



اصول رسوب گذاری کربنات‌ها

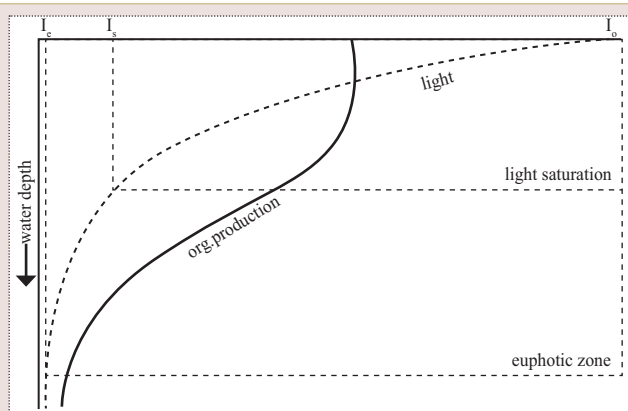
فاطمه مظاهری^۱ دانشجوی دکتری چینه و فسیل‌شناسی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

فهیبه شکرانه^۲ شریکت نفتکارو ژرف

چکیده

این مقاله به اصول رشد ریف‌ها و تولید رسوبات که الگوهای اصلی آناتومی انباشت‌های کربنات‌ها سازند هستند، اشاره دارد. "کربنات‌ها زاینده شده‌اند، نه ساخته شده‌اند"، این عبارت کوتاه بیانگر این حقیقت است که رشد و تولید کربنات‌ها به محیط‌های دریایی که اغلب کنترل‌کنندگان اصلی آن نور، درجه حرارت و مواد مغذی هستند، گره خورده است.

واژه‌های کلیدی | سیستم‌های کربنات‌ها، تجمعات کربنات‌ها، رشد مرجان‌ها، نور، درجه حرارت، مواد غذایی، پتانسیل رشد، نرخ رسوب گذاری



تغییرات شدت نور (I) و تولید ارگانیکی (P) نسبت به تغییر عمق آب

مقدمه

از آن‌جا که بسیاری از مخازن نفت و گاز دنیا، به ویژه بخش عمده‌ای از مخازن ایران در رسوبات کربنات‌ها جای گرفته‌اند، بنابراین بررسی تولید، پراکندگی و رسوب کربنات‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. تولید، پراکندگی و رسوب مواد کربنات‌ها در محیط‌های دریایی از سه قانون کلی پیروی می‌کند. این قوانین عبارتند از:

۱. بیش تر رسوبات کربنات‌ها منشأ آلی دارند.
 ۲. سیستم‌های کربنات‌ها می‌توانند در برابر امواج، ساختمان‌های مقاوم ایجاد نمایند.
 ۳. به دلیل نیمه پایدار بودن مواد تشکیل دهنده، این رسوبات به شدت تحت تأثیر دگرسانی و تغییر شکل دیاژنتیکی هستند.
- نور، درجه حرارت و مواد مغذی، عوامل مؤثر بر رسوب مواد کربنات‌ها می‌باشند. در مقاله حاضر به این عوامل پرداخته شده است.

۱. عوامل مؤثر بر رسوب مواد کربنات‌ها

۱-۱. نور

میزان نور با افزایش عمق آب کاهش می‌یابد. رشد بافت آلی و تثبیت کربنات‌ها با هم در ارتباط بوده و عملکردی تقریباً مماس دارند. با از بین رفتن نور، میزان رشد بسیار محدود می‌گردد. همان‌طور که گفته شد، با افزایش عمق آب میزان نور کاهشی سریع و ساده دارد. رابطه منحنی تولید مواد آلی با شدت نور را می‌توان از طریق عملکرد یک تابع تنازانت هذلولی نشان داد. در این تابع، کاهش سریع رشد ارگانیکی با عمق آب قابل توجه است (شکل ۱).

بررسی رشد مرجان‌ها در برابر عمق آب نشان می‌دهد که رشد آن‌ها با کاهش یا افزایش عمق آب در ارتباط است. حداکثر میزان رشد ارگانیکی در زون کم عمق پر نور (بیش تر در اعماق ۱۰ تا ۲۰ متری) دیده می‌شود، اما با افزایش عمق آب و کاهش میزان نور، رشد مرجان‌ها نیز کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند به دلیل کم شدن فتوسنتز و در مواردی به دلیل وجود شرایط

نامساعد برای رشد جلبک‌های زوکسانتاله^۳ که با مرجان‌ها هم زیست هستند، باشد؛ زیرا حضور این جلبک‌ها به نور زیاد وابسته است. برای اثبات این موضوع در شکل ۲، نرخ رشد اندازه‌گیری شده مرجان ریفی کاریبین^۴، جنس *Montastrea annularis* در اعماق مختلف نشان داده شده است. زیست‌شناسان، زون یوفوتیک^۵ را سطح تولید اکسیژن (از طریق فتوسنتز) و مصرف آن (به دلیل تنفس) که با هم متناسب هستند، در نظر می‌گیرند. اما زمین‌شناسان همه محیط‌هایی را که دارای رشد فراوان موجودات فتوسنتزکننده از قبیل جلبک سبز یا مرجان‌ها هستند، به عنوان منطقه یوفوتیک می‌شناسند. در عرض‌های جغرافیایی پایین، محیط‌های کربنات‌ها قاعده زون یوفوتیک معمولاً در اعماق ۵۰ تا ۱۲۰ متری قرار گرفته‌اند.

¹ Fmazaheri54@yahoo.com

² fahimeh.shokraneh@gmail.com

³ Zooxanthellate

⁴ Caribbean

⁵ Euphotic



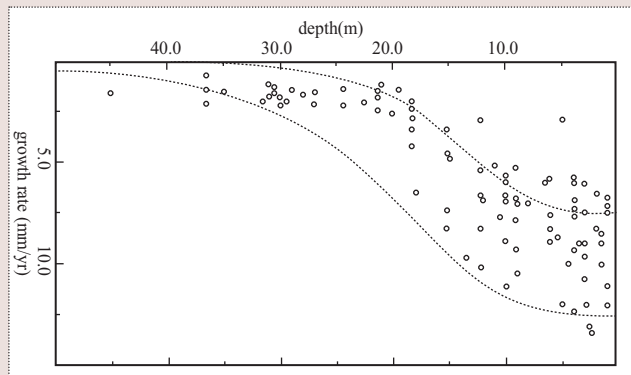
مهمی بر زون بندی جهانی دارد. بر اساس این زون بندی، انباشته های رسوبی در عرض های جغرافیایی خاص قرار دارند.

رشد مرجان ها به تغییر زاویه تابش خورشید ارتباط نداشته ولی با درجه حرارت آب، رابطه خطی دارد؛ به طوری که با افزایش دما، رشد آن ها نیز بیش تر می شود (شکل ۴). لازم به ذکر است که اگر درجه حرارت از حد بیش تری فراتر رود، میزان تولید کربنات کاهش می یابد. بیش ترین توسعه ریف ها در عرض های جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی و جنوبی است (شکل ۵). پراکندگی موجودات به عرض های جغرافیایی وابسته است (شکل ۶a). قابل توجه است که بالاترین میزان رشد مرجان ها و جلبک های سبز مربوط به منطقه استوا و محدود به عرض های جغرافیایی پایین است؛ برعکس با افزایش عرض جغرافیایی، میزان فراوانی بریوزوا افزایش می یابد. فرام ها نیز در همه عرض ها حضور دارند. باید گفت که عرض های ۰ تا ۲۰ درجه را توده های ضخیم مرجان و جلبک اشغال کرده است، اما بعد از این محدوده تا عرض ۳۰ درجه، موجودات دیگر از جمله بریوزوا، بیوستروم ها و ماسه های بیوکلاستیک ظاهر می شوند. سپس مرجان ها ناپدید شده و بریوزوا نیز به همراه جلبک ها و خرده های بیوکلاستیک به صورت لایه لایه حضور می یابند. در این عرض، ریف ها به رشد بهینه خود می رسند (شکل ۶).

محدوده عمق رشد ریف ها در منطقه کاریبین بررسی شده است و برای تعیین زون یوفوتیک در زمین شناسی، از محدوده رشد ریف و جلبک سبز استفاده شده است (شکل ۳).

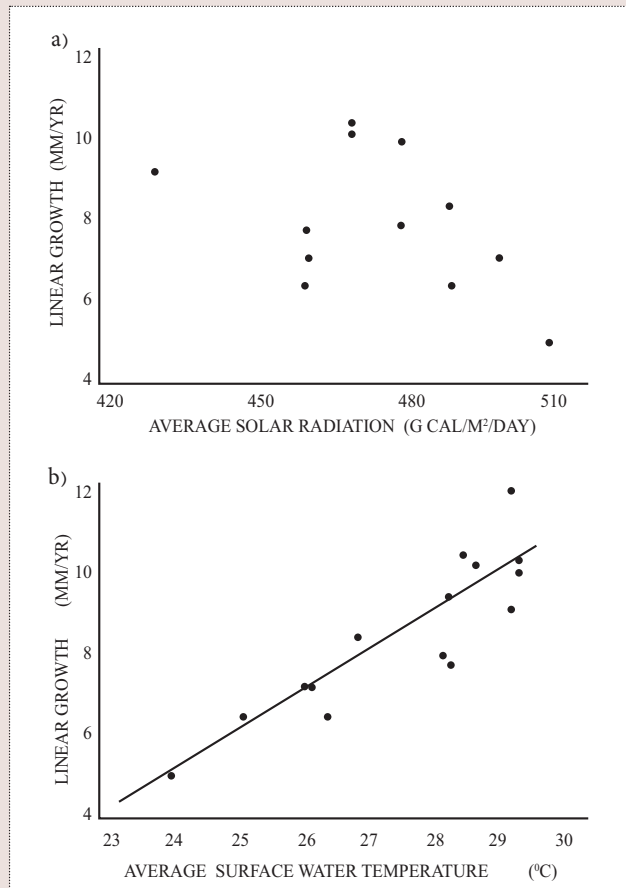
۲-۱. درجه حرارت

دومین عامل اصلی کنترل کننده تولید کربنات ها درجه حرارت است. کربنات ها در محیط های گرم تر بیش تر تولید می شوند. درجه حرارت تأثیر

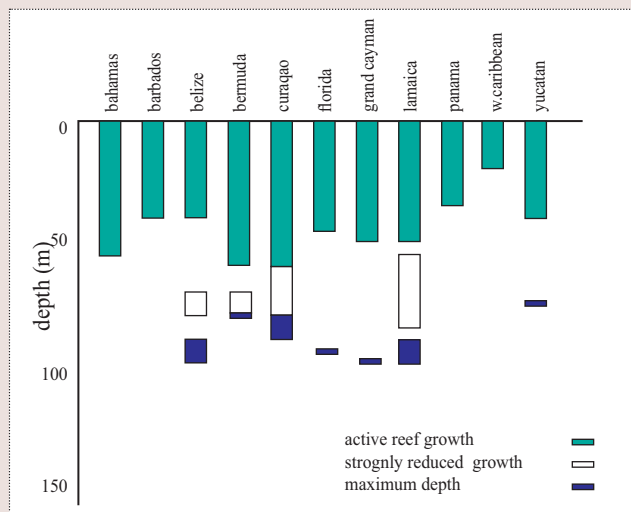


شکل ۳ | مقادیر مشاهده و پیش بینی شده از رشد مرجانی در مقابل عمق

(نقاط نشان داده شده در شکل، بیانگر نرخ رشد اندازه گیری شده مرجان ریفی کاریبین، جنس *Montastrea annularis* بوده و منحنی ها، نرخ رشد پیش بینی شده را نشان می دهند. این پیش بینی به وسیله یک معادله رشد در نور برای مقادیر معمول آب های توربیدیته در کاریبین انجام می شود. اگر به زون اشباع از نور و زون های پایین تر که کاهش رشد را در برابر افزایش عمق نشان می دهند توجه گردد، تطابق خوبی بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده دیده می شود. این موضوع بسیار دلگرم کننده است؛ چراکه بیانگر این است که در زیر زون اشباع، نور کنترل کننده غالب تولید کربنات است و هم چنین معادلات موجود موجه هستند.)



شکل ۴ | (a) رشد مرجان بر حسب تابش خورشید و (b) رشد مرجان بر حسب دمای آب



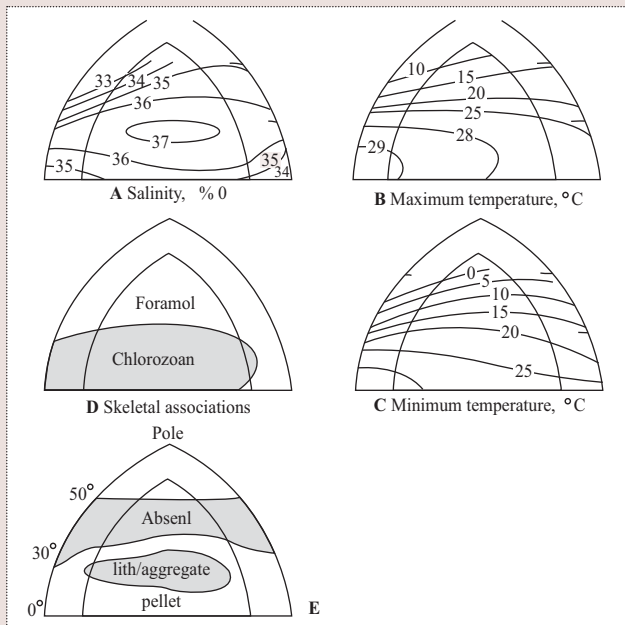
شکل ۳ | محدوده عمقی رشد ریف در کاریبین

(معمولاً برای تعیین زون یوفوتیک در زمین شناسی از محدوده رشد ریف و جلبک سبز استفاده می شود.)



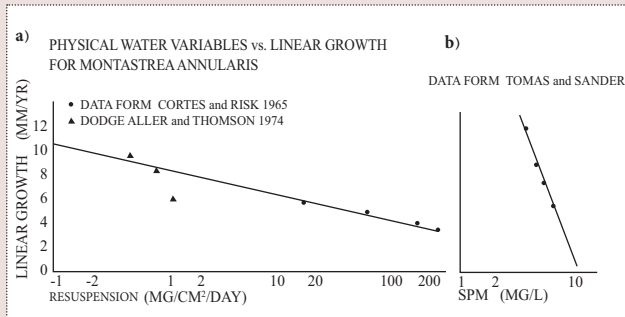
۳-۱. مواد مغذی

برخلاف انتظار عمومی، محیط‌های با مواد مغذی بالا نه تنها به سیستم‌های کربناته کمک نمی‌کنند بلکه رشد مرجان‌ها با افزایش مواد معلق کاهش می‌یابد. این امر به این دلیل است که مواد معلق مانع رسیدن نور به مرجان و در نتیجه مانع انجام عمل فتوسنتز می‌گردند (شکل ۸). اما مطمئناً وجود مواد مغذی به مقدار کم برای رشد تمام ارگانیک‌ها لازم است. اگرچه، اجتماعات کربناته به ویژه ریف‌ها با زندگی در صحرای دریایی تطبیق یافته‌اند؛ به طوری که آن‌ها مواد ارگانیکی خود را از تجزیه نیترات‌ها و فسفات‌های موجود در آب دریا با کمک نور خورشید به دست می‌آورند، بنابراین در تجدید چرخه مواد مغذی تأثیر زیادی دارند. در محیط‌های با مواد مغذی بالا، تولیدکنندگان کربنات‌ها (شامل جلبک‌های فله‌سی، مرجان‌های نرم یا اسفنج‌ها) افزایش یافته و این موجودات باعث نابودی چارچوب ریف می‌شوند.



۷ | مقایسه بین کربنات‌های عرض جغرافیایی معتدل و حاره

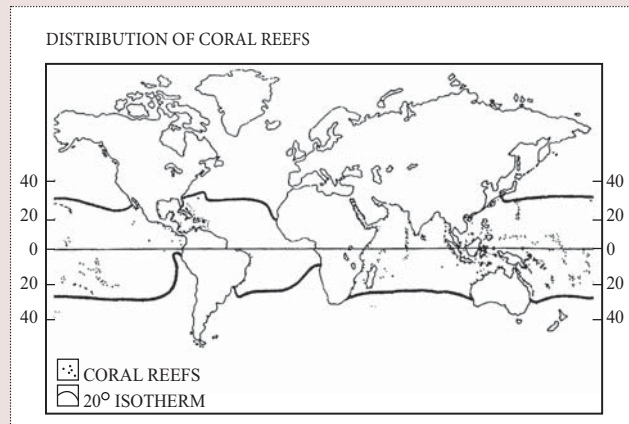
(شکل‌های A، B، و C تغییرات شرایط محیطی را نشان می‌دهند. شکل D نشان‌دهنده تفاوت قطعات اسکلتی کربناته است. روزن بران کف‌زی (Benthic foraminifers) و نرم‌تنان در کربنات‌های معتدل و جلبک سبز و مرجان در عرض‌های جغرافیایی حاره حضور دارند. شکل E نشان می‌دهد که در کربنات‌های معتدل، دانه‌های غیراسکلتی وجود ندارد)



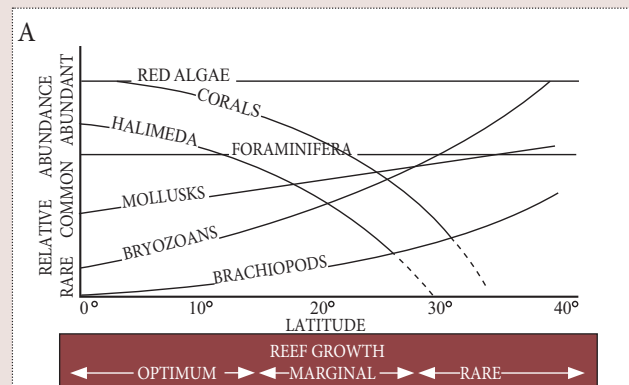
۸ | رشد مرجان در مقابل مقادیر (a) رسوبات مجدد معلق شده و (b) مواد آلی ریز معلق

(هر دو متغیر با رشد مرجانی رابطه عکس دارند، چون مواد معلق و مواد آلی معلق، میزان نور را کاهش می‌دهند)

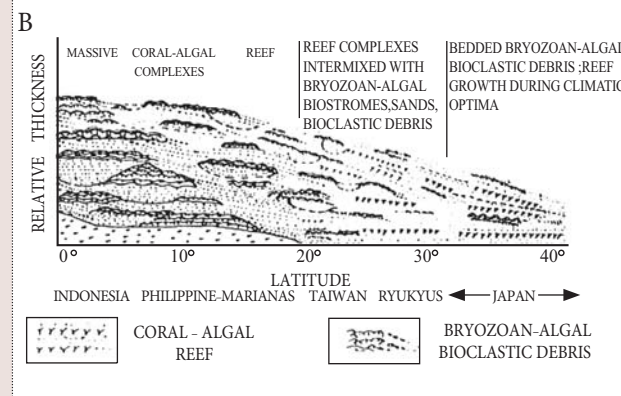
عرض‌های مختلف جغرافیایی و تغییر شرایط نوری و محیطی بر پراکندگی موجودات و عناصر کربناته تأثیر دارد (شکل ۷). هم‌چنان که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، مرجان‌ها در عرض‌های پایین و نرم‌تنان در عرض‌های بالاتر حضور دارند (شکل D). دانه‌های غیراسکلتی نیز در عرض‌های ۳۰ تا ۵۰ درجه دیده می‌شوند (شکل E).



۵ | توزیع ریف‌های مرجانی دوران حاضر در شمال و جنوب که به حداقل دمای زمستانی محدود شده است

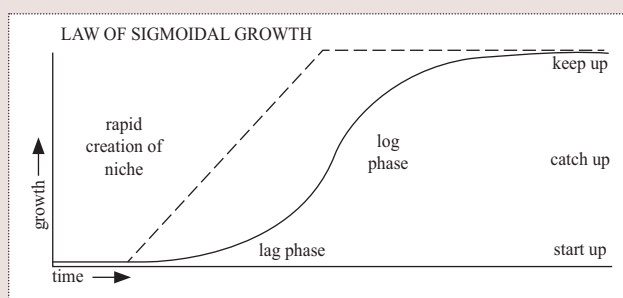


۶ | تغییرات عرض جغرافیایی از رخساره‌های کربناته حاره تا معتدل در شمال اقیانوس آرام

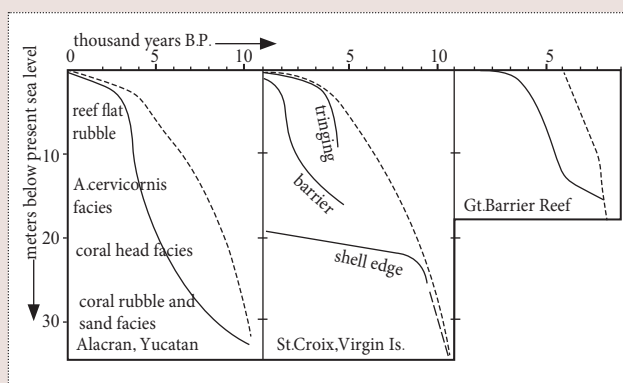


۶ | تغییرات عرض جغرافیایی از رخساره‌های کربناته حاره تا معتدل در شمال اقیانوس آرام

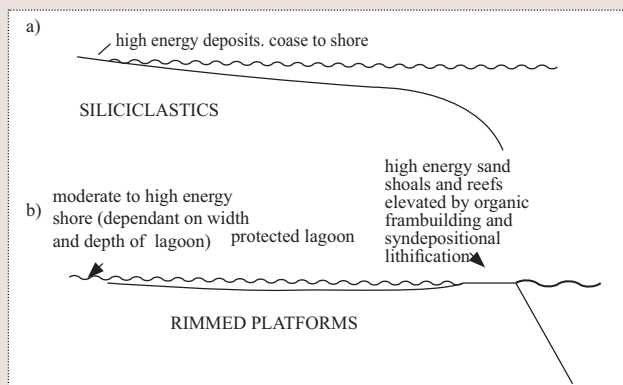
(نابدید شدن ریف‌ها و کاهش ضخامت آن‌ها به کاهش تولید در آب و هوای معتدل اشاره دارد)



شکل ۹ | پاسخ جمعیت موجودات به فضای زیست جدید



شکل ۱۰ | تاریخچه رشد ریف‌های هولوسن (Schlager, 1981)



شکل ۱۱ | نیمرخ‌های شیب تا ساحل در کربنات‌ها و آواری‌ها

(a) آواری‌ها، فراوانی بار رسوبی (نتیجه این است که سطح شیب‌دار به سمت دریا در موازنه با پایه موج عمیق شونده می‌باشد)
 (b) سکوی کربناته حاشیه (نیمرخ موازنه موج عمدتاً در حاشیه سکوی کربناته و نیز در نقاط دیگر سکوی کربناته (برای مثال ریف‌های کومه‌ای لاگونی) توسط ساختمان ریف‌های مقاوم در برابر موج، تخریب شده و به سرعت ماسه‌های کم‌زرف را سنگی می‌کند. سکوی کربناته عمدتاً بشقابی شکل بوده و نیمرخ‌های موازنه فقط به طور محلی در قسمت‌هایی از سکوی کربناته توسعه می‌یابند.)

⁶ Aggradation

⁹ Rim

⁷ Progradation

¹⁰ Empty bucket

⁸ Starvation

۲. پتانسیل رشد سیستم‌های کربناته

سیستم‌های رسوب‌گذاری سیلیسی آواری‌ها تحت تأثیر میزان بار رسوبی خارجی است. توانایی رشد بالا و تولید رسوب در نهشته‌های کربناته، کیفیت ذاتی سیستم بوده و پتانسیل رشد نامیده می‌شود. بنا بر تصور عموم، باید بتوان توانایی ساختن عمودی یا طرح برانبارش سطح طراز آب دریا را تشخیص داد. بنابراین برای سیستم کربناته، پتانسیل چیدمان افزایش یافته است و توانایی ایجاد و حفظ رسوب، پتانسیل تولید نامیده می‌شود. اساساً پتانسیل چیدمان افزایش یافته برای ادامه حیات یا غرق‌شدگی سکوه‌های کربناته بحرانی است. این دوره‌های کوتاه در ارتباط با غرق‌شدگی است. پتانسیل تولید یک فاکتور قطعی برای پیش‌نشستن^۷ و عقب‌نشستن سکوی کربناته و حوضه‌های پرشده یا حوضه‌های با میزان تولید خیلی کم^۸ کربنات است. در یک سکوی کربناته، پتانسیل رشد برای کمربندهای مختلف رخساره‌ای متفاوت است. موضوع مهم آن است که پتانسیل رشد حاشیه سکوی کربناته بیش‌تر و مهم‌تر از پتانسیل رشد رخساره‌های درونی این سکوهاست. هنگامی که سطح آب دریا بالا می‌آید، رشد بخش حاشیه از پتانسیل قسمت‌های درونی بیش‌تر می‌شود. افزایش رشد حاشیه یک سکوی کربناته موجب برجای گذاشتن لاگون‌های خالی^{۱۰} می‌گردد. تولید کربنات‌ها عموماً از قانون رشد سیگموئیدال (S) پیروی می‌کند. جمعیت موجودات به فضای زیست جدید در سه مرحله پاسخ می‌دهد:

۱. تأخیر رشد دیرتر از ایجاد فضای زیست
 ۲. فزونی رشد جمعیت از سرعت تغییر در فضای لازم و در دسترس رسوب‌گذاری
 ۳. محدود شدن رشد جمعیت با میزان رشد فضای زیست
- اغلب سیستم‌های کربناته توسط رشد ارگانیکی کنترل می‌شوند و از این قانون پیروی می‌کنند (شکل ۹).
- در سیستم‌های کربناته، رشد در ابتدا کند است سپس از نرخ تغییر در نیروی عملکرد متجاوز و سریع‌تر شده و سرانجام کاهش می‌یابد؛ تا این که به محدوده نیچ یا محیط زندگی جدیدی برسد؛ این مراحل، شکل سیگموئیدال را ایجاد می‌نماید. در رسوب‌شناسی کربنات‌ها، این الگو به عنوان مراحل رشد شناخته شده است و به نام‌های *start up*، *catch up* و *keep up* خوانده می‌شود. ریف‌ها نسبت به افزایش سطح آب دریا حساس هستند. هولوسن مثال شاخصی در این ارتباط است (شکل ۱۰). این دوره در هولوسن ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ سال می‌باشد. در قانون رشد سیگموئیدال، پتانسیل رشد سیستم در مرحله *start up* اهمیت کم‌تری دارد.

۳. آناتومی ریف‌ها و سکوه‌های کربناته

در زون نفوذ نور، هر قطعه از طبقات دریا به عنوان یک منشأ رسوبی عمل می‌کند. قسمت‌های بالایی ستون آب بالاترین میزان تولید را داراست. سکوی کربناته تمایل شدیدی برای توسعه سطح فلات به سطح آب دریا دارد.

۴. ساختمان‌های حاشیه سکوی کربناته

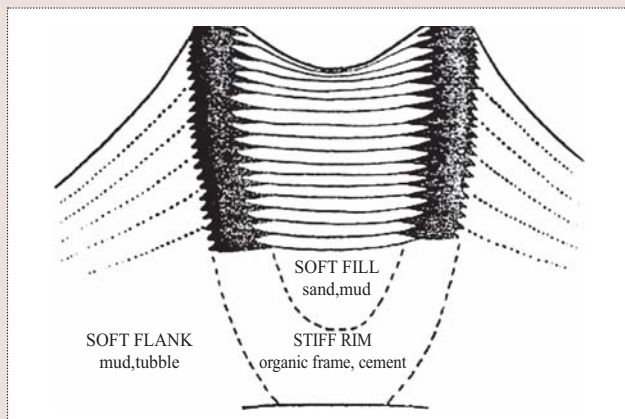
توانایی سیستم‌های کربناته حاره‌ای برای ساختن ساختمان‌های مقاوم در برابر امواج، باعث افزایش تمایل به مسطح شدن قله می‌شود. این عمل اساساً در حاشیه سیستم صورت می‌گیرد. ریف‌ها اغلب سازنده بلوک ریف‌های سکوی کربناته هستند، اما تپه‌های زیردریایی ماسه‌ای کربناته نیز به کمک فعل و انفعال رسوبات طوفانی و سنگ‌شدگی



۵. شیب‌ها و بالا آمدگی‌ها

شیب‌ها و موانع تخریبی در اطراف سکوی کربناته از ساختمان‌های مهم هستند و به مقدار زیاد، تعیین کننده توسعه و شکل قله می‌باشند. این مناطق برای رسوبات زیادی که از قله سکوی کربناته منشأ گرفته‌اند، به صورت چاله عمل می‌کنند. در چینه‌نگاری سکانشی، حاشیه سکوی کربناته و شیب‌ها نقش قاطعی را بازی کرده و بیش‌ترین اطلاعات را روی سطح رخساره‌های نهشته شده در طی پایین‌ترین سطح آب دریا^{۱۵} ذخیره می‌کنند.

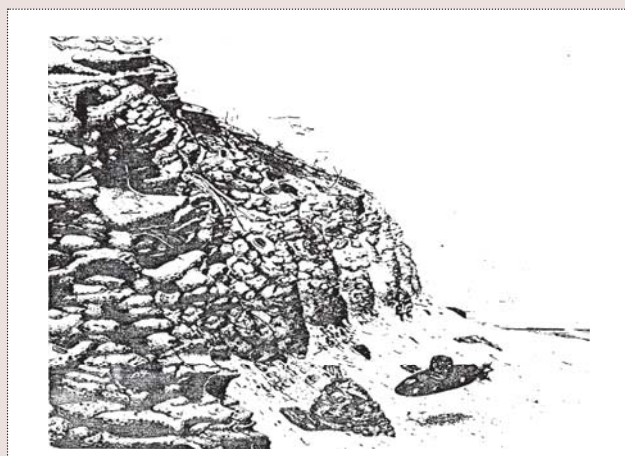
شکل هندسی رخساره شیب و بالا آمدگی‌ها از چند قانون پیروی می‌کنند، خلاصه این قوانین به قرار ذیل است:



۱۲ | قانون Bucket



(این شکل آناتومی رشد سکوی کربناته را نشان می‌دهد. شکل حاشیه سکوی کربناته به یک سطل شباهت دارد، که همگی آن‌ها توسط حاشیه سکوهایی کربناته سفت کننده ریف‌ها یا سیمان شدگی سریع تپه‌های زیر دریایی ماسه‌ای و پر شدن با رسوبات سست تر لاگون‌ها و پهنه جزر و مدی در کنار هم نگه داشته شده‌اند. پتانسیل رشد سکوی کربناته تا حد زیادی توسط پتانسیل رشد حاشیه سکوی کربناته تعیین می‌شوند (Schlager, 1981)



۱۳ | دیوار ریفی از ریف سدی در Belize



(مشخص نیست که آیا این دیوارها، صخره‌های دریایی پلیستوسن هستند که با ریف هولوسن پوشیده شده‌اند یا اشکال ساختمانی می‌باشند که در اثر رشد رو به بالا یا جانبی مرجان‌ها شکل گرفته‌اند. به هر حال، دیوارها تمایل سکوی کربناته به پله‌ای شدن به سمت شیب‌های بالایی را نشان می‌دهند)

سریع، قادر به ساختن سدهای مقاوم می‌باشند. بنابراین ممکن است ریف‌ها و تپه‌های زیردریایی^{۱۱} به‌طور متناوب در ساختمان سکوی کربناته دیده شوند. گسیختگی‌های سطح شیبی که به طرف دریا است، به‌طور طبیعی توسط تجمعات رسوبات سست روی سکو توسعه داده شده‌اند؛ بنابراین از این طریق می‌توان سکوی کربناته حاشیه‌دار را از سکوهایی سیلیسی آواری جدا نمود. زمانی که میزان بار رسوبی وارده بالاست، در تخریبی یا آواری‌ها، سطح به طرف دریا شیب‌دار می‌شود، قاعده امواج هم عمیق‌تر خواهد شد. اما در سکوی کربناته حاشیه‌دار، امواج توسط ساختمان‌های ریفی مقاوم در برابر امواج، نابود شده که اساساً این پدیده در حاشیه سکوی کربناته رخ می‌دهد. در طرف دیگر سکوی کربناته یعنی لاگون ریف‌های کومه‌ای، قاعده امواج کوتاه‌تر است (شکل ۱۱). آناتومی رشد سکوی کربناته حاشیه‌دار، سطل^{۱۲} را ایجاد می‌کند که حاشیه سخت شده، تجمعات رسوبی سست قسمت‌های داخلی سکوی کربناته را محافظت می‌نماید. آناتومی رشد سکوی کربناته حاشیه‌دار شبیه یک سطل بوده و رشد کربنات‌ها و سیمانی شدن در حاشیه‌ها بیش‌تر و در تالاب کم است، بنابراین یک حاشیه مقاوم‌تر و برجسته‌تر ایجاد می‌شود که با حاشیه ریف‌ها یا سیمانی شدن سریع تپه‌های زیردریایی ماسه‌ای که کم‌تر با رسوبات سخت شده پر می‌شوند، همراه می‌گردد (شکل ۱۲). به‌طور عمده پتانسیل رشد یک سکوی کربناته توسط پتانسیل رشد حاشیه تعیین می‌شود. به دلیل بالابودن پتانسیل رشد حاشیه سطل خالی^{۱۳}، حاشیه سکوهایی کربناته و لاگون‌های خالی افزایش می‌یابد که عموماً این پدیده در توالی‌های ثبت شده زمین‌شناسی یافت می‌شوند.

کاهش سریع تولید کربنات‌ها با افزایش عمق، در ارتباط با توانایی ریف‌ها برای حفظ رشد آن‌ها در این مکان‌هاست. رشد وابسته به عمق ممکن است توضیحی برای شیب دیواره پیشانی ریف باشد. توانایی رشد سیستم‌های کربناته بر روی شیب بیش‌تر است. کاهش سریع رشد ریف در ارتباط با عمق ممکن است توضیحی باشد برای حالت نزدیک به قائم شدن دیواره ریف‌هایی که در طی بیش‌ترین سطح پیشروی، سکون نسبی و آغاز افت سطح آب دریا^{۱۴} ایجاد شده‌اند (شکل ۱۴).

به‌رغم این حقیقت که حاشیه سکوی کربناته دارای رشد فزاینده‌ای سریع‌تر از لاگون‌هاست، بسیاری از سکوهایی کربناته زمانی که تحت استرس و فشار قرار می‌گیرند، حرکت و مهاجرت پلکانی حاشیه سکو به سوی خشکی یا لاگون را نشان می‌دهند. مهاجرت پلکانی پاسخ مشخص سکوی کربناته در برابر افزایش نسبی سطح طراز آب دریا است (شکل ۱۶). دلایل مفید بودن مهاجرت پلکانی عبارتند از: الف) مهاجرت پلکانی باعث می‌شود که امواج مخرب حاشیه کاهش یابد و محیط را برای رشد حاشیه سکوی کربناته آسان‌تر سازد. سکوی کربناته ممکن است به سمت عقب یعنی به نواحی با ارتفاع بالاتر، از قبیل خط ساحلی قدیمی، پلکانی شود؛ دلیل این امر می‌تواند فرونشینی‌های مختلف باشد. در این زمان قسمت‌های بیرونی سریع‌تر از قسمت‌های دیگر فرونشینی می‌کنند. از این رو، رشد به سمت بالای حاشیه سکوی کربناته آسان‌تر می‌گردد.

ب) سکوهایی کربناته می‌توانند به سمت یک زمین مرتفع‌تر مانند خط ساحلی قدیمی به عقب برگردند.

ج) فرونشست غیر یکنواخت، زمانی که قسمت خارجی سکوی کربناته به سرعت، بخش فرونشست کننده سکوی کربناته را تشکیل می‌دهد و نمی‌تواند بیش از آن از پس سطح آب برآید، می‌تواند دلیلی برای مهاجرت پلکانی حاشیه سکو به سوی خشکی سکوهایی کربناته باشد.

سکوی کربناته از رسوبات سست بدون ساختمان‌های ریفی یا ساختمان‌های سنگی شده در قسمت شکست شلف ساخته شده‌اند که رمپ‌های کربناته نامیده می‌شوند. به‌طور ایده‌آل، نیم‌رخ رمپ‌ها معادل با قاعده امواج است که به طرف دریا شیب دارند و به موازات آن‌ها شلف‌های تخریبی یا رسوبات، سخت شده‌اند.

¹¹ Shoals

¹⁴ Highstand

¹² Bucket

¹⁵ Low stand

¹³ Empty bucket



۱. حجم رسوب بستگی به میزان نگره‌داری شیب دارد، به طوری که با رشد سکوی کربناته، حجم آن به مقدار خیلی زیادی افزایش می‌یابد و عملکردی از ارتفاع گرفتن سکوی کربناته تلقی می‌شود. این افزایش متناسب با میزان ارتفاع‌گیری شیب‌های مخروطی جدا شده از سکوه‌های کربناته از قبیل آتول‌ها است و خود نیز متناسب با توان اولیه ارتفاع‌گیری برای شیب‌های سکوی کربناته خطی است.

۲. در قسمت‌های بالاتر سکوی کربناته، شیب تند شده و با ارتفاع شیب، می‌توان روندی را که در مراحل قبلی رشد به جا گذاشته شده به‌عنوان یک نتیجه کلی بیان کرد و آن این است که، شیب اغلب سکوه‌های کربناته به‌طور قابل توجهی ارتفاع گرفته و نسبت به شیب سیلیسی آواری‌ها تندتر است (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). تغییر در زاویه شیب در طی رشد سکوی کربناته، رژیم رسوبی روی شیب را تغییر می‌دهد و باعث تعویض نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری جریان‌های توربیدی می‌شود که این در برگشت‌پذیری، تأثیر زیادی بر شکل هندسی رسوب روی شیب و بالآمدگی‌ها دارد (شکل ۱۹).

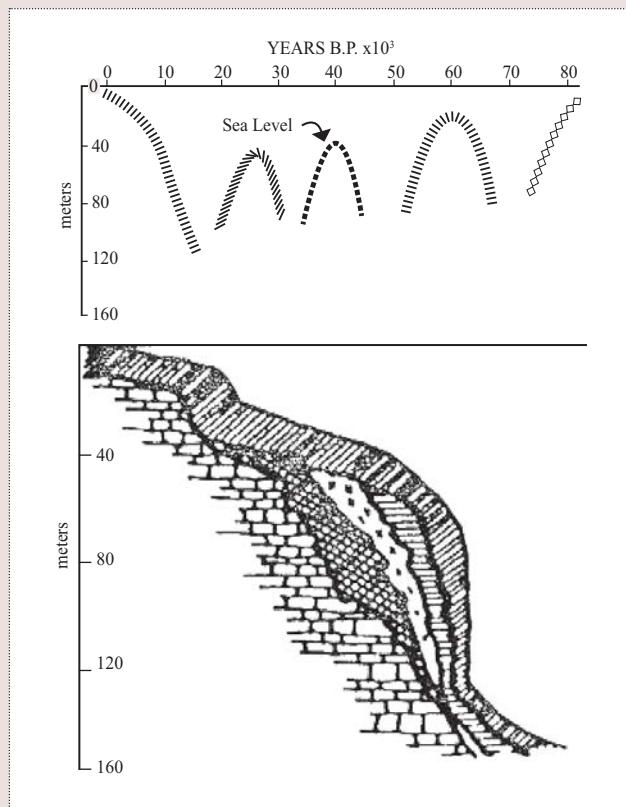
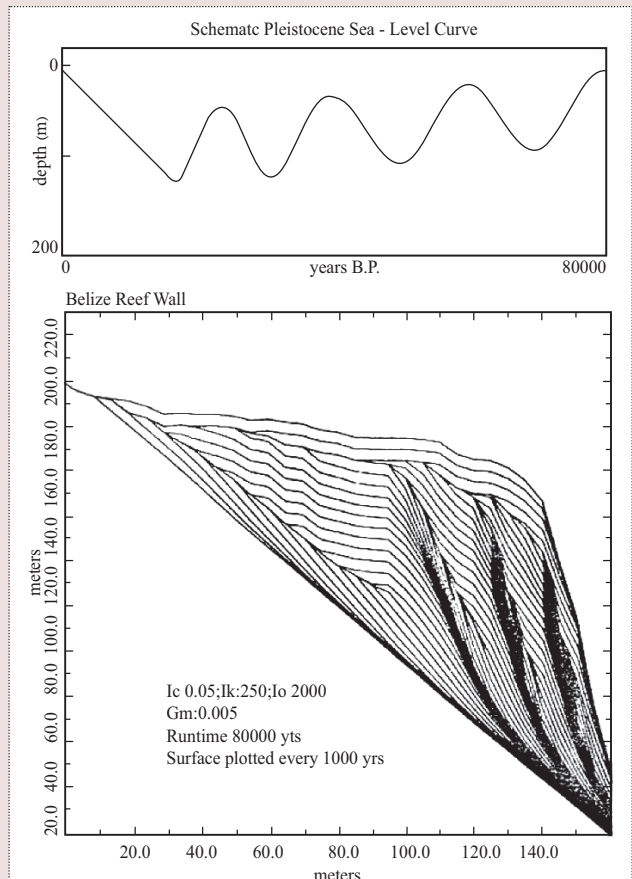
۳. زاویه سکوی کربناته رسوبات سست، عملکردی از اندازه دامنه است. مهندسی این ارتباط را برای سدهای مصنوعی ساخت بشر کیفی کرده‌اند (شکل ۲۰) و همان روابط بی‌شماری را که اخیراً نشان داده‌اند، برای مقیاس‌های بزرگ و علائم زمین‌شناسی به کار برده‌اند (شکل‌های ۲۱ تا ۲۳). خصوصیت مهمی که برای درجه چسبندگی رسوب مهم به نظر می‌رسد تغییرات در ترکیب رسوبات انباشته شده روی یک شیب است که ممکن است باعث ایجاد ناپیوستگی‌ها شود (شکل ۲۴).

رسوبات کربناته برخلاف رسوبات تخریبی از خود حوضه منشأ می‌گیرند، به عبارتی، درجا هستند و از رسوب‌گذاری شیمیایی داخل آب‌ها حاصل می‌شوند. عوامل زیادی این مراحل ته‌نشست را کنترل می‌کنند. بهترین محل کارخانه‌های کربناته، ریف‌های نواحی حاره و سکوه‌های کربناته است که در حدود کمربند ۳۰ درجه در هر دو طرف استوا یافت می‌شوند؛ اگرچه دو سیستم دیگر از سیستم‌های تولیدکننده کربنات‌ها نیز شناخته شده‌اند:

۱. حجم رسوب بستگی به میزان نگره‌داری شیب دارد، به طوری که با رشد سکوی کربناته، حجم آن به مقدار خیلی زیادی افزایش می‌یابد و عملکردی از ارتفاع گرفتن سکوی کربناته تلقی می‌شود. این افزایش متناسب با میزان ارتفاع‌گیری شیب‌های مخروطی جدا شده از سکوه‌های کربناته از قبیل آتول‌ها است و خود نیز متناسب با توان اولیه ارتفاع‌گیری برای شیب‌های سکوی کربناته خطی است.

۲. در قسمت‌های بالاتر سکوی کربناته، شیب تند شده و با ارتفاع شیب، می‌توان روندی را که در مراحل قبلی رشد به جا گذاشته شده به‌عنوان یک نتیجه کلی بیان کرد و آن این است که، شیب اغلب سکوه‌های کربناته به‌طور قابل توجهی ارتفاع گرفته و نسبت به شیب سیلیسی آواری‌ها تندتر است (شکل‌های ۱۷ و ۱۸). تغییر در زاویه شیب در طی رشد سکوی کربناته، رژیم رسوبی روی شیب را تغییر می‌دهد و باعث تعویض نرخ فرسایش و رسوب‌گذاری جریان‌های توربیدی می‌شود که این در برگشت‌پذیری، تأثیر زیادی بر شکل هندسی رسوب روی شیب و بالآمدگی‌ها دارد (شکل ۱۹).

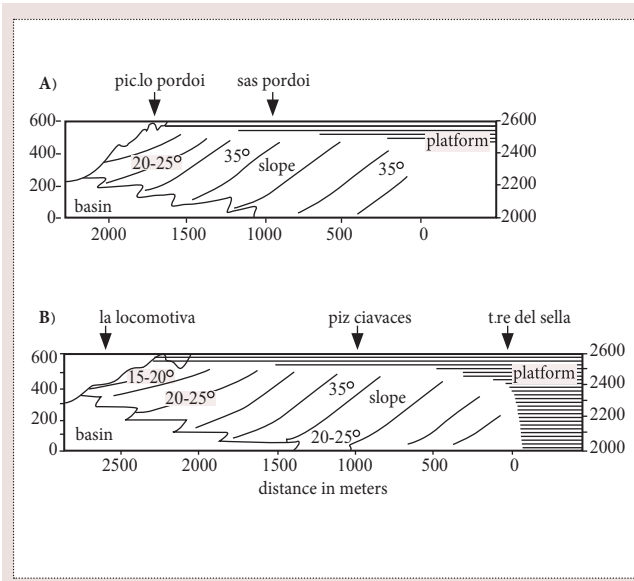
لازمه رشد رو به بالای سکوی‌های کربناته با شیب ثابت، رسوب‌گذاری حجم زیادی از رسوب‌ها بر روی پال‌ها است. در مورد آتول‌های مخروطی



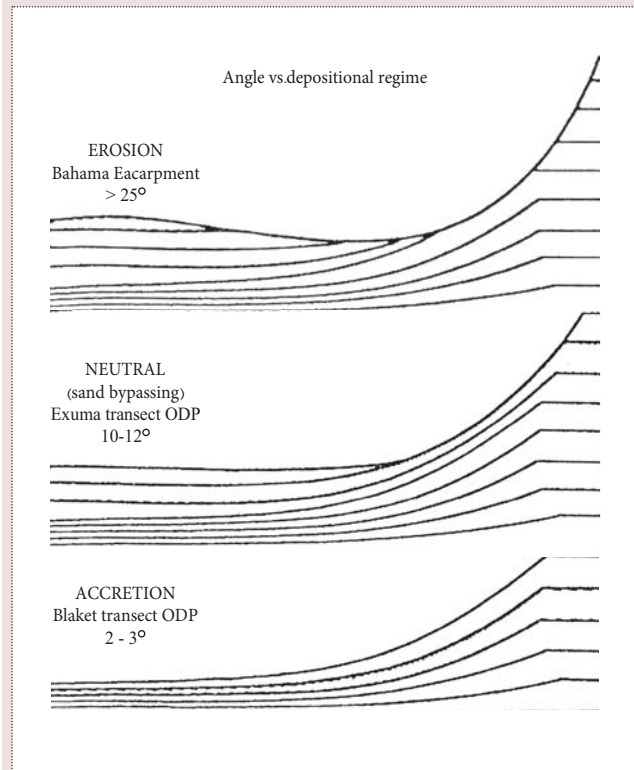
۱۴ | کاهش سریع رشد ریف با افزایش عمق می‌تواند دیوارهای نزدیک به قائم ریفی را توصیف کند.

(این شبیه‌سازی کامپیوتری تلاش می‌کند که دیواره ریف Belize (شکل ۱۳) را به‌عنوان یک سری از شانه‌های ریف که در حین سکون نسبی و آغاز پایین آمدن سطح آب دریا شکل گرفته‌اند، بازسازی نماید.)

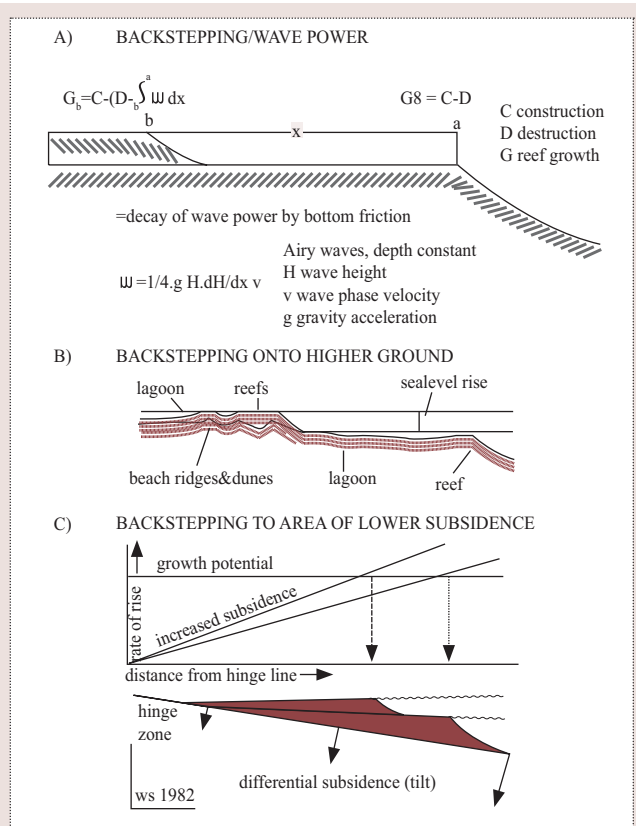
۱۵ | مدل فرضی جیمز و گینزبرگ (James & Ginsburg, 1979) که اساس شبیه‌سازی کامپیوتری در شکل ۱۴ است.



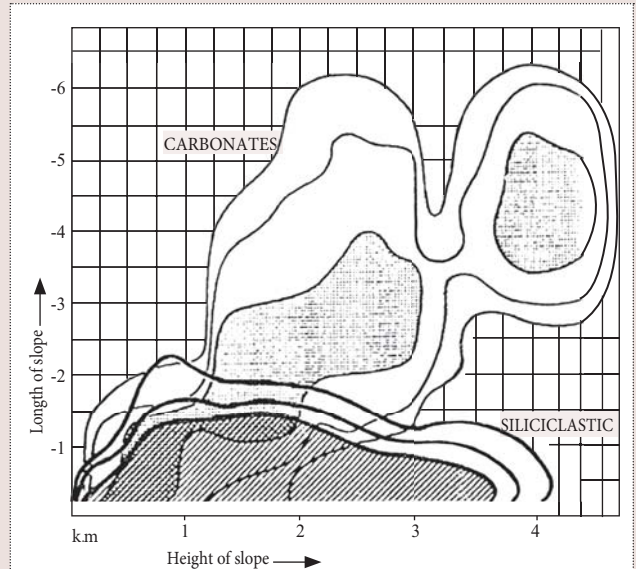
شکل ۱۸ | کاهش در زاویه شیب با کاهش ارتفاع شیب در حوضه کم ژرف (تریاس، جنوب آلم، ایتالیا).
(این نمونه‌های فسیلی روند مشاهده شده در شیب‌های جدید را تأیید می‌کنند.)



شکل ۱۹ | زاویه شیب و تعادل فرسایش و رسوب‌گذاری روی شیب‌ها
(هنگامی که زاویه شیب افزایش می‌یابد، انرژی و توان جریان‌های توربیدیت هم افزایش می‌یابد و رژیم رسوب‌گذاری روی شیب را از انباشته شدن رسوبات به فرسایش تغییر می‌دهد. شیب‌های زون عبور (By-pass) یک مرحله حد واسط را نشان می‌دهند، آن‌ها گل را از باران دائمی رسوبات دریافت می‌کنند، در حالی که حمل مواد دانه درشت در حوضه بیش‌تر از طریق جریان‌های توربیدیت بزرگ صورت می‌گیرد) (Camber & Schlager, 1986)



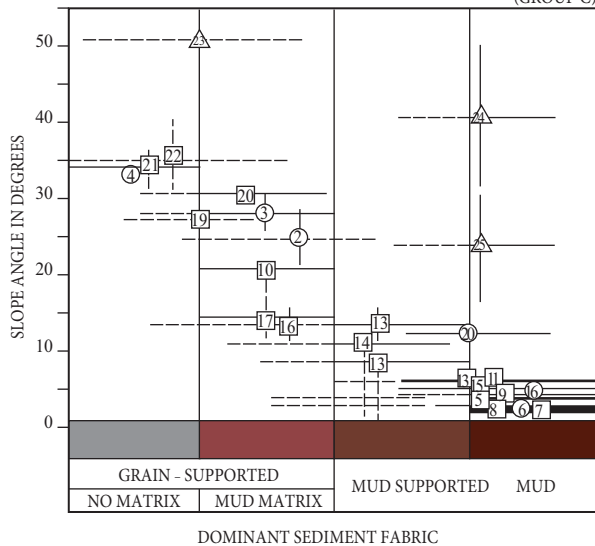
شکل ۱۶ | مهاجرت پلکانی عملکرد شاخص سکوی کربناته نسبت به افزایش نسبی سطح آب دریا است که اندکی از پتانسیل رشد سکوی کربناته تجاوز می‌کند.



شکل ۱۷ | زوایای شیب زیردریایی جدید سکوی‌های کربناته و سیستم‌های سیلیسی کلاستیک در اقیانوس اطلس و آرام (منحنی‌های میزان ۲،۱ و ۴ درصد از کل نمونه‌ها (N) در ناحیه. کربنات‌ها با افزایش ارتفاع توسط ساختن شیب‌های مقاوم در برابر ریزش شیب‌دار می‌شوند) (Camber & Schlager, 1986)

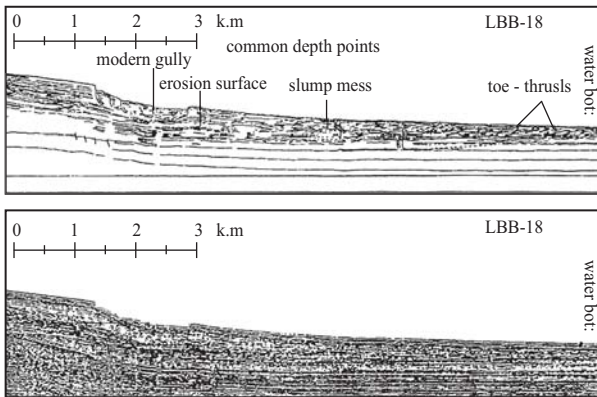


- WELL DOCUMENTED EXAMPLES (GROUP A)
- EXAMPLES LACKING PRECISE CONTROL ON GEOMETRY (GROUP B)
- △ FLANKS STABILIZED BY ORGANIC FRAMEBUILDING OR CEMENTATION (GROUP C)



۲۱ | تأثیر شدید ترکیب رسوبات بر زوایای شیب یال‌های سکوی کربناته

(رسوبات فاقد خواص چسبندگی مانند ماسه تمیز و سنگ لاشه، زوایای با بیش از ۴۰ درجه را می‌سازند. رسوبات چسبنده گلی باعث ایجاد فروریزش ناگهانی بزرگ شده که یک زاویه با شیب کم باقی می‌ماند.)



۲۲ | نیم‌رخ شیب با رسوبات چسبنده گلی

(زاویه شیب ملایم و بزرگ مقیاس با تراست‌های انگشتی در فاصله انتهایی شیب از خصوصیات بارز آن است. (یال شمالی سکوی کربناته (Little Bahama))

۱. کربنات‌های آب‌های سرد که در مناطق معتدل در نواحی قطبی به عنوان تجمع پوسته^{۱۶} بدون ریف و با گل کم است.

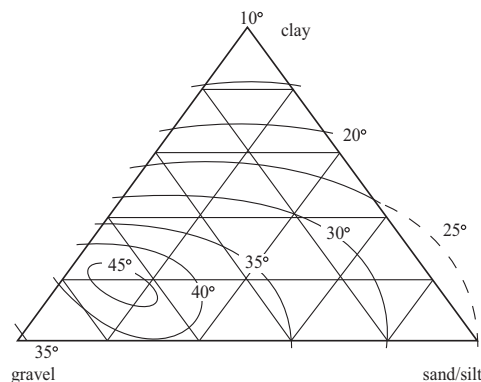
۲. کربنات‌های برآمدگی‌های گلی^{۱۷} که به طور تپیک در آب‌های عمیق‌تر زیر سطح اساس امواج قرار گرفته و شامل کربنات‌های دانه‌ریز است و مواد آن‌ها تحت تأثیر رسوبات بالایی سخت نشده است؛ بنابراین کلمه گل اشاره به حضور شبه گل‌ها در مقاطع نازک دارد که به غلط به این نام خوانده شده‌اند. اما در کل منظور از سیستم‌های کربناته، بیش‌تر کربنات‌های ناحیه فلات قاره است. شکل هندسی تجمعات کربناته توسط دو عامل کنترل می‌شود:

۱. تغییرات حجم تحت تأثیر زمان که با A (مخفف Accommodation) نشان داده می‌شود و در واقع به معنی فضای لازم برای رسوب‌گذاری است.
۲. G که تغییرات حجم رسوبات تولید شده توسط رشد موجودات کربناته در محیط‌های رسوب‌گذاری است (مخفف Growth). اساساً تولید کربنات‌ها از قسمت حاشیه سکوی کربناته نسبت به قسمت‌های داخلی‌تر (GP^۲) بیش‌تر است، بنابراین از 'GP برای نرخ رشد در قسمت‌های داخلی سکوی کربناته و از 'Gr برای نرخ رشد در قسمت‌های حاشیه سکوی کربناته استفاده می‌شود.

یکی از اشکال هندسی که خاص سکوی کربناته empty bucket است، جایی است که حاشیه سکوی کربناته با افزایش سطح آب دریا همراه است، اما در پشت آن لاگون می‌افتد. شاید شروع سکوی کربناته، مرحله empty bucket باشد؛ یعنی جایی که سکوی کربناته دوباره پوشیده شده و حاشیه آن پیشروی می‌کند. این پیشروی در هر دو جهت لاگون‌های خالی^{۱۸} و به طرف حوضه است. بنابراین نهشته‌های پیش‌نشسته^{۱۹} دو جهته، یکی دیگر از ویژگی‌های سیستم‌های کربناته می‌باشد (شکل ۲۵).

ع. ناپیوستگی‌های غرق شدگی

زمانی که بالا آمدگی نسبی سطح آب دریا نسبت به رشد در قسمت‌های داخلی حاشیه‌های سکوی کربناته تجاوز می‌کند، سیستم به طور کامل به زیر زون اشباع از نور فرو رفته و خود را محدود می‌نماید. در این جا، تغییر سیستم رسوبی در حاشیه دیده می‌شود؛ به طوری که یک سیستم کربناته حاره‌ای با میزان تولید



۲۰ | اندازه دانه‌ها در مقابل زاویه اصطکاک داخلی برای رسوبات خشک

(زاویه نشست معادل با زاویه شکست داخلی در فشار همه جانبه در نظر گرفته شده است. این ارتباط، بسیاری از تفاوت‌ها در رسوبات شیب درشت دانه فاقد گل و شیب‌های گل‌دار را توصیف می‌کند)

¹⁶ Nash

¹⁷ Mud- Mound

¹⁸ Empty lagoon

¹⁹ Rogradational



بالا به یک سیستم رسوبی همی پلاژیک تبدیل می شود که تغییر شدید الگوی رسوبات ورودی و پراکندگی آن ها اغلب به عنوان یک ناپیوستگی در بیرون زدگی داده های لرزه نگاری مشخص می گردد، به این ناپیوستگی غرق شدگی گویند و بیش تر ممکن است به همراه فرسایش دریایی باشند. کربنات های آب سرد و سیستم های برآمدگی گلی نسبت به غرق شدگی کم تر حساس هستند. به دلیل این که زون های تولیدی آن ها تا چند صد متری عمق آب توسعه دارند. علاوه بر این، آب های سرد و سیستم های برآمدگی گلی، حاشیه های کربنات را در داخل زون های شکست آب نمی سازند. کربنات های آب سرد به طور معمول، نیم رخ های رمپی مشابه با شلف های تخریبی سیلیکاته دارند. کربنات های برآمدگی گلی اساساً به شکل سری بالا آمدگی هستند که به طرف بالا محدب بوده و بدون سطح صاف می باشند. جایی که برآمدگی گلی ساخته می شود، در محدوده زونی است که دائماً تحت تأثیر امواج، فعالند. آن ها سرسکوی کربنات فرض شده اند، اما در همان زمان، رسوبات به ریف ها یا ماسه های اسکلتی تغییر می یابند. کارخانه های برآمدگی گلی همیشه آن ها را تولید نمی کنند؛ چرا که همان تمرکزهای میکروبی کربنات، موجودات چسبنده^{۲۰} و سیمان های دریایی روی شیب سکوه های کربنات حاشیه دار نیز حضور دارند؛ اما در آن قسمت، انتقال رسوبات با چگالی بالا و شدید باعث جلوگیری از رشد برآمدگی های گلی می شود. دامنه سکوه های کربنات و برآمدگی گلی عموماً تندتر از تخریبی هاست. در این الگو چند مورد دخالت دارند:

۱. گل های کربنات نسبت به گل های تخریبی نیروی برشی بیش تری دارند.
۲. سنگی شدن زیر دریایی روی شیب های کربنات توسعه یافته است.
۳. بسیاری از یال های سکوی کربنات، شامل مخلوطی از رابل ها و ماسه ها با مواد دانه ریزتری است که شاید زاویه سکوی کربنات این خرده های درشت متجاوز از ۳۵ درجه باشد. عموماً شیب سکوه های کربنات به حدی تند است که جریان های توربیدیتی و جریان های گراوینت رسوبی جریان می یابند و زون های عبوری^{۲۱} شیب ها یا حتی مواد فرسایش آن ها بار معلق رسوبی را به طبقات پایین حوضه حمل می کنند.

در شکل ۲۶، ۴ مرحله از بالا آمدگی ریف آهکی نشان داده شده است [۲]:

۱. بالا آمدگی کربنات^{۲۲}: نرخ تولید کربنات متناسب با نرخ افزایش نسبی سطح طراز آب دریاست و یک توالی ضخیم کربنات شکل گرفته است.
۲. Build Out: نرخ تولید کربنات از نرخ افزایش سطح آب دریا پیشی گرفته و منطقه تولید کربنات به تدریج توسعه یافته است.
۳. Build in: نرخ افزایش تجمعات کربنات با نرخ افزایش سطح آب دریا هماهنگ نیست. نرخ کربنات در ارتباط با هجوم رسوبات نواحی تولیدی کربنات به تدریج کاهش می یابد.

۴. Bank غرق شده: تولید کربنات ها با پایین افتادگی سطح آب دریا خاتمه یافته و رخنمون سطحی کربنات ها و دیانز اولیه پدید می آید. تولید کربنات ها متوقف شده و منجر به تأثیر شستشوی سطحی و سیمانی شدن با آب های زیرزمینی آزاد در زمانی که کربنات های کلاسیک در اطراف آن نواحی تجمع یافته اند، می گردد.

²⁰ Sessil

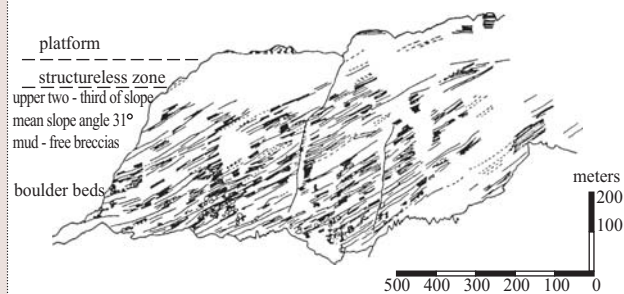
²¹ By pass

²² Build Up

NNE 024

SSW 204

INTERPRETATION CROSS - SECTION VAL DE MESDI, NORTHERN SELLA

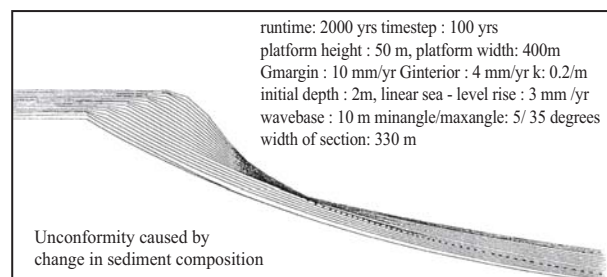


۲۳ | نیم رخ شیب سکوی کربنات متشکل از رسوبات غیر چسبنده

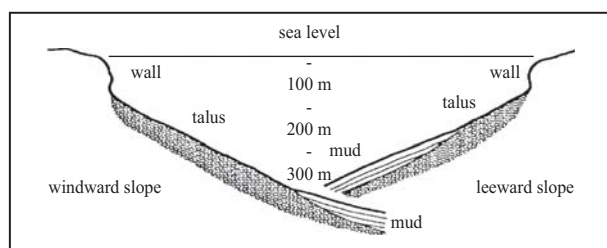
(برای مثال ماسه و رابل دارای گل کم یا بدون گل هستند. ریزش ها کوچک است و به عنوان قطع شدگی های کوچک مقیاس متعدد توصیف می شوند. به طور کلی لایه بندی های باقی مانده، شیب دار یا نسبتاً موازی هستند. مانند سکوی کربنات Triassic Sella، دولومیت ها، ایتالیا)



a) CARBPLAT



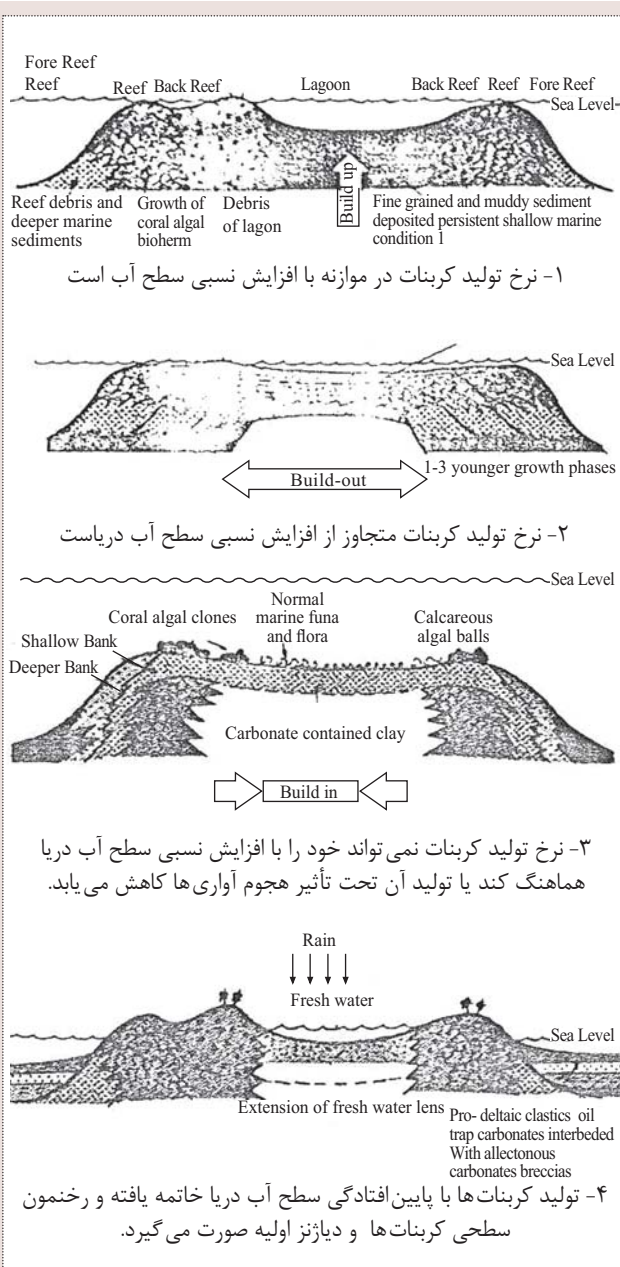
b)



۲۴ | اندازه دانه ها در ارتباط با ناپیوستگی در رخنمون ها

(در یک برنامه کامپیوتری نتایج قبلی را مورد استفاده قرار داده و به گل های رابلی (Rubble) زوایای مختلفی نسبت داده شد، که این امر روی شیب سکوی کربنات ای که مداوم رشد می کند، یک ناپیوستگی نشان می دهد. در ابتدا سکوی کربنات با یک لاگون خالی رشد می کند و بعد رابل ها را از حاشیه ریفش دریافت می کند. لاگون به طور متناوب پر می شود و مقادیر بزرگی از گل را خارج می کند. گل های دفن شده تالوس ریف در یک شیب ملایم تری قرار می گیرند. ناپیوستگی گلی، رابل های گلی را می پوشاند که شبیه سازی نزدیکی با مدلی که توسط Southan در سال ۱۹۹۲ (پیش بینی شده، دارد)





۲۶ | مراحل بالآمدگی های کربناته (build up) ریف آهکی

[3] Schlager, W., 1999. "Sequence stratigraphy of carbonate" v. 18. no. 8, ; p. 9001-9077, The Leading Edge.

[4] Schlager W., 1992. "Sedimentology and sequence stratigraphy of reefs and carbonate platforms" published by Geological Association of Canada) Stittsville, Ontario, p.265-275.

[5] Schlager, W. & Camber, O., 1986. "submarine slope angels, Drowning unconformities, and self-erosion of limestone escarpments": Geology, V. 14, no.9, p.762-765

نتیجه گیری

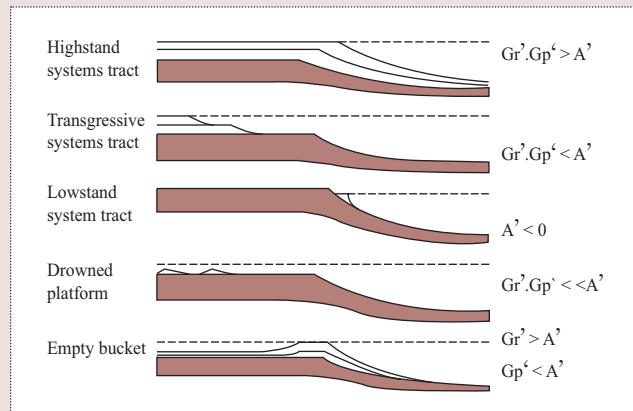
۱. توسعه و گستردگی توالی های تخریبی خیلی بیش تر از توسعه توالی های کربناته بوده و تخریبی ها در تمامی عرض های جغرافیایی پراکنده اند؛ در حالی که توالی های اصلی کربنات ها محدود به عرض های جغرافیایی پایین است.

۲. کربنات ها نسبت به تخریبی ها تغییرات سطح آب دریا را دقیق تر نشان می دهند و با آن ها بهتر می توان این تغییرات را مقایسه و کنترل نمود؛ چرا که میزان بار رسوبی کربناته ها وابسته به میزان نفوذ نور و اکسیژن است. با توجه به این که با تغییر سطح آب دریا، میزان رشد موجودات نیز متفاوت می شود؛ بنابراین کربنات ها تغییرات سطح آب دریا را بهتر منعکس می کنند.

منابع

[1] Ginsburg, A. & James, M., 1979. "The seaward margin of Belize barrier and atoll reefs: international Association of Sedimentologists Special Publication 3, 250p.

[2] Hiroyaki, A., 1996. "Basic concept of sequence stratigraphy and it's application to petroleum exploration", p.201-236 International Petroleum Technology Conference.



۲۵ | اشکال هندسی تجمعات رایج

اشکال هندسی می توانند توسط دو نرخ تراژ شوند، نرخ ایجاد فضای تولید ($A^2 = dA/dt$) و نرخ رشد کربنات و تولید (G^2). G^2 به دو نرخ رشد تقسیم می شود، سکوی کربناته حاشیه (Gr) و نرخ رشد سکوی کربناته درونی (Gp). به طور معمول Gr از Gp تجاوز می کند راس این سه الگو، شکل هندسی سه طرح برانبارش پایه ای از مدل استاندارد سکانس ها را نشان می دهد. پله ای شدن به طرف پایین، یک الگوی چیدمان پس نشست (Lowstand) را نشان می دهد. که یک نرخ منفی از ایجاد فضای تولید و یک شاخص واقعی از تغییرات سطح آب دریا است. تغییر ممکن است به دلیل پیشروی به الگوی چیدمان پیش نشست (high stand) یا برعکس توسط تغییر در نرخ رشد کربنات یا تغییر در فضای تولید ایجاد شود. الگوی پایینی، شکل هندسی خاصی از سنگ های کربناته را نشان می دهد. غرق شدگی سکوی کربناته یک بالا آمدگی کربناته است که با یک طرح بر انبارش پیشرونده خاتمه می یابد و نشان می دهد که بالا آمدن نسبی سطح آب متجاوز از نرخ رشد حاشیه و سکوهای کربناته داخلی از قبیل راس سکوی کربناته است که به طور عمیق غرق می شود و تولید متوقف می گردد. شکل هندسی empty-bucket نشان می دهد که در بعضی اوقات افزایش سطح آب دریا متجاوز از نرخ رشد سکوی کربناته داخلی است، اما بیش تر از حاشیه نیست. empty-bucket ممکن است با تکمیل غرق شدگی یا با باز یافت و شکل گیری یک الگوی چیدمان پیش نشست ادامه یابد که در مراحل اولیه در دو جهت یا به طرف لاگون یا به طرف حوضه پیشرفت می کند (Schlager, 1992)