرگ‌ترین اندازه قابل حمل، ثبت اندازه ۱۰ قطعه از بزرگ‌ترین قطعات موجود در یک ناحیه کوچک رخنمون یافته و اندازه‌گیری میانگین آن‌ها می‌باشد (مایل، ۲۰۰۶). با توجه به ترکیب قطعات سازنده دبریت‌ها می‌توان آن‌ها را به دبریت‌های آواری و کلسی‌دبریت‌ها^{۱۰} طبقه‌بندی (ریچمر و همکاران، ۲۰۱۴). کلسی‌دبریت‌ها نهشته‌های مرتبط با رویداد رسوب‌گذاری مجدد است که به تناوب در بخش‌های حوضه‌ای مجاور پلت‌فرم‌های کریناته فعال ایجاد می‌شوند (ریچمر و همکاران، ۲۰۱۴). عامل اصلی شروع رسوب‌گذاری مجدد نهشته‌ها در مقیاس بزرگ (کلسی‌دبریت‌ها)، فرایندهای زمین‌ساختی می‌باشد (کویکوز و همکاران، ۲۰۱۳). ترکیب رسوبات کلسی‌دبریت‌ها برای تعیین غرقابی‌شدن^{۱۱} و رخنمون‌یافتگی^{۱۲} پلت‌فرم‌های کریناته جدید (نظیر باهاما، ریچمر و همکاران، ۱۹۹۲) و پلت‌فرم‌های کریناته دیرینه (نظیر بخش کریناته آلپ شمالی و جنوبی - ریچمر، ۱۹۹۸؛ اورتس و همکاران، ۱۹۹۹؛ برا، ۲۰۰۷)، بررسی غرق‌شدگی^{۱۳} پلت‌فرم‌ها (نظیر پلت‌فرم کویبنزلند) (بتزلر و همکاران، ۱۹۹۵)، تعیین تاثیر فرایندهای زمین‌ساختی بر تولید کرینات‌های پلت‌فرم کریناته (نظیر پلت‌فرم کریناته میوسن) (اورتس، ۱۹۹۱) و بررسی شاخص کنترل‌کننده گسل در توزیع نهشته‌های کریناته گرانشی در طی فرایندهای زمین‌ساختی کششی (نظیر تیتیس در ژوراسیک) (کویکوز و همکاران، ۲۰۱۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد. ریچمر و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند که ناپایداری^{۱۴} رسوبات حاشیه پلت‌فرم و بخش فوقانی شیب^{۱۵} در نتیجه بالا آمدن و پایین‌افتادگی سطح آب^{۱۶} اتفاق می‌افتد. در شکل ۴ منشا رسوبات گرانشی (کلسی‌دبریت و کلسی‌توربیدایت)، تغییرات جریان‌های گرانشی و ارتباط آن با تغییرات سطح آب در پلت‌فرم باهاما نشان داده شده است.

شاخص‌های معمول جهت تشخیص دبریت‌ها عبارتند از (فلوگل، ۲۰۱۰): ۱- طبقات ضخیم و یا توده‌ای. ۲- سطح فوقانی نامنظم. ۳- وجود قطعات بزرگ^{۱۷} در بخش فوقانی

نماید. دبریت‌ها بطور تیپیک دارای گل فراوان با قطعات پراکنده هستند که فابریک با گل غالب را ایجاد می‌کنند. معمولاً جورشدگی یا دانه‌بندی تدریجی در ذرات وجود ندارد. با این وجود، دبریت‌های قطعه‌غالب^۶ نیز وجود دارد، که فابریک با پبل فراوان درست می‌کند (تاکر، ۱۹۹۴). ضخامت و گستردگی رسوبات جریان خرده‌دار در حوضه اقیانوسی بوسیله حجم مواد و سرعت جریان به سمت پایین‌دست شیب مشخص می‌گردد. بر خلاف جریان خرده‌دار در خشکی، این جریان به دلیل اختلاط با آب رقیق‌تر می‌شود. این موضوع سبب تغییراتی در مکانیسم جریان در محیط آبی می‌شود. سطح بالایی یک رسوب جریان خرده‌دار زیر دریایی به سبب رقیق شدن بخش بالایی جریان به سمت بالا ریزدانه می‌شود (نیکولز، ۲۰۰۹). اساساً جریان‌های خرده‌دار، توده‌های در حال حرکت از قطعات سنگ، کانی‌های رسی و آب می‌باشند. اگرچه جریان‌های خرده‌دار عمدتاً به عنوان جریان پلاستیک^۷ در نظر گرفته می‌شوند (لاو، ۱۹۸۲)، اما برخی از محققین آن‌ها را جز سیالات غیرنیوتونی می‌دانند (آلن، ۱۹۹۷). بنابراین، دبریت‌ها شامل دبریت‌های چسبنده (سیالات پلاستیک بینگهام، شکل ۳ الف) و دبریت‌های غیرچسبنده (سیالات غیرنیوتونی رقیق‌شده، شکل‌های ۳ ب و ج) می‌باشند (گانی، ۲۰۰۳). بطور عمومی، یک لایه گراویت هیچ‌گونه دانه‌بندی^۸ حتی در بخش‌های بالایی خود نشان نمی‌دهد. شناسایی دبریت‌های چسبنده به طور نسبی آسان‌تر است. نکته مهم این است که به خاطر مقاومت تسلیم، دارای قطعات بزرگ شناور در یک ماتریکس گلی می‌باشند. به عبارت دیگر، دبریت‌های غیرچسبنده ماسه‌سنگ‌های تهی از گل نظیر جریان‌های دانه‌ای هستند که به علت فشار پراکنده کننده دانه دارای دانه‌بندی معکوس می‌باشند (گانی، ۲۰۰۴). اندازه قطعاتی که توسط جریان خرده‌دار می‌تواند حمل شود بستگی به مقاومت تسلیم جریان دارد که این مقاومت خود در ارتباط با گرانیوی و ضخامت جریان است. برای اثبات این نظر، معمولاً بزرگ‌ترین اندازه قابل حمل^۹ در جریان‌های خرده‌دار با توجه به ضخامت جریان متغیر است (مایل، ۲۰۰۶). روش موثر صحرایی برای اندازه‌گیری سریع

¹⁰ Calcldebrites¹¹ Flooding¹² Exposure¹³ Drowning¹⁴ Destabilization¹⁵ Upper slope¹⁶ Sea-level rise and fall¹⁷ Clast⁶ Clast-dominated debrites⁷ Plastic flow⁸ Grading⁹ Maximum clast size; MCS

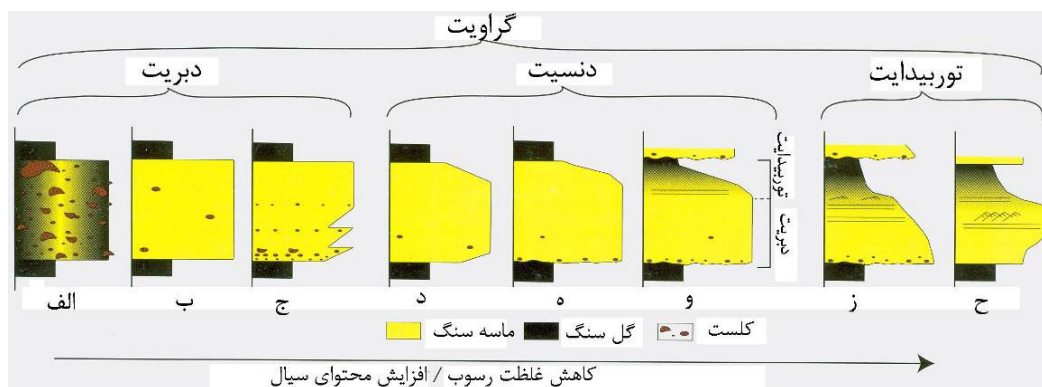
گرابیت هیبریدی است که شامل یک لایه تحتانی دبریتی معمولاً غیرچسبنده و یک لایه فوقانی توریدایتی که سطوح لایه‌بندی بین این دو لایه گسترش ندارد، می‌باشد (شکل‌های ۳ د تا و). در متون زمین‌شناسی، این رسوبات را به عنوان توریدایت‌هایی با بخش T_a یا T_{a-b} سکانس بوما معرفی کرده‌اند. با این وجود، این طبقات دارای دانه‌بندی تدریجی عادی فقط در بخش‌های فوقانی و در بخش تحتانی به صورت توده‌ای یا دانه‌بندی تدریجی معکوس می‌باشند (گانی ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴).

۴- فقدان فابریک رسوبی به استثنای دانه‌بندی تدریجی ضعیف و خام^۱ در بخش تحتانی. ۵- قطعات بزرگ سنگ‌آهک با جورشدگی بسیار ضعیف (عمدتاً در اندازه ماسه و کوچک‌تر از آن). ۶- قطعات زاویه‌دار یا گردشده و یا مخلوطی از آن‌ها. ۷- پشتیبانی قطعات بزرگ بوسیله رسوبات دانه‌ریزتر (میکرایت و کلسی‌سیلتایت آرژیلیکی). ۸- وجود ذرات بزرگ‌تر در اندازه پیل و بولدر در رسوبات جریان خرده‌دار.

۷- **دنسیت‌ها:** واژه دنسیت برای رسوبات جریان‌های چگال و متراکم استفاده می‌گردد. دنسیت در واقع یک

جدول ۳. ارتباطات بین فیزیک (فرایندها) و رسوب‌شناسی (محصولات) جریان‌های گرانشی رسوبی (لاو و گای، ۲۰۰۰؛ گانی، ۲۰۰۳). انواع متفاوت جریان و مکانیسم‌های تامین رسوب می‌توانند ویژگی‌های تشخیصی رسوبی برای انواع جریان‌های گرانشی بوجود آورند.

رسوب‌شناسی	ارتباطات	فیزیک جریان
جورشدگی خوب بدون شناور بودن قطعات بزرگ، بخش فوقانی همیشه دانه‌بندی نرمال را نشان می‌دهد	بدون مقاومت تسلیم و بدون انجماد (قابل حرکت)	سیال نیوتونی
بدون دانه‌بندی تدریجی نرمال، انباشتگی لایه به لایه ^۱	انجماد اصطحاک ^۲ اما بدون مقاومت تسلیم، انجماد از پایین به بالا	سیال رقیق‌شده غیر نیوتونی
جورشدگی ضعیف، حفظ‌شدگی مورفولوژی جریان، مرز مشخص فوقانی	انجماد دسته‌جمعی ^۳ در نتیجه مقاومت تسلیم، انجماد از بالا به پایین	پلاستیک بینگهام
جورشدگی خوب، دانه‌بندی تدریجی نرمال	رسوب تفریقی ذرات ^۴ از حالت معلق	آشفته‌گی سیال
ساختارهای بشقابی و ستونی ^۵ ، لایه‌بندی پیچیده ^۶	آثار فرار ^۷	فرار سیال درون حفره
دانه‌بندی تدریجی معکوس ^۸	ذرات بزرگ‌تر و پرتاب بیش‌تر	فشار پراکنده کننده دانه
قطعات شناور ماتریکس-پشتیبان، جورشدگی ضعیف	تامین قطعات و کلست‌های بزرگ	مقاومت ماتریکس



شکل ۳. مدل سنگ‌شناسی ساده برای نهشته‌های جریان‌های گرانشی رسوبی (گانی، ۲۰۰۴). الف) دبریت چسبنده. ب و ج) دبریت غیر چسبنده. د تا و) دنسیت (نهشته جریان گرانشی رسوبی دو بخشی). ز) توریدایت (توالی بوما). ح) توریدایت. لازم به ذکر است که جهت علامت پیکان مشابه تکامل رو به پایین شیب^۱ جریان‌های گرانشی رسوبی است.

¹ Layer by layer accretion

² Frictional freezing

³ En-mass freezing

⁴ Differential grain settling

⁵ Dish and pillar structures

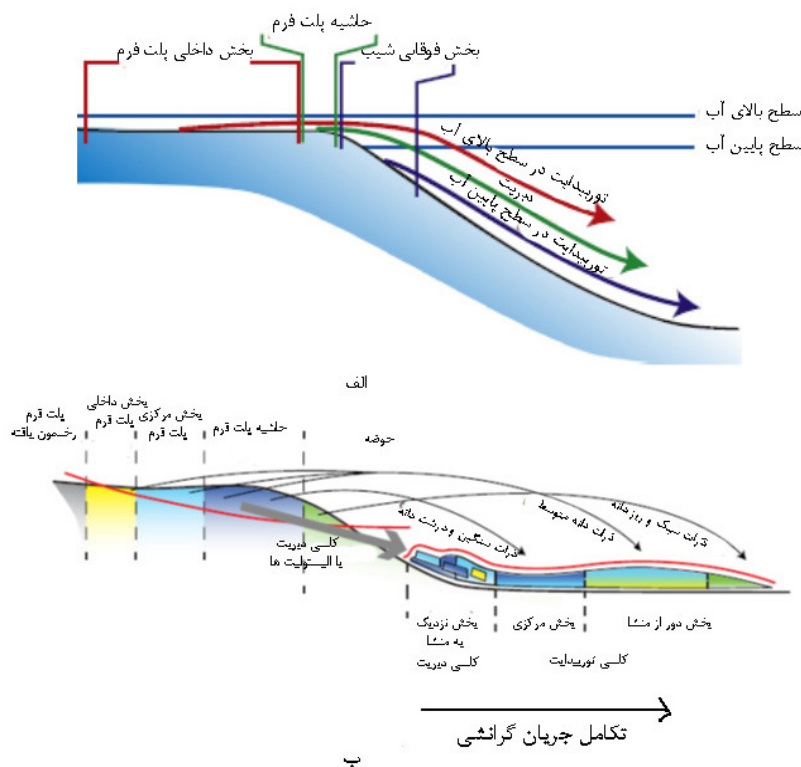
⁶ Convolute bedding

⁷ Escape marks

⁸ Inverse grading

⁹ Down-slope

تغییرات سطح آب: پلت فرم باهاما



شکل ۴. الف) منشا نهشته‌های کلسی‌توربیدایتی و کلسی‌دبریتی و ارتباط آن با تغییرات سطح آب در پلت‌فرم باهاما (ریچمر و همکاران، ۲۰۱۴). منشا نهشته‌های توربیدایتی در سطح بالا و پایین آب به ترتیب بخش داخلی پلت‌فرم و بخش فوقانی شیب می‌باشد. ب) الگوی رسوب‌گذاری مجدد ذرات در حوضه مجاور پلت‌فرم کربناته باهاما. تکامل و تغییرات جریان گرانشی از کلسی‌دبریت (جریان خرده‌دار) با ایستولیت‌ها در مناطق نزدیک به منشا تا کلسی‌توربیدایت در مناطق مرکزی و دور از منشا اتفاق می‌افتد. لازم به ذکر است که شکل‌ها بدون مقیاس ارائه شده است.

معکوس، بدون دانه‌بندی و دارای دانه‌بندی تدریجی عادی هستند، به کار بردند. برای تفسیر مکانیسم‌های رسوبی ماسه‌های توده‌ای بدون دانه‌بندی از واژه جریان‌های توربیدایتی با چگالی بالا استفاده شده است (باس، ۲۰۰۴). تنها نمونه حقیقی از جریان‌های توربیدایتی تقریباً ثابت، جریان‌های پرغلظت ایجاد شده در اثر طغیان‌های رودخانه‌ای می‌باشد (شکل ۳ح) (مولدر و همکاران، ۲۰۰۳).

توالی‌های توربیدایتی از نظر ساخت‌های رسوبی، ضخامت طبقات و ویژگی‌های بافتی بسیار متغیر هستند (فلوگل، ۲۰۱۰). این تغییرات توسط شاخص‌هایی نظیر مسافت بین ناحیه منشا و رسوب‌گذاری، نقطه‌ای یا خطی بودن منشا، ترکیب رسوبات در دسترس، توپوگرافی ناحیه رسوب‌گذاری و چگالی جریان‌های توربیدایتی (چگالی کم یا زیاد مواد معلق) کنترل می‌گردد (فلوگل، ۲۰۱۰).

۸- توربیدایت‌ها

هنگامی که واژه توربیدایت برای رسوبات حاصل از جریان‌های توربیدایتی مورد استفاده قرار گرفت، در متون زمین‌شناسی استفاده از آن فراگیر شد. امروزه جریان‌های توربیدایتی برای جریان‌های گرانشی رسوبی نیوتونی به کار گرفته می‌شود. جریان‌های توربیدایتی به عنوان جریان‌های جهت‌دار آشفته محسوب می‌شوند. این نوع جریان‌های نیوتونی بر خلاف سایر جریان‌ها به علت سقوط و رسوب متفاوت ذرات از بخش تحتانی تا بخش فوقانی رسوبات دارای دانه‌بندی تدریجی می‌باشند (نظیر توالی بوما) (شکل ۳ ز). با این وجود، کنلر و برانی (۱۹۹۵) مفاهیم کدر^۱، ثابت^۲ و افول یافته^۳ را به ترتیب برای جریان‌های توربیدایتی که دارای دانه‌بندی تدریجی

¹ Waxing

² Steady

³ Waning

معمولا توالی کامل بوما در توربیدیت‌های نزدیک به منشا^{۱۲} و توالی ناقص بوما در توربیدیت‌های دور از منشا^{۱۳} مشاهده می‌شود (استلتینگ و همکاران، ۲۰۰۰).

۸-۲- توربیدیت آهکی

توالی‌های توربیدیت‌های آواری و آهکی (توربیدیت‌های سنگ‌آهکی) دارای تفاوت‌هایی هستند. این تفاوت‌ها عبارتند از (ابرلی، ۱۹۸۷؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ ریچمر و همکاران، ۲۰۱۴): ۱- در توربیدیت‌های آهکی، اندازه ذرات بیوکلاستی عمدتا توسط محدودیت‌های اکولوژیکی در ناحیه منشا و فرایندهای فسیلی شدن کنترل می‌شود. ۲- فراوانی قطعات سنگی. کربنات‌های پلت‌فرم و شلف به طور سریعی سیمانی می‌شوند. بنابراین در توربیدیت‌های آهکی، قطعات سنگی بیش‌تر وجود دارند. ۳- تنوع ذرات موجود در توربیدیت‌های آهکی بیش‌تر است. انتقال و رسوب‌گذاری دانه‌های اسکلتی بوسیله تفاوت در اندازه، شکل، ساختار میکروسکوپی، تخلخل و چگالی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. ۴- بر خلاف توربیدیت‌های آواری، توالی کامل بوما در نهشته‌های کربناته کمیاب است. ۵- در بسیاری از توربیدیت‌های آهکی، توزیع دوگانه قطعات (دو اندازه غالب) به دو صورت قطعات سنگی و خرده‌های فسیلی وجود دارد. این دوگانه بودن سبب دانه‌بندی تدریجی معکوس (به سمت بالا درشت‌شونده) در قاعده بخش A توالی بوما می‌شود. قطعات سنگی کوچک اما چگال ابتدا رسوب می‌کنند و سپس بر روی آن‌ها خرده‌های فسیلی بزرگ‌تر و کم‌چگال‌تر قرار می‌گیرند. ۶- فقدان ساختمان‌های رسوبی نظیر قالب‌های وزنی و فلوت‌کست در توربیدیت‌های آهکی به علت فقدان چسبندگی در گل‌های آهکی و تاثیر زیاد فرایندهای دیاژنتیکی بر روی رخساره‌های کربناته است. ۷- در توربیدیت‌های آهکی دو پارامتر الف- بیش از حد شیب‌دار شدن بخش شیب پلت‌فرم کربناته در نتیجه تولید بیش از حد^{۱۴} پلت‌فرم کربناته و ب- زاویه قرار^{۱۵} بخش شیب به‌عنوان مکانیسم‌های محرک در رسوب-گذاری مجدد محسوب می‌شود. در جدول ۳ شاخص‌های شناسایی توربیدیت‌های آهکی ارائه شده است.

شاخص‌های متداول برای شناسایی توربیدیت‌ها عبارتند از (گانی، ۲۰۰۳؛ فلوگل، ۲۰۱۰): ۱- توالی قائم منظم واحدهای رسوبی که توسط ساخت‌های رسوبی خاص مشخص می‌شوند (توالی بوما و مایسخر^۴). ۲- دانه‌بندی تدریجی و لامیناسیون. ۳- سطح تحتانی مشخص^۵ عمدتا همراه با علائم سطح زیرین لایه^۶ و سطح فوقانی لایه به صورت تدریجی به طبقات فوقانی‌شان تبدیل می‌شوند. ۴- محتوای زیستی (فسیل‌های) نابرجا که از محیط‌های آب‌های کم‌ژرفا و شیب منشا می‌گیرند. فسیل‌های برجها کمیاب هستند. ماتی (۱۹۹۲) طبقه‌بندی عمومی را جهت مطالعه توربیدیت‌ها ارائه داد که بر انواع کانال، مقایسه‌های مقیاس فیزیکی^۷ و کارایی انتقال^۸ متمرکز می‌باشد و امروزه به پژوهش‌گران یک دستورالعمل مناسب برای اولین رویکرد در ناحیه مورد مطالعه ارائه می‌دهد (شکل‌های ۵ الف و ب). هم‌چنین، ریدینگ و ریچاردس (۱۹۹۴) سیستم‌های توربیدیتی را بر مبنای اندازه ذرات (غنی از گل، غنی از گل/ماسه، غنی از ماسه و غنی از گراول) و سیستم تغذیه‌کننده (منشا نقطه‌ای، رمپ با منشا چندگانه و پیشانی شیب^۹ با منشا خطی) به ۱۲ رده تقسیم کردند.

۸-۱- توالی بوما

توالی توربیدیتی ایده‌آل از یک توالی قائم با ساخت‌های رسوبی داخلی تشکیل شده است (شکل ۶). توالی بوما (بوما، ۱۹۶۲) برای نخستین بار در رسوبات آواری بررسی شده است (شکل ۶ الف) و دارای ۵ بخش از پایین به بالا به شرح ذیل می‌باشد (فلوگل، ۲۰۱۰): بخش A، که توده‌ای یا با دانه‌بندی تدریجی است؛ بخش B، با لامیناسیون موازی تحتانی که شامل لامینه‌های نازکی هستند؛ بخش C، با لامیناسیون ریپلی جریانی^{۱۰} (یک جهت) یا لایه‌بندی پیچیده؛ بخش D، با لامیناسیون موازی فوقانی که از لامینه‌های بسیار نازک نامشخص^{۱۱} درون رسوبات دانه‌ریز تشکیل شده است و بخش E، با رسوبات بسیار دانه‌ریز بدون ساخت‌های رسوبی اولیه.

⁴ Meischner and Bouma sequence

⁵ Well-defined

⁶ Sole-marks

⁷ Physical scale comparisons

⁸ Transport efficiency

⁹ Slope apron

¹⁰ Current ripple lamination

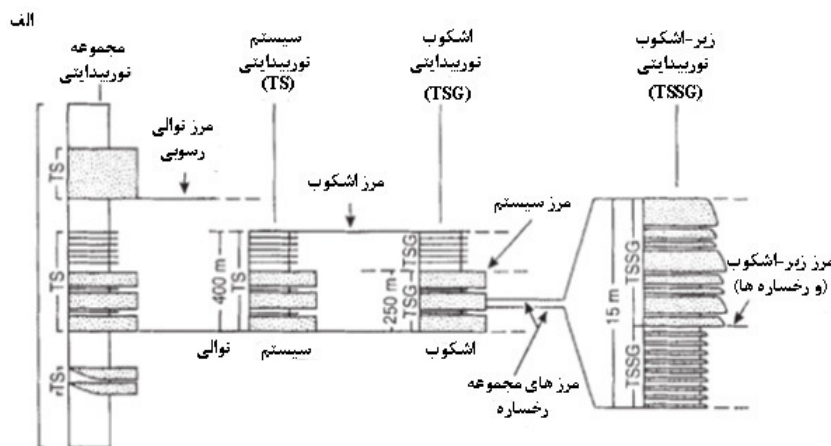
¹¹ Obscure

¹² Proximal turbidites

¹³ Distal turbidites

¹⁴ Overproduction

¹⁵ Angel of repose



مدت زمان (سال)	سلسله مراتب	واژه شناسی	رویدادها
چند میلیون تا چند ده میلیون سال	رده اول	مجموعه نوریدایتی	۱) نهشته شدن توسط گسستگی های عمده در رسوب گذاری (ناپوستگی ها) تحت تاثیر فرار می گردد. ۲) توسط تغییرات طولانی مدت سطح آب و فعالیت زمین ساحتی ایجاد می شود.
چند صد هزار سال	رده دوم	سیستم نوریدایتی	تغییرات کوتاه مدت سطح آب و فعالیت زمین ساحتی سبب ایجاد تغییرات در رسوب گذاری (بدون گسستگی مهم) می شود.
چند ده هزار سال	رده سوم	اشکوب نوریدایتی	
چند هزار سال	رده چهارم	مجموعه رخساره نوریدایتی و اجزای زیر-اشکوب	تغییرات یا تکرار زیاد در فرایند های رسوبی و فرسایشی
ویژگی های تقریباً لحظه ای	رده پنجم	لایه ها و ویژگی های آن ها	فرسایش و رسوب گذاری کوچک-مقیاس عادی

شکل ۵. طبقه بندی مفهومی برای نهشته های توریدایتی. الف) رده بندی واحدها بر مبنای مقیاس فیزیکی (کاهش اندازه به سمت راست به ترتیب از مجموعه توریدایتی^۱، سیستم توریدایتی^۲، اشکوب توریدایتی^۳ و زیر-اشکوب توریدایتی^۴ می باشد) (بوما، ۲۰۰۰). ب) طبقه بندی در یک چارچوب زمانی (ماتی، ۱۹۹۲).

است. شکل هندسی^۷ هر طبقه توریدایت آهکی معمولاً به شکل توده عدسی^۸ می باشد. بخش های تحتانی دانه درشت تر، بیشترین ضخامت بالادست جریان^۹ و بخش های دانه ریز فوقانی، بیشترین ضخامت پایین دست جریان را نشان می دهند. بخش های دانه درشت معمولاً دارای موجودات کفزی به دو صورت ماکروفسیل و میکرو فسیل هستند.

نواحی منشا توریدایت های آهکی، محیط های آبی کم ژرفا (پلت فرم ها، حواشی پلت فرم، ریف ها و سکوها^۵) و محیط های شیب می باشد. طول طبقات توریدایت های آهکی از چندین ده متر تا چندین کیلومتر و ضخامت آنها از حدود ۱ سانتی متر تا چندین متر می رسد (فلوگل، ۲۰۱۰). ادغام و قرارگیری^۶ طبقات ضخیم توریدایت های آهکی بر روی یکدیگر پدیده ای معمول

¹ Turbidite complex

² Turbidite system

³ Turbidite stage

⁴ Turbidite sub-stage

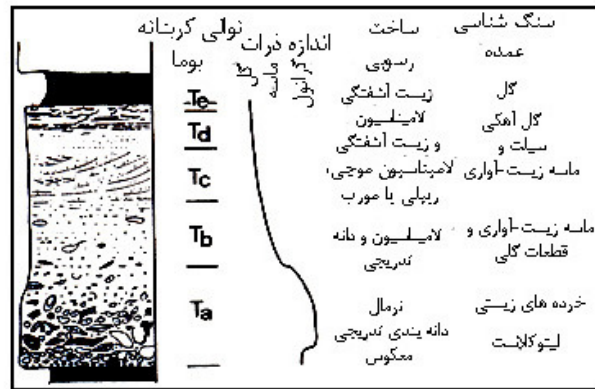
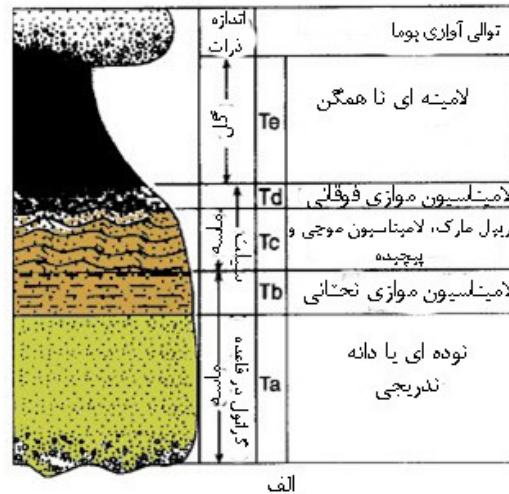
⁵ Banks

⁶ Amalgamation

⁷ Geometry

⁸ Lenticular body

⁹ Upstream



شکل ۶. الف) توالی ایده آل آواری بوما (شان موگام، ۱۹۹۷). لامیناسیون موازی، ساخت توده‌ای، دانه‌بندی تدریجی، ریپل مارک و لامیناسیون موجی و پیچیده در ۵ بخش توالی بوما مشاهده می‌شود. ب) رخساره توربیدیتی آهکی ایده آل که توالی کامل بوما را نشان می‌دهد (ابری، ۱۹۸۷). جورشدگی ضعیف و دانه‌بندی تدریجی معکوس در نتیجه تاثیر چگالی متفاوت بین قطعات سنگی و خرده‌های زیستی بوجود می‌آید.

جدول ۳. شاخص‌های شناسایی توالی‌های توربیدیتی آهکی (براملی، ۱۹۹۰؛ فلوگل، ۲۰۱۰؛ بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۰).

وجود کالک‌آرنایت، کلسی‌رودایت یا کلسی‌سیلنایت دانه‌تدریجی	تناوب سنگ‌آهک‌های نابرجای نازک-ضخیم‌لایه با کربنات‌های میکریتی، مارل و رسوبات آرزلیکی
سطح تحتانی مشخص گاهی با علائم سطح زیرین لایه (نظیر گرو و فلوت‌کست و آثار فرسایشی)	توالی قائم متشکل از واحدهای رسوبی همراه با ساخت‌های رسوبی خاص (توالی مایسختن)
توالی بوما	طبقه‌بندی مورب و لامیناسیون پیچیده به صورت کمیاب
وجود اینتراکست، پلویید، ایید، قطعات سنگی، دانه‌های اسکلتی و گاهی اوقات اکستراکست	قطعات سنگی در اندازه سیلت تا بولدر و دانه‌های اسکلتی در اندازه سیلت تا ماسه درشت
کاهش اندازه ذرات همراه با کاهش ضخامت لایه‌ها	جورشدگی خوب در بخش دانه‌درشت و جورشدگی متوسط-خوب در بخش لامینه‌ای
تمرکز قطعات سنگی در بخش تحتانی و پراکندگی قطعات زیستی در بخش فوقانی	وجود دانه‌های اسکلتی شامل موجودات کفزی منشا یافته از محیط‌های شیب و دریایی کم‌ژرفا، خرده‌هایی از موجودات ریف‌ساز و برخی فسیل‌های پلانکتونیک
ریپل مارک و دانه‌بندی تدریجی	ایکتو رخساره زئوفیکوس ^۱ (آثار تغذیه‌ای کندریتس و زئوفیکوس به صورت پراکنده)
آثار فرار	جایگاه شلف
زوج لامینه‌های ریز و درشت‌دانه (تناوب پکستون با وکستون-مادستون)	فراوانی کربنات‌های اسکلتی
صف‌بندی موازی دانه‌های اسکلتی در رخساره‌های پکستون	فراوانی آثار فسیلی سکناپی (نظیر آرنی کولیتس و تالاسینوتیدس)

¹ Zoophycos ichnofacies

۸-۲-۱- توالی مایسخر

در توربیدیت‌های آهکی، ترکیب و توالی داخلی^۱ (شکل ۷) توسط مقدار مواد انتقال یافته، مسافت از ناحیه منشا، نرخ تجمع و رسوب‌گذاری پس‌زمینه^۲ مشخص می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). زون Ia و Ib توالی مایسخر معادل بخش A توالی بوما، زون Ic معادل بخش B ، زون 2 معادل بخش C و زون 3 معادل بخش D توالی بوما هستند. بخش گلی E توالی بوما (گل‌های پلاژیک (توربیدیتی) و همی‌پلاژیک) در توالی مایسخر وجود ندارد. این دو مدل با یکدیگر تفاوت‌ها و شباهت‌هایی دارند. در مقایسه با توالی بوما، زون 1 توالی مایسخر دانه‌درشت‌تر (روایتی) است. دانه‌بندی تدریجی معکوس در قاعده زون 1 بیش‌تر از بخش A توالی بوما مشاهده می‌شود. در زون 2 توالی مایسخر، لامیناسیون‌های موازی تحتانی و فوقانی، لامیناسیون ریپلی و پیچیده توالی بوما کم‌تر توسعه یافته است (فلوگل، ۲۰۱۰). زون (پیش- فاز^۳) توالی مایسخر توسط میکرایت‌ها یا سنگ‌آهک‌های رسی با قطعات سنگی کوچک پراکنده و خرده‌سنگ‌های نسبتاً بزرگ مشخص می‌شود.

منشا این بخش از توالی بحث‌برانگیز است. انحلال و دوباره نهشته‌شدن کربنات‌ها می‌تواند در تشکیل آن با اهمیت باشد. مرز آن با زون پلاژیک زیرین مشخص است. سطح فوقانی این بخش ممکن است موجی و نامنظم باشد (فلوگل، ۲۰۱۰). فاز اصلی^۴ این توالی (زون‌های 1 تا 3) عبارتند از: زون 1 دارای سه بخش Ia با سنگ‌آهک‌های دانه‌تدریجی با فسیل‌های آب کم‌ژرفا، قطعات سنگی، دانه‌بندی تدریجی معکوس، جهت‌یافتگی فلسی^۵ احتمالی دانه‌ها و افزایش جورشدگی به سمت بالا؛ بخش Ib با میکرایت‌های دانه‌ریز؛ بخش Ic دارای لامیناسیون ضعیف، قطعات سنگ‌آهکی زاویه‌دار و پیل‌های میکرایتی؛ زون 2 از میکرایت‌های با سطوح طبقه‌بندی مسطح با لامیناسیون‌های متراکم ($2a$)؛ میکرایت با لامیناسیون ریپلی جربانی و گاهی با لایه‌بندی پیچیده ($2b$)؛ زون 3 از مارل با بافت فلاسر تشکیل شده است (فلوگل، ۲۰۱۰). زون 3 به تدریج به رسوبات پلاژیک فوقانی تبدیل می‌شود. ضخامت طبقات

در حدود 1 متر است. توربیدیت‌های آهکی (توربیدیت‌ها) به دو گروه توربیدیت‌های نزدیک به منشا و دور از منشا^۶ طبقه‌بندی می‌شوند. توربیدیت‌های نزدیک به منشا نسبتاً نزدیک به ناحیه منشا نهشته می‌شوند و دارای دانه‌بندی تدریجی نسبتاً ضعیف، ساخت‌های فرسایشی کم‌توسعه یافته و مقادیر کمی میان‌لایه‌های رسوبات پلاژیک هستند. در مقابل، توربیدیت‌های دور از منشا دارای لایه‌های نازک و دانه‌ریز با دانه‌بندی تدریجی، لامیناسیون‌های مورب توسعه‌یافته و لامیناسیون‌های موازی و فاقد رسوبات توده‌ای هستند (فلوگل، ۲۰۱۰). برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های توربیدیت‌های آهکی نزدیک و دور از منشا در جدول ۴ ارائه شده است. به طور ایده‌آل، شاخص‌های نزدیکی به منشا^۷ برای توالی‌های توربیدیتی تک‌منشا (ایجاد شده توسط جریان‌های صفحه‌ای طولی) کاربرد دارد. در مخروط‌های توربیدیتی، بخش‌های نزدیک و دور از منشا می‌توانند در کنار یکدیگر باشند. پیچ و خم داشتن (مئاندری بودن) جریان‌های توربیدیتی، می‌تواند انحراف‌های قوی از الگوی عمومی نزدیک به منشا- دور از منشا ایجاد کند. برخی از این انحراف‌ها توسط تفاوت‌ها در رسوب‌گذاری در حوضه‌های ژرف و بزرگ در مقابل حوضه‌های کوچک و کم‌ژرفا، منشا‌های نقطه‌ای یا خطی و تفاوت رفتاری سقوط قطعات کربنات‌ها ایجاد می‌شود (فلوگل، ۲۰۱۰). لازم به ذکر است که توربیدیت‌های آهکی با منشا آب ژرف^۸ دارای مشابهت‌ها و تفاوت‌های چشم‌گیری نسبت به انواع کم‌ژرفا هستند. تفاوت‌ها شامل ساخت‌های داخلی توالی و تفاوت‌های بیش‌تر در انواع فسیل‌ها می‌باشد (کنیگلیو و دیکس، ۱۹۹۲). به عنوان مثال، توربیدیت‌های آهکی کربنوتیدی توسط فراوانی لامیناسیون‌های افقی، کمبود بخش‌های دانه‌تدریجی، فقدان بخش دانه‌ریز فوقانی و مرز مشخص با شیل‌های فوقانی خویش مشخص می‌شود. هم‌چنین، توربیدیت‌های آهکی آب ژرف می‌تواند از انتقال رسوبات پلاژیک نهشته‌شده در بخش‌های فوقانی یا یال‌های برجستگی‌های بستر دریا^۹ به فرو افتادگی‌های (گودال‌های) درون حوضه‌ای^{۱۰} منشا گیرد.

⁶ Distal and proximal turbidites⁷ Proximity indicators⁸ Deep-water source calciturbidites⁹ Sea-floor relief¹⁰ Intrabasin depressions¹ Internal sequence² Intensity of background sedimentation³ Pre-phase⁴ Main phase⁵ Imbrication

جدول ۴. شاخص‌های‌های توربیدایت‌های آهکی نزدیک و دور از منشا (فلوگل، ۲۰۱۰). پارامترهای میانگین بیشینه اندازه ذرات (کاهش در جهت پایین‌دست جریان)، شاخص‌های ABC (شروع نیمی از طبقات با بخش A و نیمی از طبقات با بخش B) و نسبت ضخامت بخش A با میانگین بیشینه اندازه ذرات مورد استفاده قرار گرفته است. هم‌چنین، منحنی‌های دانه‌بندی و نزدیکی به منشا تفاوت‌هایی در اندازه بیشینه ذرات در نتیجه موقعیت‌های قائم‌گوناگون طبقات توربیدایتی نشان می‌دهند که جهت تمایز این طبقات مورد استفاده قرار گرفته است.

ویژگی‌های صحرایی	نزدیک به منشا	دور از منشا
توزیع طبقات توربیدایتی	متراکم، جداشده یا بر روی یکدیگر قرار گرفته، رسوب‌گذاری محدود پس‌زمینه	پراکنده، جداشده رسوب‌گذاری بالای پس‌زمینه
نسبت توربیدایت‌ها به نهشته‌های پلاژیک	زیاد	کم
شکل هندسی توربیدایت‌ها	طبقات عدسی با ضخامت گوناگون، متوسط تا ضخیم‌لایه	منظم، طبقات موازی مسطح، نازک‌لایه (نازک‌تر از چند ده سانتی‌متر)
ساخت‌های رسوبی مرتبط	ساخت‌های ریزشی، برشی شدن	برشی شدن به صورت نادر
قاعده طبقات توربیدایتی	مشخص، گاهی حفرشده، آثار تول، پبل‌های با جابجایی مجدد، گاهی فرسایشی، آثار شسته شده	مشخص
بخش فوقانی طبقات توربیدایتی	تدریجی	مشخص و تدریجی
توالی داخلی		
توالی نسبتاً کامل بوما/مایسخر	نسبتاً معمول	کمیاب
بخش دانه‌بندی؟ تدریجی (زون Ia)	خوب توسعه‌یافته، ضخیم	کاهش در ضخامت
دانه‌بندی تدریجی	خوب دانه‌بندی تدریجی تا فقدان دانه‌بندی تدریجی	معمولاً دارای دانه‌بندی تدریجی
دانه‌بندی تدریجی معکوس	معمول	غایب
دانه‌بندی تدریجی بخش دنباله دانه‌درشت ^۱	معمول	غایب
قاعده بخش آواری تحتانی	عموماً مشخص	مشخص
بالای بخش آواری تحتانی	غالباً مشخص	تبدیل‌شدگی به رسوبات دانه‌ریز
لامیناسیون (زون Ic و $2a$)	کم‌تر معمول، اغلب محدود به طبقات ضخیم‌تر می‌شود	بیش‌تر معمول است
لامیناسیون ریبلی و پیچیده	محدود به طبقات ضخیم‌تر (زون $2b$)	کم‌تر معمول تا غایب
بخش‌های فوقانی میکرایتی طبقات توربیدایتی	نازک یا غایب	خوب توسعه‌یافته
پایین‌ترین واحدهای طبقات توربیدایتی	زون Ia (بخش A)	زون Ib یا زون Ic
اندازه ذرات		
میانگین اندازه ذرات	گراول و ماسه	ماسه و کوچک‌تر
تغییر چشم‌گیر قائم در اندازه ذرات غالب	معمول	غایب
زمینه		
زمینه بین دانه‌ها در بخش‌های آواری توربیدایت	کلسیت اسپاری	میکرایت
نسبت توربیدایت‌ها به رسوبات پلاژیک	زیاد	کم
ریز رخساره‌ها		
قطعات سنگی	قطعات سنگی، اکستراکلت‌ها، فسیل‌ها، ائیدها، پلویدها	قطعات سنگی، فسیل‌ها، ائیدها، پلویدها
فسیل‌ها	فسیل‌های کفزی آب کم‌ژرفا منتج‌شده از پلت‌فرم‌ها و حاشیه پلت‌فرم، فسیل‌های منتج‌شده از محیط شیب، فسیل‌های پلاژیک کمیاب	فسیل‌های کفزی پلت‌فرم، محیط شیب، فسیل‌های برجای آب ژرف
قطعات سنگی موجود در ریزرخساره‌ها	متغیر تا بسیار متغیر	نسبتاً یکنواخت

¹ Coarse-tail grading



شکل ۷. توالی مایسخرنر که توصیف‌کننده توالی توربیدایتی آهکی ایده‌آل است (فلوگل، ۲۰۱۰).

۸-۳- توربیدایت‌های دانه‌ریز و دانه‌درشت

سیستم‌های توربیدایتی غنی از گل-دانه‌ریز^۱ در درجه اول در حوضه‌های با ورودی رودخانه‌ای بزرگ ایجاد می‌شوند (استلینگ و همکاران، ۲۰۰۰). مدل‌های رسوبی منتج‌شده از سیستم‌های توربیدایتی غنی از ماسه به سبب ایجاد الگوهای متفاوت توزیع رسوبات در نتیجه حجم زیاد گل در سیستم‌های توربیدایتی دانه‌ریز، ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی و ساختار داخلی در مقیاس‌های لایه تا توالی برای توربیدایت‌های دانه‌ریز غنی از گل مناسب نمی‌باشد. شناخت سیستم‌های توربیدایتی دانه‌ریز احتیاج به تعدادی از مراحل و درجات تجزیه و تحلیل (مشابه دامنه‌ای از اطلاعات که در صنایع نفت کاربرد دارد) دارد. این اطلاعات شامل داده‌های دو و سه بعدی لرزه‌ای^۲، مغزه‌ها و نمودارهای چاه‌پیمایی^۳ است (استلینگ و همکاران، ۲۰۰۰).

پژوهش‌ها بر روی سیستم‌های توربیدایتی (مخروط‌های زیردریایی) عمدتاً برای اکتشاف منابع عظیم هیدروکربنی در سیستم‌های توربیدایتی دانه‌ریز در جایگاه‌های حاشیه غیرفعال^۴ در سراسر دنیا انجام شده است (نظیر برزیل، خلیج مکزیک، باختر آفریقا، دریای شمال) (استلینگ و همکاران، ۲۰۰۰). جهت دستیابی به این‌گونه اکتشافات نیاز به بررسی فرایندهای انتقال رسوبات، الگوهای توزیع رسوبات، فرایندهای ایجاد مخروط و شناسایی ساختار

مخزن در سیستم‌های توربیدایتی دانه‌ریز می‌باشد. این بررسی‌ها با ۱- بررسی مجدد توالی‌های رخنمون‌یافته متعدد با تکیه بر مفاهیم چینه‌نگاری سکانشی و عناصر ساختاری مخزن، ۲- انجام مطالعات تجربی (نظیر فلوگ^۵؛ این روش سعی در شبیه‌سازی شرایط طبیعی آلوویال دارد. تعداد زیادی از متغیرهای مربوطه احتمالی معمولاً محدود به ویژگی‌های رسوبات (اندازه ذرات، توزیع اندازه ذرات، شکل ذرات، چگالی، نرخ انتقال رسوبات، تخلیه آب، سرعت میانگین، ژرفای آب، شیب لایه و خشونت بستر) می‌شود (ویلیامز، ۱۹۶۷)) و مدل‌سازی عددی جهت بررسی انتقال جریان گرانشی رسوبی و فرایندهای رسوبی، ۳- ترکیب مطالعات زمین‌شناسی- ژئوفیزیکی- مهندسی جهت تعریف یکپارچه و تعیین مشخصه‌های توده‌های ماسه‌ای زیرسطحی انجام می‌شود (بوما، ۲۰۰۰). این مطالعات، بسیاری از تناقض‌ها را پاسخ می‌دهد و تفاوت‌های اساسی موجود در رسوبات آب ژرف، خصوصاً اجزای در اندازه ماسه نهشته شده در سیستم‌های توربیدایتی دانه‌ریز غنی از گل در مقایسه با سیستم‌های توربیدایتی غنی از ماسه دانه‌درشت را شرح می‌دهد.

در جدول ۵، طبقه‌بندی سیستم‌های توربیدایتی آب ژرف (سیستم‌های توربیدایتی دانه‌ریز و دانه‌درشت) بر اساس اندازه ذرات و نوع سیستم تغذیه‌کننده آن ارائه شده است. ویژگی‌های اصلی سیستم‌های توربیدایتی دانه‌درشت و دانه‌ریز در جدول ۶ ذکر شده است.

¹ Fine-grained, mud-rich turbidite systems

² 2-D and 3-D seismic

³ Well logs

⁴ Passive margin settings

⁵ Flume

جدول ۵. طبقه‌بندی سیستم‌های توربیدیتی دیرینه و جدید بر مبنای اندازه ذرات و سیستم تغذیه‌کننده (ریدینگ و ریچاردس، ۱۹۹۴؛ استلتینگ و همکاران، ۲۰۰۰). اعداد ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب از دولتی (۲۰۱۰)، برگ و همکاران (۲۰۱۲)، محمدی (۲۰۱۶) و بهبهانی و همکاران (۱۳۹۰) ارائه شده است.

سیستم‌های غنی از گراول	سیستم‌های غنی از ماسه	سیستم‌های غنی از گل-ماسه	سیستم‌های غنی از گل	سیستم تغذیه‌کننده
سیستم‌های جدید: خلیج خرس، خلیج کوریت. سیستم دیرینه: کپ-انرج.	سیستم‌های جدید: آوون، کالابار، ناوی. سیستم‌های دیرینه: آنوت، بالدر، ماگنوس، میلر.	سیستم‌های جدید: لاجولا، دلگادا، ناوی. سیستم‌های دیرینه: فرلو، لاگا، ماسینگو، استیونس، تانکا، مکران ^۱ ، مکران داخلی ^۲ ، زون درز سیستم ^۳ .	سیستم‌های جدید: آمازون، آلتوریا، بنگال، می‌سی‌سی‌پی، نیل، موزامبیک و شمال باختری آفریقا. سیستم دیرینه: گروه جک‌فورک.	مخروط زیردریایی (منشا نقطه‌ای)
سیستم دیرینه: بلانکا.	سیستم‌های دیرینه: تای، ماتیلیجا، کمپوس.	سیستم‌های جدید: ابرو، ساحل ناتال، سن‌لوکاس. سیستم‌های دیرینه: بوتانو، اورست، گوترو، پایده ^۴ .	سیستم‌های جدید: ویلمینگتون، نیتینات. سیستم‌های دیرینه: کاتسیکل، هاریلو، فورس.	رمپ (منشا چندگانه)
سیستم‌های دیرینه: هلمسدال، مارامیبو	سیستم دیرینه: تونکاو	سیستم‌های دیرینه: آلبا، هارلیو	سیستم‌های جدید: برآمدگی‌های نوا-اسکوتیا، جنوب باختری و شمال باختری آفریقا. سیستم دیرینه: مجمع‌الجزایر گال	پیشانی شیب (منشا خطی)

جدول ۶. تفاوت‌های کلی و نسبی بین سیستم‌های توربیدیتی غنی از ماسه دانه‌درشت و غنی از گل دانه‌ریز (بوما، ۲۰۰۰).

سیستم‌های غنی از گل دانه‌ریز	سیستم‌های غنی از ماسه دانه‌درشت	انواع عوامل کنترل‌کننده
کم	زیاد	تأثیر زمین‌ساخت بر حوضه مکان حوضه دریافت‌کننده اندازه حوضه
عموما در پوسته اقیانوسی	عموما در پوسته قاره‌ای	
اغلب متوسط تا بسیار بزرگ	اغلب متوسط تا کوچک	
طویل	نسبتا کوتاه	طول انتقال قاره‌ای
پهن و مسطح	باریک: کوهستانی	پهنا و نوع دشت ساحلی
به طور عادی پهن	به طور عادی باریک	پهنای شلف
بزرگ	متوسط تا کوچک	حجم رسوبات ورودی
نسبتا کم	زیاد	نسبت ماسه/رس رسوبات ورودی
ماسه ریز و کوچک‌تر	ماسه متوسط و بزرگ‌تر	عمده اندازه ذرات ورودی
موثر	بدون تأثیر	انواع انتقال حوضه‌ای
سیستم عبوری ^۱	سیستم پیش‌رونده	نوع سیستم رسوبی
معمولا متوسط تا بزرگ	معمولا کوچک	اندازه جریان‌های گرانشی
متوسط تا ضخیم	نازک	ضخامت شیل بین سیستم‌های توربیدیتی
کم تا متوسط	زیاد	نسبت ماسه/شیل مجموعه توربیدیتی
زیاد	زیاد	نسبت ماسه/شیل سیستم‌های توربیدیتی جداگانه
عالی	کم تا خوب	تمایل برای ریزش‌های عمده
خوب	کم	پایداری کانال‌های عمده
بزرگ	متوسط تا کوچک	اندازه کانال‌های اصلی
یک تا چند	کم	تعداد انشعابات دره‌ای
دلنایی	دره‌ای	نوع سیستم تغذیه‌کننده
خوب	متوسط تا خوب	توسعه خاکریزها
ماسه-گل نازک‌لایه	ماسه‌های لایه‌ای و مقداری سیلت	انواع رسوبات خاکریزها
لامیناسیون موازی، ریپل جریان‌های رورانده	لامیناسیون موازی، ریپل جریان‌های ریپل‌های رورانده	ساخت‌های رسوبی در خاکریزها
گل ماسه‌ای	ماسه، ماسه گلی یا سیلتی	نوع رسوبات مناطق سرریز
ماسه	ماسه	رسوبات اصلی بخش مخروط تحتانی
ضعیف	نسبتا خوب	شانس رخنمون‌یافتن مخروط
زیاد	زیاد	نسبت ماسه/شیل در قاعده شیب
کم	زیاد	نسبت ماسه/شیل در مخروط میانی
زیاد	کم	نسبت ماسه/شیل در مخروط خارجی
غالباً به سوی بخش‌های دور از ساحل	چرخش موازی به ساحل	جهت جریان‌های گرانشی
متوسط تا زیاد	کم تا متوسط	تأثیر نوسانات سطح آب
معمولا گل	غنی از ماسه یا گل	نوع پرشدگی دره

¹ Bypassing system

شوند (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲). این چرخه‌های رسوبی نشان‌دهنده توالی بوما هستند (شکل ۸). همچنین محسنی و همکاران (۱۳۹۲) شواهد رسوبی جریان‌های توربیدیتی سازند امیران در جنوب باختر گستره لرستان را نیز گزارش کردند.

همچنین، سراوانی و همکاران (۱۳۹۶) بر اساس مشاهدات صحرایی و آنالیز ریزرخساره‌ای در برش نمونه سازند پابده (تاق‌دیس کوه گورپی، گستره خوزستان) تاثیر جریان‌های توربیدیتی در ته‌نشست بخشی از سازند پابده در بخش ژرف حوضه رسوبی را تایید نموده‌اند. آن‌ها وجود ساخت رسوبی ریزش و لغزش^۶ (شکل ۹) و آمیختگی فسیل‌های پلانکتونیک و خرده‌های شکسته فسیل‌های کفزی را از ویژگی‌های برجسته این رخساره‌ها معرفی کردند. در ضمن، نقش جریان‌های توربیدیتی در نهشته‌شدن بخشی از سازند کربناته پابده (شمال باختر حوضه زاگرس- گستره ایلام) با توجه به ویژگی‌های رسوبی مشاهده‌شده (واحد‌های توالی بوما- سطوح تحتانی فرسایشی، دانه‌بندی تدریجی نرمال، قطعات مادستون آهکی در ریزرخساره پکستون، آرایش موازی^۷ قطعات فسیلی در ریزرخساره مادستونی و ریپل مارک جریان‌ی) به اثبات رسیده است (شکل ۱۰) (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۰).

محسنی و جوانمرد (۱۳۹۷)، شواهدی از جریان‌های توربیدیتی را در بخشی از سازند سروک (برش‌های تنگ بولک و شاهنخجیر- گستره ملکشاهی در استان ایلام) در محیط رسوبی شیب قاره و حوضه ژرف ارائه دادند. همراهی اجزای فرسایش‌یافته و گردشده با منشاهای متفاوت (مرتبط با مناطق کم‌ژرفا و ژرف) با رسوبات پلاژیک، وجود کانال با لایه‌های روهم‌پوشان^۸، جهت‌یافتگی رسوبات بستر کانال، مرز ناگهانی و فرسایشی با رسوبات زیرین و وجود بخش‌های گوناگون توالی‌های بوما و مایسخرن همگی نشان‌دهنده نهشته‌های توربیدیتی در این سازند می‌باشد (شکل ۱۱).

توربیدیت‌های غنی از ماسه دانه‌درشت معمولاً در حوضه‌های کوچک در پوسته قاره‌ای با مسافت کوتاه انتقال مواد خشکی‌زی^۱، شلف باریک، منشا دره‌ای^۲ و سبک رسوبی پیش‌رونده^۳ بوجود می‌آیند (بوما، ۲۰۰۰). در مقابل، توربیدیت‌های غنی از گل دانه‌ریز در حوضه‌های بزرگ در حاشیه‌های غیر فعال با مسافت زیاد انتقال مواد خشکی‌زی، شلف عریض، منشا دلتایی و دارای انتقال موثر حوضه‌ای در نتیجه عبور^۴ مقدار زیادی از ذرات در اندازه ماسه به بخش خارجی مخروط^۵ یافت می‌شوند (بوما، ۲۰۰۰). همچنین از ترکیب این دو نوع سیستم، سیستم‌های توربیدیتی غنی از ماسه دانه‌ریز در حوضه تگزاس باختری مشاهده شده است (استل‌تینگ و همکاران، ۲۰۰۰). لازم به ذکر است که افزوده شدن مقادیر کمی از رسوبات دانه‌ریز به یک جریان گرانشی غنی از ماسه، تاثیر برجسته‌ای بر افزایش سرعت جریان دارد (گلداستون، ۱۹۹۸). بنابراین، یک پژوهش‌گر بایستی ایده چگونگی استفاده از انواع ترکیبی سیستم‌های توربیدیتی را داشته باشد.

۸-۴- مثال‌هایی از نهشته‌های توربیدیتی در ایران

در بخشی از نهشته‌های آواری میوسن حوضه رسوبی زاگرس (گستره نیریز- برش‌های کوه آسکی و هورگان)، ماسه‌سنگ‌های توده‌ای ورقه‌ای شکل با دانه‌بندی تدریجی عادی با قاعده تخریبی، به سوی بالا ریزشونده، دارای ساختارهای وزنی در قاعده و قطعات گلی در قاعده و درون این ماسه‌سنگ‌ها به رسوبات جریان‌های توربیدیتی نسبت داده شده است (غلامی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی‌های صحرایی در توالی‌های آواری- کربناته سازند امیران (حوضه زاگرس- گستره لرستان) نشان‌دهنده تاثیر جریان‌های توربیدیتی در نهشته‌شدن بخش آواری آن در محیط شیب‌دار و مخروط‌های زیردریایی می‌باشد (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲). وجود چرخه‌های رسوبی ریزشونده عمدتاً با اندازه کم‌تر از ۱ متر از پایین به بالای توالی به ترتیب دارای فلوت‌کست و دانه‌بندی تدریجی در بخش قاعده‌ای (Ta)، لامینه‌های موازی (Tb)، لامینه‌های مورب (Tc) و در انتها به رسوبات گلی (Td) ختم می-

¹ Terrestrial

² Canyon-sourced

³ Progradational depositional style

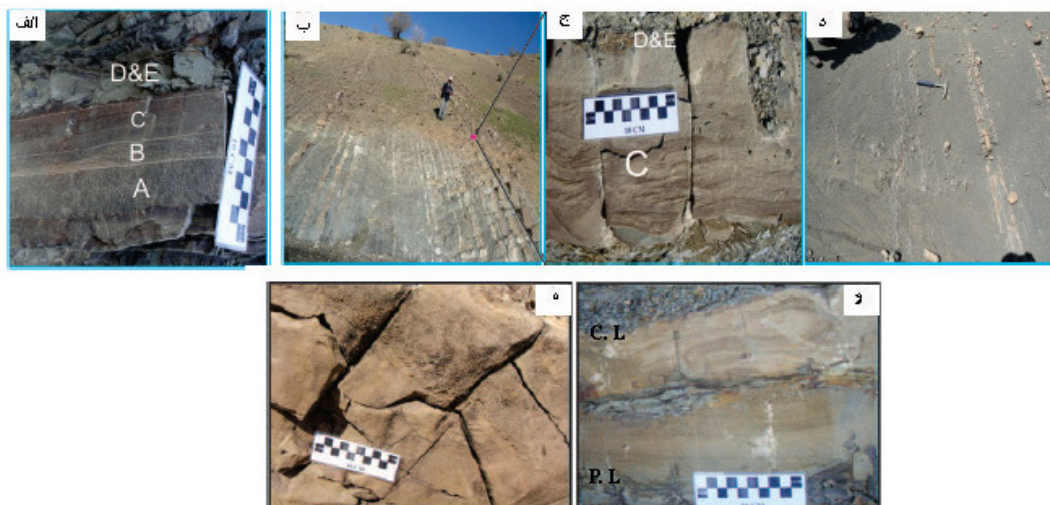
⁴ Bypass

⁵ Outer fan

⁶ Slump

⁷ Parallel alignment

⁸ Onlap



شکل ۸. نهشته‌های توربیدایتی بخش آواری سازند امیران در جنوب باختر گستره لرستان (نصیری و همکاران، ۱۳۹۲). الف) چرخه توالی بوما. ب) وج) توربیدایت‌های متوسط‌لایه همراه با واحدهای Td ، Tc و Te توالی بوما. د) توربیدایت‌های نازک‌لایه با لایه‌های شیلی و سیلتی دانه‌ریز. ه) دانه‌بندی تدریجی در واحد Ta توالی بوما. و) لامینه‌های موازی ($P.L$) و پیچیده ($C.L$) در واحدهای Tb و Tc توالی بوما.



شکل ۹. ساختار ریزش و لغزش در سنگ‌آهک‌های سازند پابده در برش نمونه (سراوانی و همکاران، ۱۳۹۶). به موازی بودن لایه‌ها در بخش فوقانی این واحد ریزشی (سمت چپ تصویر) توجه شود.

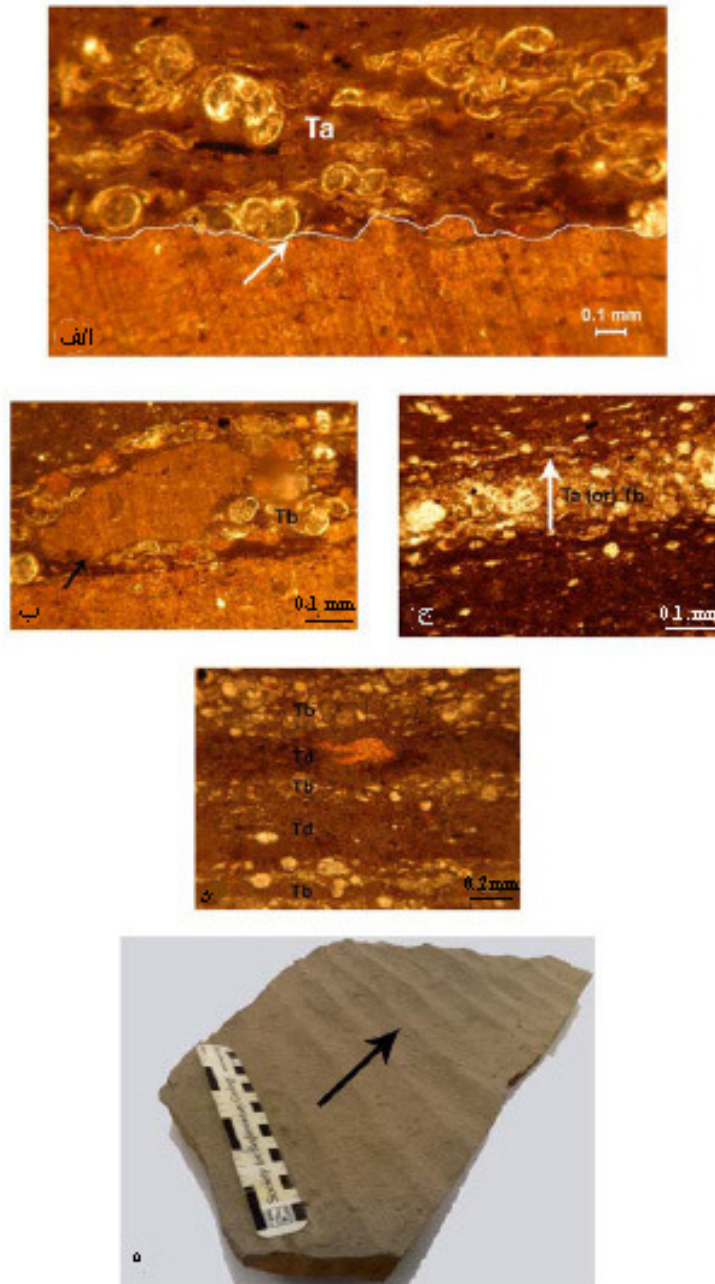
نتیجه‌گیری

درشت‌تر به سوی مناطق با تنش برشی کم‌تر (مناطق در حاشیه جریان) حرکت می‌کنند و ساخت دانه‌بندی تدریجی معکوس را بوجود می‌آورند. این نوع جریان‌ها، معمولاً دارای قطعات بزرگ جدا شده هستند که در بخش فوقانی یا حاشیه جریان حرکت می‌کنند. طبقه‌بندی ساده و مورد پذیرش اکثر پژوهش‌گران برای جریان‌های گرانشی رسوبی بر مبنای نوع جریان و تغییر شکل آن است. جریان‌های توربیدایتی سیال نیوتونی هستند، درحالی‌که جریان‌های خرده‌دار جز این‌گونه سیال‌ها نیستند. جریان‌های خرده‌دار به دو دسته چسبنده (پلاستیک بینگهام غیرنیوتونی) و غیرچسبنده (سیال رقیق‌شده غیر نیوتونی) تقسیم می‌شوند.

در جریان‌های گرانشی رسوبی، انتقال ذرات در نتیجه مقاومت ماتریکس یا نیروی شناوری است. در مقادیر نسبتاً پایین غلظت رسوبات، جریان بدون چسبندگی و با آشفستگی داخلی بوجود می‌آید. لامیناسیون خام با جهت‌یافتگی فلسی قطعات از نتیجه این نوع جریان‌ها است. این جریان‌ها، فرساینده و انواع ساخت‌های حفرشده قاعده‌ای^۱ را بوجود می‌آورند. در مقادیر بالاتر غلظت رسوبات (بیش از ۴۰ درصد) جریان‌های با غلظت بسیار بالا^۲ بوجود می‌آید. تنش برشی بوسیله فشار پراکنده کننده ذرات در جریان انتقال داده می‌شود. ذرات دانه

^۱ Basal scour

^۲ Hyperconcentrated flows



شکل ۱۰. ریزرخساره‌های توربیدایتی آهکی سازند پابده در گستره ایلام (بهبهانی و همکاران، ۱۳۹۰). الف) ریزرخساره پکستون بیوکلاستی با قاعده فرسایشی (علامت پیکان) که نشان‌گر واحد *Ta* توالی بوما است. ب) قطعات مادستون در ریزرخساره پکستون (علامت پیکان) (واحد *Tb* توالی بوما). ج) ساخت دانه‌بندی تدریجی نرمال در ریزرخساره پکستون بیوکلاستی (واحد *Ta* یا *Tb* توالی بوما). د) آرایش موازی قطعات فسیلی در ریزرخساره مادستونی (واحدهای *Td* و *Tb* توالی بوما). ه) ریپل‌مارک جریان. علامت پیکان جهت جریان دیرینه را نشان می‌دهد.

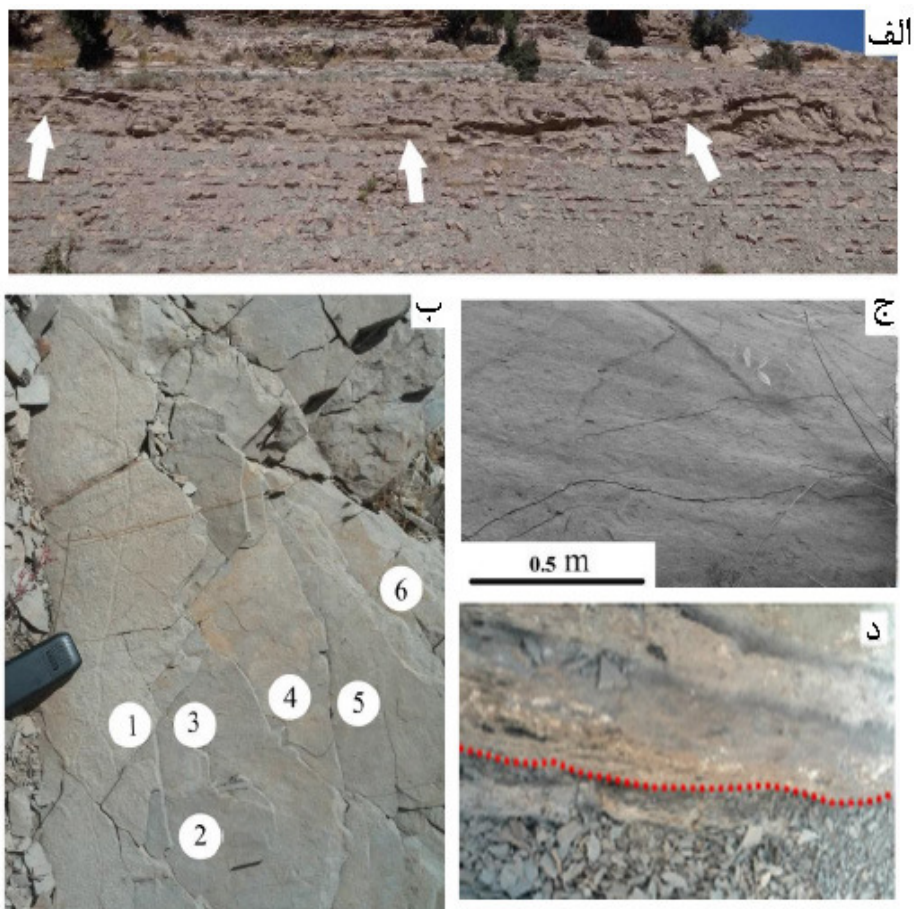
دنسیت نامیده می‌شوند. شناسایی نوع و تغییر شکل جریان از نهشته‌های پیشین به سادگی امکان‌پذیر نیست. با این وجود، برخی عوارض رسوبی تشخیصی برای تمایز بین توربیدایت‌ها، دنسیت‌ها و دبریت‌ها (نهشته‌های خرده‌دار) وجود دارد. به منظور پرهیز از گمراهی، اگر به هر دلیلی امکان تشخیص نوع نهشته‌های جریان‌های

برخی جریان‌های گرانشی رسوبی دارای طبیعت دوگانه هستند. بخش تحتانی آن‌ها از سیال غیرنیوتونی و بخش فوقانی آن‌ها از سیال نیوتونی تشکیل شده‌اند. این نوع از جریان‌ها به عنوان جریان‌های متراکم^۱ و رسوبات آن‌ها

^۱ Dense flows

صحرائی (نظیر نسبت توربیدایت‌ها و نهشته‌های پلاژیک، شکل هندسی توربیدایت‌ها و بخش تحتانی و فوقانی طبقات توربیدایتی)، توالی داخلی (نظیر وجود توالی بوما/مایسخر، وجود دانه‌بندی تدریجی و معکوس و لامیناسیون ریپلی و پیچیده)، اندازه ذرات (میانگین اندازه ذرات) و ریزرخساره‌ها از جمله شاخص‌های مهم تمایز توربیدایت‌های آهکی نزدیک و دور از منشا می‌باشند. هم‌چنین سیستم‌های توربیدایتی دیرینه و جدید بر مبنای اندازه ذرات به سیستم‌های غنی از گل، غنی از گل-ماسه، غنی از ماسه و غنی از گراول و بر اساس سیستم‌های تغذیه‌کننده به انواع خطی، چندگانه و نقطه‌ای طبقه‌بندی می‌شوند.

گرانشی رسوبی امکان‌پذیر نبود از واژه گراویت (رسوبات جریان گرانشی) برای این نوع نهشته‌ها استفاده می‌شود. توالی‌های بوما و مایسخر (واحدهای رسوبی منظم که توسط ساخت‌های رسوبی خاص مشخص می‌شوند)، ساخت‌های رسوبی نظیر دانه‌بندی تدریجی، لامیناسیون و علائم سطح زیرین لایه و وجود فسیل‌های نابرجا از ویژگی‌های تشخیصی مهم نهشته‌های توربیدایتی هستند. تنوع بیش‌تر ذرات، قطعات سنگی فراوان‌تر، فقدان توالی کامل بوما، توزیع بایمدال قطعات به دو صورت قطعات سنگی و خرده‌های فسیلی، فقدان ساخت‌های رسوبی نظیر قالب وزنی و فلوت‌کست در توربیدایت‌های آهکی نسبت به توربیدایت‌های آواری از جمله مهم‌ترین تفاوت‌های این دو نوع توربیدایت می‌باشد. ویژگی‌های



شکل ۱۱. ویژگی‌های نهشته‌های توربیدایتی در سازند سروک در برش تنگ بولک در گستره ایلام (محسنی و جوانمرد، ۱۳۹۷). الف) کانال توربیدایتی. بیکان‌ها قاعده کانال را نشان می‌دهند. ب) لامیناسیون موازی در زون ۲ بخش A توالی توربیدایتی مایسخر. اعداد ۱ تا ۶ شماره لامینه‌ها را نشان می‌دهد. ج) لامیناسیون ریپلی (ریپل‌مارک). د) بستر نامنظم و موجی کانال توربیدایتی.

منابع

- Berra, F (2007) *Sedimentation in shallow to deep water carbonate environments across a sequence boundary: effects of a fill in sea-level on the evolution of a carbonate system (Ladinian-Carnian, eastern Lombardy, Italy)*. *Sedimentology*, 54: 721-735.
- Betzler, C., Brachert, T. C., Kroon, D (1995) *Role of climate in partial drowning of the Queensland plateau carbonate platform (northeastern Australia)*. *Marine Geology*, 123: 11-32.
- Bouma, A. H (1962) *Sedimentology of some flysch deposits: a graphic approach to facies interpretation*, Elsevier, Amsterdam, 168 pp.
- Bouma, A. H (2000) *Fine-grained, mud-rich turbidite systems: model and comparison with coarse-grained, sand-rich systems*. In: Bouma, A. H., Stone, C. G (eds.), *Fine-grained turbidite systems*. AAPG Memoir 72/SEPM Special Publication 68, p. 9-19.
- Bouma, A. H., Normark, W. R., Barnes, N. E (1985) *Submarine fans and related turbidite systems*. Springer-Verlag, New York, 351 pp.
- Bouma, A. H., Stone, (eds.) (2000) *Fine-grained turbidite system*. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir 72*, 342 pp.
- Bromley, R. G (1990) *Trace fossils: biology and taphonomy*. Academic Division of Unwin Hyman Ltd., Boston, 280 pp.
- Burg, J. P., Dolati, A., Bernoulli, D., Smit, J (2012) *Structural style of the Makran Tertiary accretionary complex in SE Iran*. In: Al-Hosani, K., Roue, F., Ellison, R., Lokier, S., (eds.), *Lithosphere dynamics and sedimentary basins: the Arabian Plate and analogues*. Springer-Verlag, Heidelberg, p. 239-259.
- Cantalejo, B., Pickering, K. T (2014) *Climate forcing of fine grained deep-marine system in an active tectonic setting: Middle Eocene, Ainsa Basin, Spanish Pyrenees*. *Palaeo*, 410: 351-371.
- Caviglio, M., Dix, G. R (1992) *Carbonate slopes*. In: Walker, R. G., James, N. P., (eds.), *Facies models: response to sea level change*. Geological Association of Canada, p. 349-374.
- Corella, J. P., Loizeau, J. L., Kremer, K., Hilb, M. and et al (2016) *The role of mass-transport deposits and turbidites in shaping modern lacustrine deepwater channels*, *Marine and Petroleum Geology*, 77: 515-525.
- Dolati, A (2010) *Stratigraphy, structural geology and low-temperature thermochronology across the Makran accretionary wedge in Iran*. PHD thesis, Swiss Institute of Technology, Zurich, 311 pp.
- Dott, R. H (1963) *Dynamics of subaqueous gravity depositional processes*. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 47: 104-128.
- Eberli, G. P (1987) *Calcareous turbidites and their relationship to sea-level fluctuations and*
- بهبهانی، ر.، محسنی، ح.، خدابخش، س.، آتش‌مرد، ز (۱۳۹۰) شواهد رسوبات توفانی و توربیدایتی در سازند پابده، شمال و جنوب باختر حوضه زاگرس. پژوهش‌های چین‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۴۲، ص ۷۳-۹۶.
- سراوانی، س.، گرگیچ، م. ن.، قماش، م.، احمدی، ع (۱۳۹۶) تجزیه و تحلیل ریزرخساره‌ای، محیط‌های رسوبی و چین‌نگاری سکانسی سازند پابده در برش نمونه، زاگرس. پژوهش‌های چین‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۶۹، ص ۶۹-۱۰۴.
- غلامی‌زاده، پ.، آدابی، م. ح.، حسینی‌برزی، م.، صادقی، ع.، قاسمی، م. ر (۱۳۹۵) بازسازی محیط رسوبی نهشته‌های آواری میوسن حوضه رسوبی زاگرس در برش‌های کوه آسکی و هورگان، گستره نیریز، حوضه زاگرس. فصل‌نامه علوم زمین، شماره ۱۰۱، ص ۲۳-۳۴.
- محسنی، ح.، جوانمرد، ر. ا (۱۳۹۷) ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند سروک در برش تنگ بولک و شاهنخجیر، شهرستان ملک‌شاهی (ایلام). پژوهش‌های چین‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۷۱، ص ۴۳-۶۸.
- محسنی، ح.، طولابی، م.، یوسفی‌یگانه، ب.، خدابخش، س (۱۳۹۲) شواهد رسوبی جریان توربیدایتی در سازند امیران در جنوب باختر لرستان. هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید بهشتی، ۹ ص.
- نصیری، ی.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، خزایی، ا. ر.، یوسفی‌یگانه، ب (۱۳۹۲) بازسازی محیط رسوبی رسوبات سیلیسی آواری-کربناته سازند امیران (کرتاسه بالایی-پالئوسن) در جنوب‌باختر لرستان. فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۲۷، ص ۵۵-۷۴.
- Abdi, A., Mahmudi-Gharaie, M. H., Badenas, B (2014) *Internal wave deposits in Jurassic Kermanshah pelagic carbonates and radiolarites (Kermanshah area, West Iran)*. *Sedimentary Geology*, 314: 47-59.
- Allen, P. A (1997) *Earth surface processes*. Blackwell, London, 404 pp.
- Alvarez, M. I. D. P., Alonso, J. L., Fernandez, L. P (2019) *Gravity driven structures and deposits resulting from slope collapse in the margin of a carbonate platform (NW Iberia)*. *Journal of Structural Geology*, 119: 15-32.
- Baas, J. H (2004) *Conditions for formation of massive turbiditic sandstones by primary depositional processes*. *Sedimentary Geology*, 166: 293-310.
- Baas, J. H., Best, J. L (2002) *Turbulence modulation in clay-rich sediment laden flows and some implications for sediment deposition*. *Journal of Sedimentary Research*, 72: 336-340.

- Ito, M (2019) *Lithofacies architecture of gravel-wave deposits: insights into the origins of coarse-grained gravity-flow deposits*. *Sedimentary Geology*, 382: 35-46.
- Kneller, B. C., and Branney, M. J (1995) *Sustained high-density turbidity currents and the deposition of thick massive sands*. *Sedimentology*, 42: 231-258.
- Liu, F., and et al (2015) *Sedimentary characteristics and facies model of gravity flow deposits of Late Triassic Yan-Chang Formation in Southwest in Ordos Basin, NW China*. *Petroleum Exploration and Development*, 42: 633-645.
- Lowe, D. R (1982) *Sediment gravity flows, II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52: 279-297.
- Lowe, D. R., Guy, M (2000) *Slurry-flows deposits in the Britanican Formation (Lower Cretaceous), North Sea: a new perspective on the turbidity current and debris flow problem*. *Sedimentology*, 47: 31-70.
- Miall, A. D (2006) *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology (4th edition)*. Springer, Berlin, 582 pp.
- Middleton, G. V., Hampton, M. A (1973) *Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition*. In: Middleton, G. V., Bouma, A. H., (eds.), *Turbidites and deep water sedimentation. Proceedings of Pacific Section Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Los Angeles, p. 1-38.
- Mohammadi, A., Burg, J. P., Bouilhol, P., Ruh, J (2016) *U-Pb geochronology and geochemistry of Zahedan and Shah-Kuh plutons, southeast Iran: implication for closure South Sistan suture zone*. *Lithos*, 248 (251): 293-308.
- Mohseni, H., Behbahani, R., Khodabakhsh, S., Atashmard, Z (2011) *Depositional environments and trace fossil assemblages in the Pabdeh Formation (Paleogene), Zagros Basin, Iran*. *N. Jb. Geol. Palaont. Abh*, 262: 59-77.
- Mulder, T., Syvitski, J. P. M., Migeon, S., Faugeres, J. C., Savoye, B (2003) *Marine hyperpycnal flows: initiation, behavior and related deposits, a review*. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 861-882.
- Mutti, E (1992) *Turbidite sandstones*. Special Publication, Agip, Milan, 275 pp.
- Mutti, E., Normark, W. R (1991) *An integrated approach to the study of turbidite systems*. In: Weimer, P., Link, M. H., (eds.), *Seismic facies and sedimentary processes of submarine fans and turbidite systems*. Springer-Verlag, New York, p. 75-106.
- tectonism. In: Einsele, G., Ricken, W., Seilacher, A., 1991, (eds.), *Cycles and events in stratigraphy*. Springer-Verlag, Berlin, p. 340-359.
- Everts, A. J. W (1991) *Interpreting compositional variations of calciturbidites in relation to platform stratigraphy: an example from the paleogene of SE Spain*. *Sedimentary Geology*, 71: 231-242.
- Everts, A. J. W., Schalger, W., Reijmer, J. J. G (1999) *Carbonate platform to basin correlation by means of grain composition logs: an example from the Vercors (Cretaceous, SE France)*. *Sedimentology*, 46: 261-278.
- Fan, A., Yang, R., Van-Loon, A. J., Yin, W., Han, Z., Zavala, C (2018) *Classification of gravity-flow deposits and their significance for unconventional petroleum exploration, with a case study from the Triassic Yanchang Formation (China)*. *Journal of Asian Earth Sciences*, 161: 57-73.
- Floquet, M., Hennuy, J (2003) *Evolutionary gravity flow deposits in the Middle Turonian-Early Coniacin Southern Provence Basin (SE France): Origins and depositional processes*. In: Locat, J., Mienert, J. (eds.), *submarine mass movements and their consequences 19*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, p. 417-424.
- Flügel, E (2010) *Microfacies of carbonate rocks: analysis, interpretation and application (2nd edition)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 984 pp.
- Gani, M. R (2003) *Crisis for a general term referring to all types of sediment gravity flow deposits: grevite*. *Geological Society of America, Abstracts with Programs*, 34: 171.
- Gani, M. R (2004) *From turbid to lucid: a straightforward approach to sediment gravity flows and their deposits*. *The Sedimentary Record*, 2: 4-8.
- Gladstone, C., Phillips, J. C., Sparks, R. S. J (1998) *Experiments on bidisperse, constant-volume gravity currents: propagation and sediment deposition*. *Sedimentology*, 45: 833-843.
- Groen, R. D (2008) *Origin of tectonically induced calcite debris flows (Cretaceous, Southern Provence Basin, France)*. (Bachelor thesis) VU University Amsterdam, Amsterdam, 33 pp.
- Hampton, M. A (1975) *Competence of fine-grained debris flows*. *Journal of Sedimentary Petrology*, 45: 834-844.
- Horikawa, K., Ito, M (2009) *Non-uniform across-shelf variations in thickness, grain size, and frequency of turbidites in a transgressive outer-shelf, the Middle Pleistocene Kakinokidai Formation, Boso Peninsula, Japan*. *Sedimentary Geology*, 220: 105-115.

- turbidite lobe (barremian-Aptian, Pas-de-La-Cluse, France), *Sedimentary Geology*, 168: 281-304.
- Shanmugam, G (1996) High-density turbidity currents: are they sandy debris flows? *Journal of Sedimentary Research*, 66: 2-10.
- Shanmugam, G (1997) The bouma sequence and the turbidite mind set. *Earth Science Reviews*, 42: 201-229.
- Shanmugam, G (2012) Bottom-current reworked sands. In: Shanmugam, G., (eds.), *new perspectives on deep-water sandstones: origin, recognition, initiation, and reservoir quality*. Elsevier, Amsterdam, p.129-219.
- Stelting, Ch. E., Bouma, A. H., Stone, Ch. G (2000) Fine-grained turbidite systems: overview. In: Bouma, A. H., Stone, C. G (eds.), *Fine-grained turbidite systems*. AAPG Memoir 72/SEPM Special Publication, 68: 1-8.
- Tinterri, R., Drago, M., Consonni, A., Davoli, G., Mutti, E (2003) Modeling subaqueous bipartite sediment gravity flows on the basis of outcrop constraints: first results. *Marine and Petroleum Geology*, 20: 911-933.
- Tucker, M. E (1994) *Sedimentary Petrology* (2nd edition). Blackwell, 272 pp.
- Williams, G. P (1967) Flume experiments on the transport of a coarse sand: sediment transport in alluvial channels. *Geological Survey Professional Paper 562-B*, United States Government Printing Office, Washington, 31 pp.
- Yang, P., et al (2017) Lithofacies and origin of the Late Triassic muddy gravity-flow deposits in the Ordos Basin, Central China. *Marine and Petroleum Geology*, 85: 194-219.
- Zavala, C., Arcuri, M (2016) Intrabasinal and extrabasinal turbidites: origin and distinctive characteristics. *Sedimentary Geology*, 337: 36-54.
- Nichols, G (2009) *Sedimentology and stratigraphy* (2nd edition). Chichester, UK; Blackwell Science, 432 pp.
- Payros, A., Pujalt, v (2001) Calciclastic submarine fans: an integrated overview. *Earth Science Reviews*, 86: 203-246.
- Pickering, K. T., Corregidor, J (2005) Mass-transport complexes and tectonic control on basin floor submarine fans, Middle Eocene, South Spanish Pyrenees. *Journal of Sedimentary Research*, 75: 761-783.
- Quiquerez, A., Sarih, S., Allemand, P., Garcia, J. P (2013) Fault rate controls on carbonate gravity-flow deposits of the Liassic of central High Atlas (Morocco). *Marine and Petroleum Geology*, 43: 349-369.
- Ragusa, J., Kindler, P (2018) Compositional variations in deep-sea gravity flow deposits. A case study from the Voiron Flysch (France). *Sedimentary Geology*, 377: 111-130.
- Reading, H. G., Richards, M (1994) turbidite systems in deep water basin margins classified by grain size and feeder system. *AAPG Bulletin*, 78: 792-822.
- Reijmer, J. J. G (1998) Compositional variations during phases of progradation and retrogradation of a Triassic carbonate platform (Picco di Vallandro/Durrenstein, Dolomites, Italy). *Geoloische Rundschau*, 87: 436-448.
- Reijmer, J. J. G., Palmieri, P., Groen, R (2012) Compositional variations in calciturbidites and calcidebrites in response to sea level fluctuations (Exuma Sound, Bahamas). *Facies*, 58 (4): 493-507.
- Reijmer, J. J. G., Pamieri, P., Groen, R., Floquet, M (2014) Calciturbidites and calcidebrites: Sea-level variations or tectonic processes?. *Sedimentary Geology*, 317: 53-70.
- Reijmer, J. J. G., Schalger, W., Bosscher, H., Beets, C. J., Mc Neill, D. F (1992) Pliocene/Pleistocene platform facies transition recorded in calciturbidites (Exuma Sound, Bahamas). *Sedimentary Geology*, 78: 171-179.
- Rubert, Y., Jati, M., Loisy, C., Cerepi, A., Foto, G., Muska, K (2012) Sedimentology of resedimented carbonates: facies and geometrical charaterisation of an upper Cretaceous calciturbidite system in Albania. *Sedimentary Geology*, 257 (260): 63-77.
- Sanders, J. E (1965) Primary sedimentary structures formed by turbidity currents and related resedimentation mechanisms, In: Middleton, G. V., (eds.), *Primary sedimentary structures and their hydrodynamic interpretation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 12: 192-219.
- Savary, B., Ferry, S (2004) Geometry and petrophysical parameters of a calcarenitic

Analysis of sediment gravity flows with special view on turbidites

R. Behbahani

Dept., of Geology, Faculty of sciences, Bu Ali-Sina University, Hamedan

* rezabehbahani30@yahoo.com

Recieved: 2019/2/26 Accepted: 2020/1/15

Abstract

Sediment gravity flows are categorized based on combination of five parameters: sediment concentration, sediment-support mechanism, flow state (laminar or turbulent) and rheology (flow type and its deformation). Except for rheology, all of these parameters change gradationally from one member to another. Therefore, rheological classification of sediment gravity flows should be the most straightforward and the least controversial. These flows can be either Newtonian (i.e., turbidity currents), or non-Newtonian (i.e., debris flows). However, identification of flow rheology by examining the deposits may not be easy. Although we may confidently identify some rocks as turbidites and others as debrites, there are some transitional deposits, here called densites. Densites share both the characteristics of turbidites and debrites. Densites are the deposits of dense flows, which are rheologically stratified flows having a composite rheology of Newtonian fluids and non-Newtonian fluids. The term gravite is proposed for deposits of any kind of sediment gravity flow, irrespective of their depositional environment. Nowadays, turbidity currents only for sediment gravity flows with Newtonian rheology. These types of currents with Newtonian rheology, unlike other currents, should produce a diagnostic distribution grading (due to differential grain settling) from the bottom to the top of the deposits (i.e., Bouma sequence). Turbidite systems are classified based on grain size (mud-rich, mud/sand-rich, sand-rich and gravel-rich), sediment composition (calciturbidite and siliciclastic turbidite) and feeder system (submarine fan with point source, ramp with multiple source and slope apron with linear source). Fine-grained, mud-rich turbidite systems mainly occur in basins with a large fluvial input. The calciturbidites and siliciclastic turbidites in Iran can be named Pabdeh and Sarvak Formations (Zagros Basin), terrigenous part of Amiran Formation and Miocene siliciclastic deposits, respectively.

Keywords: Sediment gravity flows, Turbidite, Densite, Debrite, Gravite.