www.takbook.com

مرجان‌های خلیج فارس و مهندسی بافت

مهدی مرادی، طوبی وارسته، ایرج نبی‌پور

مرجان‌های خلیج فارس و مهندسی بافت
مهدی مرادی، طوبی وارسته، ایرج نبی‌پور

ISBN:978-600-5032-56-7
9 786005 032567
دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

وزارت بهداشت، درمان
و آموزش پزشکی
کلان منطقهٔ پنج

مرکز تحقیقات
زیست فناوری دریایی خلیج فارس

دانشگاه علوم پزشکی
و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

بنیاد ملی نخبگان
بنیاد نخبگان استان بوشهر

www.takbook.com

بسم الله الرحمن الرحیم

مرجان‌های خلیج فارس
و
مهندسی بافت

نویسندگان:
مهدی مرادی
طوبی وارسته
ایرج نبی‌پور

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
کلان منطقهٔ پنج

مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس
پژوهشکده‌ی علوم زیست پزشکی خلیج فارس
The Persian Gulf Biomedical Sciences Research Institute

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

بنیاد ملی نخبگان
بنیاد نخبگان استان بوشهر

www.takbook.com

به نام خداوند جان و خرد

سرشناسه	:	نبی‌پور، ایرج، ۱۳۴۲ -
عنوان و نام پدیدآور	:	مرجان‌های خلیج فارس و مهندسی بافت/ نویسندگان ایرج نبی‌پور، مهدی مرادی، طوبی وارسته؛ [به سفارش] وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کلان منطقه پنج ... [و دیگران].
مشخصات نشر	:	بوشهر: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	:	۲۲۰ ص.: مصور.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۵۰۳۲-۶۸-۰
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	مرجان‌ها
موضوع	:	Corals
موضوع	:	مرجان‌ها -- ایران -- خلیج فارس
موضوع	:	Corals -- Iran -- Persian Gulf
شناسه افزوده	:	مرادی، مهدی، ۱۳۵۲ -
شناسه افزوده	:	وارسته، طوبی، ۱۳۵۵ -
شناسه افزوده	:	دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان بوشهر
شناسه افزوده	:	ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. آمایش آموزش عالی سلامت کشور. کلان منطقه پنج
رده بندی کنگره	:	QL۳۷۷/م۴ن۲ ۱۳۹۵
رده بندی دیویی	:	۵۹۳/۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۴۱۲۴۴۵

مرجان‌های خلیج فارس و مهندسی بافت

نویسندگان: مهدی مرادی، طوبی وارسته، ایرج نبی‌پور

چاپ اول: پاییز ۱۳۹۵

ویراستاری و صفحه آرایی: دارا جوکار

ناشر: انتشارات دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

چاپ:

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

این دانشنامه با حمایت‌های کرسی پژوهشی پزشکی دریایی (مصوب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور) معاونت علمی و فناوری ریاست جمهور تدوین و به زیور چاپ آراسته گردید.

وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی کلان منطقهٔ پنج

مرکز تحقیقات زیست فناوری دریایی خلیج فارس

دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر

بنیاد ملی نخبگان بنیاد نخبگان استان بوشهر

www.takbook.com

تقدیم به

جناب آقای دکتر شهرام میرزمانی

پیشکام در انتشار دانش پزشکی دریایی

www.takbook.com

www.takbook.com

فهرست مطالب

پیشگفتار ۱

فصل اول: بیولوژی مرجان‌ها ۵

مقدمه ۷
تاریخچهٔ و پیشینهٔ آبسنگ‌های مرجانی ۹
تاریخچهٔ پیدایش آبسنگ‌های مرجانی ۹
دیرین اکولوژی ریف مرجانی ۱۰
عوامل بازدارندهٔ توسعهٔ آبسنگ‌های مرجانی ۱۲
عوامل منطقه‌ای ۱۲
عرض جغرافیایی ۱۳
عوامل زیستی ۱۳
اتواکولوژی موجودات ریف ۱۵
دیرین باروری ریف ۱۸
تعامل جامعهٔ زیستی در ریف ۱۹
اکولوژی جمعیتی ریف‌های پیشین ۲۱
اثرات تغییرات آب و هوایی بر پراکنش گونه‌های زیستی در ریف‌ها ۲۳
مرز انقباض و انبساط اکوسیستم‌های مرجانی ۲۳
تنوع زیستی در طول زمان ۲۶
الگوهای سنوزوئیک ۲۶
زمان ژرف (Deep Time) ۲۹
تاریخچهٔ پراکنش جغرافیایی مرجان‌های عصر حاضر ۳۰
حفاظت از ریف‌ها ۳۲
زیست شناسی مرجان ۳۳
مرجان و رده بندی مرجانی ۳۳
رده بندی مرجان‌ها ۳۶
سیستم عصبی در مرجان‌ها ۳۸

www.takbook.com

پولیپ مرجانی ۳۹
تغذیهٔ مرجان‌ها ۴۳
سازندگان ریف‌ها ۴۴
رقابت در آبسنگ‌های مرجانی ۴۷
شکار در آبسنگ‌های مرجانی ۵۱
ستارهٔ دریایی تاج خار ۵۲
فعالیت چرا در ریف‌ها ۵۵
زندگی باهم دیگر در ریف ۶۰
زوزانتلا (Zooxanthellae): جلبک‌های تک سلولی تاژکدار همزیست با مرجان‌ها ۶۲
فیلوژنی زوزانتلاها ۶۶
توقف همزیستی جلبک‌های زوزانتلا و مرجان‌ها و پدیدهٔ سفید شدگی ۷۰
تاریخچهٔ مطالعهٔ ملکولی زوزانتلاهای هم‌زیست با ساختارهای مرجانی ۷۱
تولید مثل در مرجان‌های کربنات کلسیمی ۷۷
تکه تکه شدن Fragmentation ۷۸
تولید تخم و لارو پلانولا Brooded Planula Larvae ۷۹
پرش پولیپی Polyp Bail-out ۷۹
رانش پولیپی Polyp Expulsion ۸۰
آنتوکولی Anthocauli ۸۰
توپ پولیپی Polyp ball ۸۱
روش تولید مثل جنسی در مرجان‌های کربنات کلسیمی ۸۲
هرمافرودیت تخم نشین Hermaphroditic brooders ۸۴
تخم افشان هرمافرودیتی Spawners Hermaphroditic broadcast ۸۴
تخم نشین تک جنسی Gonochoric brooders ۸۵
تخم افشان تک جنسی Gonochoric broadcast spawners ۸۵
تولید مثل مرجان‌های کربنات کلسیمی در خلیج فارس ۸۶
تنوع گونه مرجان‌های سخت در خلیج فارس ۸۹
منابع ۹۹

فصل دوم: بیماری‌های مرجان‌ها ۱۰۷

آبسنگ‌های مرجانی و اهمیت بیماری‌های وابسته به آن‌ها ۱۰۹

www.takbook.com

بیماری‌های شایع در آبسنگ‌های مرجانی ۱۱۱
سفید شدگی (Bleaching) ۱۱۱
بیماری نوار زرد (Yellow Band Disease) ۱۱۲
بیماری نوار سفید (White Band Disease) ۱۱۲
بیماری نوار سیاه (Black Band Disease) ۱۱۳
بیماری نوار قرمز (Red Band Disease) ۱۱۳
آسیب ناشی از رسوب (Sediment Damage) ۱۱۴
رشد غیرطبیعی (Growth Anomaly) ۱۱۴
تغییر رنگ (پاسخ التهابی) Pigmentation ۱۱۴
پوشیده شدن مرجان توسط دیگر موجودات (Overgrowth) ۱۱۵
پیشینهٔ پژوهش‌ها بر روی بیماری‌های آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس ۱۱۵
بیماری نوار زرد خلیج فارس (Yellow Band Disease) ۱۱۵
بیماری نوار سیاه در خلیج فارس (Black Band Disease) ۱۱۷
بیماری نوار سفید در خلیج فارس (White Band Disease) ۱۱۷
بیماری خط و لکهٔ صورتی در خلیج فارس (Pink Spots and Pink Line Disease) ۱۱۸
پدیدهٔ کشند قرمز در خلیج فارس Red Tides (Harmful Algae Blooms) ۱۱۸
منابع ۱۲۰

فصل سوم: مرجان‌های شناسایی شدهٔ خلیج فارس ۱۲۵

۱) *Acanthastrea hillae* ۱۲۷
۲) *Acanthastrea echinata* ۱۲۷
۳) *Acanthastrea maxima* ۱۲۷
۴) *Acanthastrea hemprichii* ۱۲۸
۵) *Acropora khayranensis* ۱۲۸
۶) *Acropora downingi* ۱۲۹
۷) *Acropora nasuta* ۱۲۹
۸) *Acropora arabensis* ۱۳۰
۹) *Acropora valida* ۱۳۰
۱۰) *Acropora clathrat* ۱۳۱
۱۱) *Anacropora forbesi* ۱۳۱

www.takbook.com

۱۲) *Montipora tuberculosa* ۱۳۲
۱۳) *Montipora spumosa* ۱۳۲
۱۴) *Montipora aequituberculata* ۱۳۳
۱۵) *Montipora c.f. danae* ۱۳۳
۱۶) *Montipora incrassate* ۱۳۴
۱۷) *Barabattoia amicorum* ۱۳۴
۱۸) *Favites pentagona* ۱۳۵
۱۹) *Favites peresi* ۱۳۵
۲۰) *Favites flexuosa* ۱۳۵
۲۱) *Favites micropentagona* ۱۳۶
۲۲) *Favites chinensis* ۱۳۶
۲۳) *Favites spinosa* ۱۳۶
۲۴) *Favia pallida* ۱۳۷
۲۵) *Favia maxima* ۱۳۷
۲۶) *Favia speciosa* ۱۳۸
۲۷) *Favia matthaii* ۱۳۸
۲۸) *Favia veroni* ۱۳۸
۲۹) *Plesiastrea devantieri* ۱۳۹
۳۰) *Plesiastrea versipora* ۱۳۹
۳۱) *Leptastrea transversa* ۱۳۹
۳۲) *Leptastrea pruinosa* ۱۴۰
۳۳) *Leptastrea purpurea* ۱۴۰
۳۴) *Platygyra daedalea* ۱۴۰
۳۵) *Platygyra acuta* ۱۴۱
۳۶) *Leptoria Phrygia* ۱۴۱
۳۷) *Cyphastrea serailia* ۱۴۲
۳۸) *Cyphastrea microphthalma* ۱۴۲
۳۹) *Cyphastrea chalcidicum* ۱۴۲
۴۰) *Goniastrea australensis* ۱۴۳
۴۱) *Echinopora gemmacea* ۱۴۳

www.takbook.com

۴۲) *Echinopora grandicula* ۱۴۳
۴۳) *Echinopora hirsutissima* ۱۴۴
۴۴) *Goniopora djiboutiensis* ۱۴۴
۴۵) *Goniopora columna* ۱۴۵
۴۶) *Goniopora lobata* ۱۴۶
۴۷) *Porites compressa* ۱۴۶
۴۸) *Porites harrisoni* ۱۴۷
۴۹) *Porites lobata* ۱۴۷
۵۰) *Porites lutea* ۱۴۸
۵۱) *Porites solida* ۱۴۹
۵۲) *Porites somaliensis* ۱۴۹
۵۳) *Stylophora pistillata* ۱۵۰
۵۴) *Stylophora subseriata* ۱۵۱
۵۵) *Pocillopora damicornis* ۱۵۱
۵۶) *Turbinaria peltata* ۱۵۱
۵۷) *Turbinaria reniformis* ۱۵۲
۵۸) *Siderastrea savignyana* ۱۵۲
۵۹) *Coscinaraea monile* ۱۵۳
۶۰) *Coscinaraea columna* ۱۵۳
۶۱) *Anomastraea irregularis* ۱۵۳
۶۲) *Psammocora digitata* ۱۵۳
۶۳) *Psammocora contigua* ۱۵۴
۶۴) *Psammocora stellata* ۱۵۴
۶۵) *Pseudosiderastrea tayami* ۱۵۴
۶۶) *Psammocora profundacella* ۱۵۵
۶۷) *Hydnophora pilosa* ۱۵۵
۶۸) *Symphyllia recta* ۱۵۶
۶۹) *Symphyllia radians* ۱۵۶
۷۰) *Heterocyathus aequicostatus* ۱۵۶
۷۱) *Pavona diffluens* ۱۵۷

www.takbook.com

۷۲) *Pavona frondifera* ۱۵۷
۷۳) *Pavona decussata* ۱۵۷

فصل چهارم: کاربرد مرجان‌ها در مهندسی بافت ۱۵۹

مهندسی بافت ۱۶۱
داربست‌ها ۱۶۲
سلول‌ها ۱۶۵
فاکتورهای رشد ۱۶۷
نقش مرجان‌ها در مهندسی بافت استخوان ۱۶۸
اسکلت بیرونی مرجان طبیعی به عنوان جایگزین پیوند استخوان ۱۷۲
هیدروکسی آپاتیت مرجانی به عنوان جایگزین پیوند استخوانی ۱۸۱
سینرژیسم فاکتورهای رشد، سلول‌های بنیادی و داربست‌های مرجانی در مهندسی بافت ۱۸۹
مطالعات بر روی مرجان‌های خلیج فارس در مهندسی بافت ۱۹۵
کشت و پرورش مرجان و مهندسی بافت ۱۹۸
نگاه به آینده ۱۹۹
منابع ۲۰۲

پیوست اول ۲۰۷

پیوست دوم ۲۱۵

www.takbook.com

پیشگفتار

به نام آفرینندهٔ دریاها

همان‌گونه که می‌دانیم، در رهیافت میان رشته‌ای، نه تنها بر روی یک پروژهٔ مشترک کار می‌شود (مانند رهیافت چند رشته‌ای)، بلکه یک درهم تنیدگی یا یکپارچگی نیز در روش‌ها، تئوری‌ها و مفاهیم رشته‌های گوناگون روی می‌دهد تا درک ژرفی را از الگوهای سیستم‌های پیچیده و نیز فرآیند در هم تنیدگی به دست آید. مهندسی بافت، نمونهٔ بارز یک علم میان رشته‌ای است که از گسترهٔ توسعه مواد زیستی در قالب بافت‌های عملکردی، داربست‌ها، سلول‌ها و ملکول‌های فعال زیستی، در قالب بافت‌های عملکردی، بهره می‌برد. هدف مهندسی بافت از هم گذاری این اجزاء عملکردی آن است که این اجزاء بتوانند بافت‌های آسیب دیده و یا یک عضو را به صورت کامل به حالت نخستین بازگردانده، یا پا برجا کرده و یا اینکه بهبود ببخشند.

هر چند دانش مهندسی بافت، چهره و منش میان رشته‌ای دارد، امّا هنگامی این دانش سیمای پیچیدگی از خود نشان می‌دهد که به گسترهٔ دریا نیز ورود نماید. گسترهٔ دریا چنان بی‌انتها، پیچیده و رمز آلود است که بی‌شک آمیزش مباحث مهندسی بافت با این گستره، نویدگر کشفیات و کاربردهای بسیار شگفت انگیز خواهد بود.

پیش از ورود به گسترهٔ دریا و به‌کارگیری مواد زیستی دریایی برای داربست‌های بافتی، شناخت فاکتورهای رشد با منشأ دریا و نیز کاشت سلول‌های پرتوان یا دارای توان چندگانه بنیادی در این داربست‌ها، به شناخت ژرفی از زیستمندان دریایی نیاز دارد. این شناخت می‌بایست چنان عالمانه باشد تا بتواند در چهرهٔ عمل، ویژگی‌های بیولوژیک، فیزیکی و شیمیایی ساختارهای موجود را آشکار نماید.

اسکلت مرجان‌ها، همراه با ساختار پرمنفذ بسیار به هم پیوسته‌ای که دارند، آن‌ها را جهت ساخت داربست‌های مهندسی بافت بسیار مناسب نموده است. یکی از کاربردهای

www.takbook.com

برجستهٔ مرجان‌ها در مهندسی بافت، کاربرد آن‌ها در مهندسی بافت استخوانی است. این زیستمندان، مناسب جایگزین پیوند استخوان بوده و به دلیل زیست پذیری بسیار عالی، می‌توان از آن‌ها در ارتوپدی و جراحی‌های پلاستیک و دندان پزشکی، استفاده کرد.

شاید حد ایده آل در مهندسی بافت مرجان‌های سخت آن باشد که به روزی برسیم که بتوان سلول‌های زاینده (Progenitor) همراه با شبکهٔ کامل ملکول‌های زیستی مؤثر در زیست، ایمن پذیری، رشد، تمایز و دیگر فعالیت‌های متابولیکی را که از نقشه‌های پروتئومیک و متابولومیک شبکه‌های بازآفرینشی فراهم آمده‌اند را در کنار اجزاء داربست‌های مرجانی به گونه‌ای آراست که امکان ایجاد شبکهٔ رگ‌زایی و ساخت بافت‌های سه بعدی با تمام نیازهای گردشی و تأمین مواد مغذی و متابولیتی آن‌ها در بیرون امکان‌پذیر شده تا این سازه‌های نیمه صناعی را در کوتاه‌ترین زمان بر اساس نیازهای بافتی مورد نیاز با چاپگرهای سه بعدی، هماهنگ با فرد گیرندهٔ پیوند، با رعایت تمام موارد پزشکی فردگرایانه (Personalized Medicine)، آفرینش نمود تا جایگزین مناسبی برای بافت‌های از دست رفته و یا صدمه دیده در تروماها و یا دژنره در گذار پیری شوند.

امّا شاید پیش از رسیدن به این افق، همان‌گونه که اشاره شد، ما نیازی بی‌انتها به دانش پیرامون بیولوژی مرجان‌ها و شناخت سیستماتیک آن‌ها داریم. بسیار جای سرافرازی است که جناب آقای مهدی مرادی که از دانشجویان برجستهٔ مقطع دکترا در ریودوژانیروی برزیل می‌باشند، دست یاری ما را به گرمی فشرده‌اند و با دانش گسترده و عشق بی‌انتهایی که به مرجان‌ها، به ویژه مرجان‌های خلیج فارس دارند، توانسته‌اند بخشی از رازهای بیولوژیک مرجان‌ها را به رشتهٔ تحریر درآورند. همچنین ایشان در بخش سیستماتیک مرجان‌های خلیج فارس نیز با استفاده از تجربیات میدانی خود و نیز دیدگاه‌های برجستهٔ اساتید فن، به ویژه دانشمندان ایرانی، به توصیف بیش از هفتاد گونه از مرجان‌های خلیج فارس پرداخته‌اند. همچنین سرکار خانم طوبی وارسته نیز که از دانشجویان مقطع دکترا در برزیل می‌باشند به صورت استادانه‌ای نیز به معرفی بیماری‌های مرجان‌ها اهتمام ورزیده‌اند. امید است با دست توانای این دانشمندان آیندهٔ این مرز و بوم،

www.takbook.com

بتوانیم شاهد رونمایی از اطلس جامع مرجان‌های خلیج فارس باشیم.

در اینجا این حقیر بر خود لازم می‌داند از همکاران بسیار عزیزم جناب آقای مهندس دارا جوکار، جناب آقای مهندس حسین آذری و سرکار خانم صفایی که در ساماندهی این نوشتار ما را یاری دادند، صمیمانه قدردانی نماید.

ما مالک خلیج فارس به عنوان یک نعمت الهی هستیم و این دریا مملو از جانوران بی‌مهره‌ی کلسیفه کننده (Calcifying) هستند که دارای ماتریکس‌های ارگانیک اسکلتی می‌باشند که می‌توان از آن‌ها به عنوان منبع پتانسیلی برای یافت پروتئین القاء کنندهٔ رشد که تا کنون مورد پژوهش قرار نگرفته‌اند، استفاده برد و گستره‌های نوینی را فراروی پژوهشگران عرصه‌های مهندسی بافت و پزشکی بازآفرینشی گشود. در دسترس بودن شواهد کافی برای وجود آنالوگ‌های پروتئین ماتریکس استخوانی در بی‌مهرگان دریایی همراه با شیوه‌های جدید برای کشت و پرورش نوآورانه آن‌ها در مقیاس‌های پژوهشی و حتی تجاری جهت به دست آوردن یک منبع پایدار پروتئین‌های دریایی با توان کاربردهای پزشکی، این افق را بسیار روشن می‌نماید.

دکتر ایرج نبی پور

رئیس پژوهشکده علوم زیست پزشکی خلیج فارس

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل اول

بیولوژی مرجان‌ها

مهدی مرادی، طوبی وارسته

www.takbook.com

www.takbook.com

مقدمه

نخستین کتاب پیرامون مرجان‌ها در سال ۱۷۷۰ توسط ژوزف بانکز (Joseph Banks)، پس از دیدن آبسنگ‌های بزرگ مرجانی در استرالیا(Great Barrier Reef) نوشته شد. در آن قرن، اطلاعات چندانی پیرامون مرجان‌ها موجود نبود و شکاف ژرفی پیرامون اهمیت مرجان‌ها برای حیات زمین وجود داشت. شاید بتوان گفت در گذشته علاقه‌ای به شناخت این ساختارهای عظیم، وجود نداشت و دلیل این بی‌توجهی در درجهٔ اول بدان جهت بود که در آن زمان آبسنگ‌های مرجانی یکی از دلایل ثابت و مهم در غرق شدن کشتی‌ها به شمار می‌رفتند؛ البته این ناگاهی بسیار تعجب برانگیز است زیرا که بیش از یک سوم سواحل جهان در مناطق حاره‌ای، دارای آبسنگ‌های مرجانی هستند. در سال‌های بعد، کتابی بسیار ارزنده توسط چارلز داروین در سال ۱۸۴۲ به رشته چاپ درآمد. در این کتاب، آبسنگ‌های مرجانی در نقاط گوناگون دنیا به صورت جامع مقایسه و توضیح داده شده بود. جالب توجه آنکه تا طی ۳۰ سال بعد، کتاب داروین، بهترین منبع علمی شناخته شده پیرامون آبسنگ‌های مرجانی در دنیا به شمار می‌رفت؛ البته آن چیزی که اهمیت کتاب داروین را صد چندان می‌کند (به طوری که امروزه نیز از ارزش آن کاسته نشده است) تئوری شکل‌گیری آتول[1] بود که از آن زمان تا کنون هیچ یافته علمی‌ای نتوانسته بر تئوری نوشته شده داروین، شبه‌ای وارد نماید.

سپس، در سال ۱۸۷۲ کتابی با عنوان مرجان‌ها و آبسنگ‌های مرجانی[2] توسط دانا جیمز (James Dana)، به چاپ رسید. جیمز به همراه سایر نویسندگان از جمله جوکس (Jukes) در سال ۱۸۴۷ تلاش کردند تا نظریه آتول که توسط داروین ارائه شده بود را به

[1] Atoll
[2] Corals and Coral Reefs

www.takbook.com

چالش بکشند؛ امّا هیچ تلاش علمی‌ای تاکنون نتواسته است فرضّیهٔ داروین را رد کند. یافته علمی دانش نوین بر پایه مطالعات زمین شناسی تاریخی[1] و استفاده از مته‌های حفاری (Drill Cores) در سال‌های اخیر در کلونی‌های بزرگ مرجانی در نقاط گوناگون جهان، برای درک تاریخچه شکل‌گیری آبسنگ‌های مرجانی، صحت نظریه او را تائید کرده‌اند.

علاقه به مطالعه پیرامون مرجان‌ها (نه آبسنگ‌های مرجانی و ریف ها)، از اوایل قرن ۱۸ شروع شد. مرجان‌ها از نقاط گوناگون دنیا در سفرهای اکتشافی جمع آوری گردیده و به مدت‌های طولانی در کشتی‌ها نگهداری می‌شدند. با مرجان‌های رنگ‌آمیزی شده که در موزهای اروپایی و آمریکایی به معرض نمایش گذاشته شدند، برای بازدیدکنندگان جالب توجه بود. جالب بودن مرجان‌ها در درجه اول به خاطر شکل گوناگون آنها است. مرجان‌ها دارای گونه‌ها و جنس‌های متنوعی می‌باشند که دارای اشکال زیبا و گوناگونی هستند. به تدریج سفرهای گوناگون دریایی، به منظور شناسایی گونه‌های مرجانی، شروع شد؛ البته همه این اکتشافات تا سال‌های زیادی، بدون استفاده از مطالعات غواصی بود. در سال‌های بعد، مطالعات زیادی در مناطقی مانند دریای سرخ[2]،ژاپن، فلیپین؛ هاوایی، مناطق کارائیب و استرالیا انجام شد. در مجموع، از آن زمان تا کنون، بیشتر از ۴۰۰ کتاب و دست نوشته پیرامون مرجان‌های همزیست با (زوزانتلاها) و بیش از ۲۰۰۰ نوشتار پیرامون شناسایی و نام‌گذاری مرجان‌ها منتشر شده است.

با وجود این، متاسفانه، بسیاری از این انتشارات حاصل مطالعات ضعیف و توضیحات ناقص در مورد گونه‌های گوناگون مرجان‌ها و در پاره‌ای از موارد از مکان‌هایی نامشخص می‌باشند و از این رو، بسیاری از آنها از لحاظ علمی غیرقابل استناد می‌باشند. خوشبختانه، از اواسط سال ۱۹۷۰، یافته‌های علمی، شکل قابل درک‌تری به خود گرفت. به طوری که در اواسط ۱۹۸۰، نگرانی پیرامون اهمیت سلامت مرجان‌ها برای اولین بار در نهادهای بین

[1] Paleoenvironmental studies
[2] Red Sea

www.takbook.com

المللی سیاسی مطرح شد. استرالیا به عنوان اولین پیشرو، قانون حفاظت از آبسنگ‌های بزرگ مرجانی Greet Barrie Reef را وارد سیاست‌های کلان کشوری نموده است. هرساله، هزاران نفر از سراسر دنیا، پس از یادگیری غواصی، آبسنگ‌های مرجانی استرالیا را مکانی زیبا برای غواصی می‌یابند. بنابراین، لازم بود که قوانینی برای حفاظت از مرجان‌ها در این منطقه وضع شود. امّا شرایط در کشورهای فقیر و در حال توسعه به این خوبی نیست و فشار اقتصادی و کسب درآمد از صنعت توریسم، به ناچار آبسنگ‌های مرجانی را در معرض خطری گسترده قرار داده است(Veron, 2000) . در کشور ما نیز توسعه بخش‌های صنعتی، نفتی، شیلات و صیادی و بسیاری از عوامل دیگر، عرصه را بر مناطق دارای آبسنگ‌های مرجانی، روز به روز، تنگ‌تر کرده است.

تاریخچهٔ و پیشینهٔ آبسنگ‌های مرجانی

تاریخچهٔ پیدایش آبسنگ‌های مرجانی

آبسنگ‌های مرجانی یکی از قدیمی‌ترین اکوسیستم‌های به وجود آمده در سطح کره زمین می‌باشند که تاریخچه پیدایش آن‌ها به بیش از صدها میلیون سال (بیش از ۳۵۰میلیون سال) پیش بر می‌گردد (Pandolfi, 2011). برای شناخت بهتر پیشینه مرجان باید با واژه دیرین اکولوژی (Paleoecology) مرجان آشنا شویم. دیرین اکولوژی، دانشی است که در آن به مطالعه فراوانی و پراکنش موجودات بر اساس فسیل‌های باقی مانده از آنها می‌پردازد. برای آشنایی بهتر با این واژه، نیاز است که واژه فسیل[1] را نیز بهتر بشناسیم. درباره فسیل، دیدگاههای گوناگونی وجود دارد؛ امّا در حالت کلی، فسیل، باقی مانده جانوران است که آثار آنها در داخل رسوبات یا سنگ‌ها حفظ شده‌اند. برای درک بهتر حال و پیش بینی اکوسیستم‌ها در آینده، ما به شناخت و مطالعه فسیل‌های جانوری نیاز داریم. فسیل‌ها، نماینده شرایط گوناگون زیستی در دوره‌های زمانی ویژه‌ای هستند که برای سال‌های متمادی تکرار شده‌اند و با مقایسه آنها می‌توان علل تغییر اکوسیستم‌ها را بهتر

[1] Fossil

www.takbook.com

درک نمود. با این حال، برای درک کامل تغییرات زیست محیطی، تنها مطالعه فسیل‌ها کافی نبوده و نیاز به مطالعات آزمایشگاهی نیز است. در حالت کلی، می‌توان از الگوهای ثبت شده توسط فسیل‌ها، فرایندهای بالقوه‌ای که می‌توانند به صورت بنیادی تغییرات بزرگ در اکوسیستم‌ها را موجب شوند، استباط کرد. امروزه این علم دیرین اکولوژی نامیده می‌شود (Pandolfi, 2011).

دیرین اکولوژی ریف مرجانی

در ابتدا با تعریف دقیق و علمی آبسنگ‌های مرجانی (Coral Reef) شروع می‌کنیم. معنای علمی واژهReef کاملا مستقل از مرجان است و می‌تواند اجتماعات زیستی گوناگونی را شامل شود، واژه ریف به ساختارهای آهکی گفته می‌شود که حاصل ترشح کربنات کلسیم از موجوداتی است که در درون این ساختارهای زیستی زندگی می‌کنند. بیشترین توده زیستی تشکیل دهنده این اکوسیستم‌ها را مرجان‌ها به خود اختصاص می‌دهند. این به معنای آن است که افزون بر مرجان‌ها، سایر جانوران، از جمله جلبک‌های قرمز[1] (یا coralline algae)، اسفنج ها[2]، تونیکات ها[3] و حتی آبزیان مهره دار و بی‌مهره نیز در سازماندهی و تشکیل ریف‌ها، نقش مهمی دارند. آبسنگ‌های مرجانی یکی از قدیمی‌ترین اکوسیستم‌ها بر روی زمین می‌باشند که به دنبال بزرگترین انقراض زیستی تاریخ در طول رویدادهای پرمئوتریاس Permo-Triassic(در حدود ۲۵۱ میلیون سال قبل) مرجان‌های کربنات کلسیمی[4]، دوکفه‌ای‌ها[5] و جلبک‌های قرمز، ساختاری عظیم و مقاوم در برابر امواج دریا را ایجاد کردند.

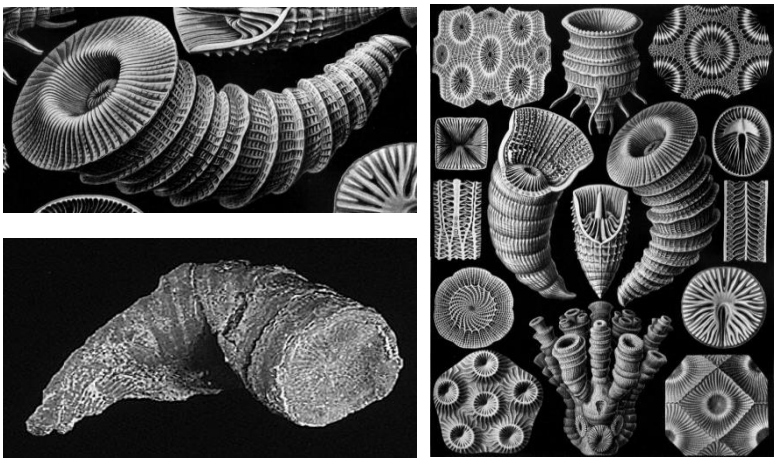
از ریف‌های یافت شده فسیلی اولیه می‌توان این نتیجه را دریافت نمود که در دوره انفجار

---

[1] Red algae
[2] Calcareous sponges
[3] tunicate (Saffo and Lowenstam, 1978)
[4] Scleractinian corals
[5] Bivalve molluscs

www.takbook.com

کامبرینی(Cambrian Explosion[۱])، بعضی از سخت‌پوستان ابتدایی، حالتی شبیه به ریف را در اشکال گوناگون (با چسبیدن و زندگی در کنار یکدیگر) در بستر دریاها ایجاد کردند که شاید بتوان آنها را ریف‌های ابتدایی نامید. این ساختارهای نخستین، طوری چیدمان می‌شدند که تشخیص واحدهای انفرادی در آنها بسیار مشکل بود (Wood, 1999) شکل ۱.



شکل ۱: آنتوزاها به طور معمول به صورت کلنی زیست کرده‌اند. کلاس آنتوزاها به احتمال قوی در دورهٔ پرکامبرین (۵۰۰ میلیون سال پیش) به وجود آمده‌اند. شکل a گونه‌های گوناگون از آنتوزاها در دورهٔ کامبرین را نشان می‌دهد. با این حال مرجان‌های امروز که با نام مرجان‌های کربنات کلسیمی شناخته می‌شوند در حدود ۲۴۸-۲۰۶ میلیون سال گذشته در دورهٔ تریاس به وجود آمدند (Kocurko, 1993). یکی از اولین اجداد مرجان‌های کربنات کلسیمی است که در اواسط دوره کامبرین به وجود آمد. با این حال در این دوره مانند عصر جدید، مرجان‌ها قسمت عمدهٔ ریف‌ها را شامل نمی‌شدند و حجم عمدهٔ تودهٔ زیستی ریف‌ها در دورهٔ کامبرین از جلبک‌های کربنات کلسیمی، اسفنج‌ها و bryozoans تشکیل می‌شد (Bridge *et al.* 1992).

---

[۱] دورهٔ کامبرین (حدود ۵۳۰-۵۴۰ میلیون سال قبل) یک نقطه مهم زیستی در طول حیات کرهٔ زمین است چرا که در این دوره با توجه با مطالعات فسیل شناسی، اولین جانوران دارای ساختارهای زیستی نسبتاً پیشرفته، شکل گرفته‌اند. این دوره به انفجار کامبرینی (Cambrian Explosion) نیز شناخته می‌شود چرا که در این دوره تنوع جانوری به حالت انفجار گونه‌ای در دریاها شکل گرفت که علل مهم آن را می‌توان به وجود آمدن اکسیژن در اقیانوس‌ها نسبت داد (Wang *et al*, 1999).

www.takbook.com

عوامل بازدارندهٔ توسعهٔ آبسنگ‌های مرجانی

عوامل منطقه‌ای

در درجه اول چنین به نظر می‌رسد که رشد و توسعه آبسنگ‌های مرجانی تابع شرایط محیطی است. شرایط محیطی شامل انرژی امواج، کیفیت آب، کدورت، نور، شوری، جریانات دریایی و امواج بوده که از عوامل کنترل کننده رشد مرجان‌ها هستند. مرجان‌های موجود در منطقه کارائیب، مدل فضایی خوبی برای درک اثر عوامل محیطی بر روی مرجان‌ها هستند چون که در این منطقه می‌توان مرجان‌های باقیمانده از دوره پلیستوسن[1] (حدود ۲/۶ میلیون سال گذشته) را به همراه مرجان‌های عصر جدید مشاهده کرد. بیشتر تلاش‌های اولیه در مورد درک عوامل کنترل کننده رشد مرجان‌ها در طول زمان بر این فرضیه استوار بود که متغیرهایی از قبیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب، جریانات اقیانوسی در طول زمان، سطح آب دریا، دمای سطح آب و میزان گازکربنیک موجود در جو، مهمترین عوامل ممانعت کننده از توسعه آبسنگ‌های مرجانی در اقیانوس‌ها هستند. مطالعه‌ای توسط مونتاژیونی (Montaggioni) در سال ۲۰۰۵ نشان داده است که عوامل منطقه‌ای مانند ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب و عوامل جهانی (از قبیل میزان گازکربنیک، میزان سطح آب اقیانوس‌ها و دمای سطح آب اقیانوس‌ها) نقش مهمی را در کنترل رشد مرجان‌ها از دوره سنوزوئیک Cenozoic تا دوره هلوسن Holocene داشته‌اند. با این حال، مطالعات بر روی دورهٔ طولانی مدت از ۵۴۰ میلیون سال قبل دورهٔ فانروزویک (Phanerozoic) نشان داد که تغییرات جهانی آب و هوایی توانسته‌اند تاثیرگذاری عمده‌ای در تنوع گونه‌ای آبسنگ‌های مرجانی ایجاد کرده و بر شدت رقابت‌های گونه‌ای در بین جوامع زیستی ریف‌ها نقش ایفا نمایند. امّا نه ویژگی‌های فیزیکوشیمایی آب و نه تغییرات آب و هوایی در طولانی مدت هیچ‌کدام نتوانسته‌اند مرجان‌ها را به تدریج با کاهش سطح پوشش آنها، در یک تراژدی غمناک، نابود کنند. (Kiessling 2009). پس پرسشی که در اینجا پیش می‌آید این است که عامل مهم محدود کننده رشد مرجان‌ها چه می‌باشد؟

[1] Pleistocene (about 2,588,000 to 11,700 years ago)

www.takbook.com

عرض جغرافیایی

پارامترهای تاثیر گذار بسیاری از جمله دمای آب، نور، جریان‌های اقیانوسی، پراکنش لاروهای مرجانی، میزان مواد آلی، میزان رقابت بین مرجان‌ها و جلبک‌ها در اکوسیستم که می‌توانند رشد مرجان را کاهش دهند، از عوامل مرتبط با عرض‌های جغرافیایی هستند. اصولاً، پراکنش مرجان‌ها در مناطق استوایی، در میان عرض‌های ۳۰ درجه شمالی و جنوبی خط استوا، محدود گردیده و این محدودیت از زمان گذشته خود را نشان داده است. در دوره سیلورین Silurian (حدود ۴۴۳- ۴۱۷ میلیون سال پیش)، آبسنگ‌های مرجانی کهن (همانند آبسنگ‌های مرجانی امروز) خود را با شرایط مناطق گرمسیری سازش داده‌اند. امّا پیش از دوره فانروزویک Phanerozoic (حدود ۵۴۱ میلیون سال گذشته تا کنون) هیچ گونه ارتباط خطی بین میزان توسعه ریف‌های نخستین با مختصات جغرافیایی یافت نمی‌شود؛ به بیان ساده‌تر، پیش از این دوران، به هیچ وجه، ریف‌ها در مناطق استوایی متمرکز نبوده‌اند(Kiessling 2001).

عوامل زیستی

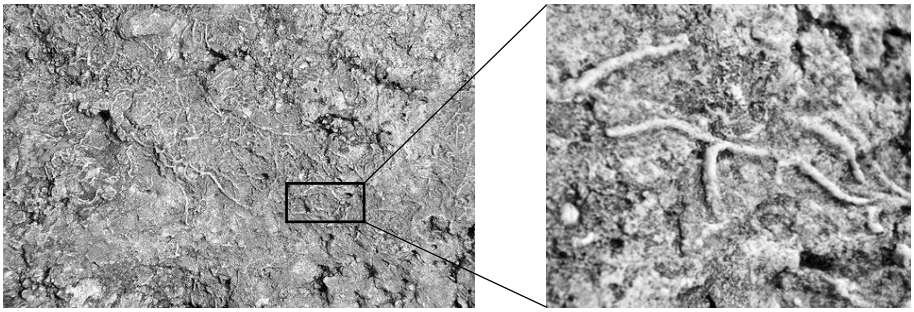
دیرینه شناسان[1] از ریف‌های باستانی به عنوان مدلی برای شناخت توالی‌های اکولوژیک و تغییرات جمعیتی در منطقه‌ای ویژه در دوران‌های گوناگون زمانی، استفاده می‌کنند. از طریق فسیل‌های به جا مانده در طول تاریخ، دیرینه شناسان می‌توانند، علل میزان و شدت تغییرات اکولوژیک را به درک خوبی کنند. چهار فاز اصلی جانشینی اکولوژیک در هشت ریف باستانی از دوره پیشین اردویسین[2] (۴۸۸ میلیون سال قبل) تا اواخر دوره کرتاسه[3] (۶۵/۵ میلیون سال قبل)، بر مبنای مطالعات فسیل شناسی، ترسیم

[1] Paleontologists
[2] Ordovician
[3] Cretaceous

www.takbook.com

شده است. این چهار فاز شامل: مرحله پایدار شدن[1]، کلنی سازی[2]، تنوع گونه‌ای[3] و مرحلهٔ چیرگی[4] یا برتری گونه‌های ویژه می‌باشد.

در مرحله پایدارشدن، کلنی‌هایی بر روی بستر دریا ایجاد گردیده که منجر به تشکیل یک توده زیستی در کف دریا می‌شوند. در مرحله کلنی سازی، بعضی از جانوران شروع به ایجاد بسترهایی سخت و پایه بر روی این توده زیستی می‌کنند که بعداً بر روی این بسترها، ساختارهای سه بعدی کربنات کلسیمی بیشتری قرار می‌گیرند. به این ترتیب بر روی لایه‌های رسوبی شنی، ساختارهایی سخت به وجود می‌آیند که ساختارهای پایه‌ای Reef Encrusters نامیده می‌شوند (شکل ۲). بعضی از پژوهشگران این دو مرحله را یک مرحله می‌نامند.



شکل ۲: بسترهای فسیلی برای تشکیل ریف با نام *Spaghetti encrusters* در جزیرهٔ سان سالوادور (San Salvador) در باهاما (Bahamas)

این مرحله در جنگل معادل مرحله ظهور پیشگامان اولیه برای پیداش آن است که ابتدا بستری زیستی متشکل از گیاهان اولیه و آغازیان (شامل قارچ‌ها، خزه‌ها و سایر گیاهان ابتدایی) در خاک به وجود می‌آید که زمینه را برای ظهور گیاهان پیشرفته و در

[1] stabilization
[2] colonization
[3] diversification
[4] domination

www.takbook.com

نهایت درختان فراهم می‌کنند. مرحله سوم برای پیداش و گسترش جوامع ریف، مرحله تنوع می‌باشد که در این مرحله، حداکثر تنوع جانوری شکل می‌گیرد. امّا این تنوع با ورود به مرحله چهارم (مرحله چیرگی گونه‌های ویژه)، توالی اکولوژیک، حالت تخصصی به خود می‌گیرد؛ به این صورت که طبقه بندی جوامع گونه‌ای شکل می‌گیرد و گونه‌هایی با ویژگی‌های ویژه در این جوامع زیاد می‌شوند. از سوی دیگر، تنوع بعضی گونه‌ها تعدیل یا کاهش یافته و گونه‌های ویژه‌ای که در پیکره ریف دارای برهم کنش و تعادل با یکدیگر هستند، چیرگی می‌یابند و در نهایت در این مرحله، زنجیره غذایی در ریف، نظم یافته و سیر صعودی خود را می‌پیماید. معمولاً، این توالی‌های جانشینی در طی فواصل گوناگون زمانی رخ می‌دهد که نتیجه تغییر تدریجی گونه‌های جوامع ریف و توسعه و توزیع انرژی در طول زمان بر پایهٔ ویژگی‌های اکولوژیک جوامع ریف است. البته زمانی که آشتفتگی‌های زیست محیطی باعث تخریب جوامع موجود در ریف می‌شوند می‌توان تغییرات توالی جمعیتی را در کوتاه مدت مشاهده کرد. در این حالت، جوامع زیستی که قبل از وقوع آشفتگی‌های زیست محیطی در اوج بودند، به سرعت کاهش می‌یابند و بعد از پایان آشتفتگی‌های محیطی (درست همانند توالی‌های جانشینی طولانی مدت) جوامع ریف مجدداً شروع به افزایش و بازسازی جمعیت گونه‌ای می‌کنند(Pandolfi, 2011).

اتواکولوژی[1] موجودات ریف

اتواکولوژی دانشی است که به مطالعه اکولوژیک یک ارگانیسم ویژه و گاهی یک گونه ویژه می‌پردازد. در بحث فسیل، با استفاده از علم اتواکولوژی، یک نگاه اجمالی به فرایندهای بیولوژیکی که در جوامع ریف در گذشته رخ داده‌اند، خواهیم داشت. به عنوان مثال، با استفاده از این دانش (1981)کافمان(Kaufman) نشان داده که گال‌های[2] موجود در روی کلنی‌های مرجان شاخ گوزنی Acropora در دوره پلیستوسن حاکی از آن است

[1] Autecology
[2] Gall

www.takbook.com

که قلمرو باستانی دوشیزه ماهی[1] سه خال، در آبسنگ‌های مرجانی دریای کارائیب، بوده است. استفاده از دانش اتواکولوژی در مطالعات دیرینه شناسی، برای درک بهتر فرایندهای زیستی کنونی و آینده مهم می‌باشد، زیرا می‌توان به درک درستی پیرامون چگونگی کارکرد فرایندهای زیستی نایل شد و به این پرسش پاسخ داد که چگونه جامعه اکولوژیک می‌تواند مستعد پذیرش تغییرات محیطی و آشفتگی‌های زیستی باشد و اینکه تغییرات زیست محیطی به چه شکل در حفظ تنوع و بقای گونه‌ای موثر بوده‌اند.

همانند مرجان‌های امروزی، نسل‌های پیشین آنها نیز قادر به ایجاد ساختارهای سه بعدی بر روی بسترهای سخت دریایی بودند. اشاره به این نکته لازم است، هنگامی که از واژه ریف یاد می‌شود (همانطور که در ابتدای این بحث گفته شده است) به معنای آن نیست که تنها سازندگان اصلی ریف‌ها، مرجان‌ها هستند بلکه مرجان‌ها اکثریت سهم را در ساختن ریف‌ها به خود اختصاص می‌دهند. البته در دوران پیشین زمین شناسی، سهم مرجان‌ها در ساختن ریف، به نسبت امروز، نبوده است. چنانکه بر مبنای مطالعات اتواکولوژی و فسیل شناسی در دوره کرتاسه (حدود ۱۴۴-۶۵ میلیون سال قبل)، مشخص شده است که صدف‌های دو کفه‌ای معروف به رادیست Rudist[2] نیز قادر به ایجاد ریف‌های بسیار باشکوه و متنوع بوده‌اند، به طوری که رقابتی شدید با مرجان‌ها برای تشکیل ریف‌ها، داشته‌اند (شکل ۳). با این حال، برخی با این عقیده موافق نیستند و بر این باور هستند که رادیست‌ها جز جانوران ریف ساز نبوده و تنها به صورت گروهی در بسترهای شنی به صورت گذرا، استقرار یافته و قادر به جابجایی بودند.(Gili *et al.* 1995) با وجود تناقض عقاید، این جانوران قادر به ایجاد ساختاری‌های آهکی با نام استروماتولیت‌ها

---

[1] damselfish (*Eupomacentrus planifrons*)

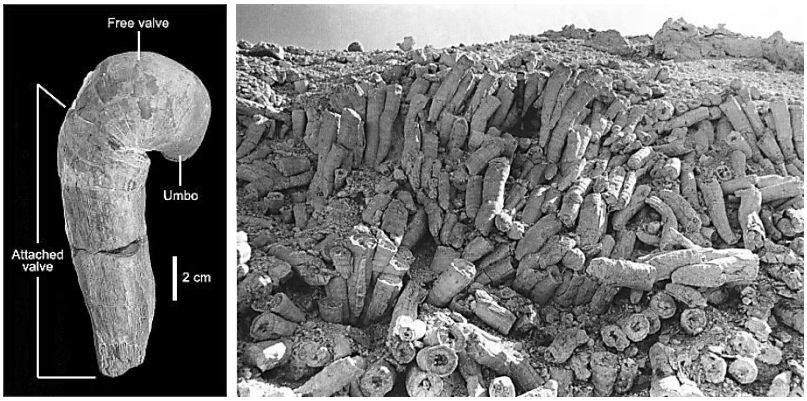
[2] رادیست‌ها جانورانی بودند که در اواخر دورهٔ ژوراسیک تا دوره کرتاسه پسین زندگی می‌کردند، دارای اشکال مختلفی هستند (پایه معمولاً نوک تیز و بدنه دارای اشکال متفاوت در گونه‌های مختلف بوده است) که از قسمت پایه خود به بستر دریا متصل می‌شدند. امروزه می‌توان فسیل آنها را در خاورمیانه (به خصوص منطقه خلیج فارس)، دریای مدیترانه، منطقه کارائیب و نواحی جنوب شرقی آسیا پیدا کرد.

برای اطلاعات به بیشتر مراجعه کنید به اطلاعات آنلاین موزه دانشگاه کالیفرنیا:

http://www.ucmp.berkeley.edu/taxa/inverts/mollusca/rudists.php

www.takbook.com

Stromatolites بودند که از دوره فانروزوئیک ائون[1] (۵۴۳ میلیون سال قبل تا کنون) تا کنون در مقابل امواج مقاوم بوده و ساختارهای عظیمی از آنها بجا مانده است.



شکل ۳: رادیست‌ها را می‌توان از دورهٔ ژوراسیک تا مزوزوئیک پیدا کرد امّا اوج شکوفایی این جانوران در دوره کرتاسه است؛ به طوری که اجتماعات عظیم این جانوران دارای رقابت شدیدی با مرجان‌ها و اسفنج‌ها در تبدیل شدن به ریف‌های عظیم الجثه داشتند و اعتقاد بر آن است که در دوره کرتاسه این جانوران در دریای تتیس (Tethys Ocean) موفقیت بیشتری در تشکیل ریف دارا بودند.

در داخل خود مرجان، اطلاعات عظیم کشف نشده‌ای وجود دارد که می‌توان با استفاده از علم اتواکوژی به آن‌ها دست یافت؛ اطلاعاتی از قبیل ماهیت تنوع زیستی و علل بحران تنوع در دریاها، از گذشته تا کنون؛ پرسش‌هایی که می‌توان با علم اتواکولوژی به آن‌ها، پاسخ داد. به عنوان مثال، کیسلینگ Kiessling و همکارانش (2005)دریافتند که فزونی کلنی‌های بزرگ مرجان گونه *Haimesiastraea conferta* در دوره پالئوسن[2]، روی داده است. پیدایش این مرجان در طول دوران سوم کرتاسه[3]، با رویداد انقراض گسترده جانوران در این دوران همگام بوده است و احتمالا در نتیجه یک سری فرایندهای

[1] Phanerozoic Eon
[2] Paleocene
[3] Cretaceous-Tertiary

www.takbook.com

اکولوژیک ویژه، پراکندگی جغرافیایی فراوانی را یافته است. مطالعات بیشتر در مورد علل انقراض و بقا در مقابل حوادث گوناگون زیستی در طول زمان، بر روی گونه‌های ویژه مرجان‌ها در ریف‌ها، ما را قادر می‌سازند که پاسخ مرجان‌های زنده کنونی نسبت به تغییرات پارامترهای زیست محیطی را در حال و آینده را پیشگویی کنیم.

استفاده از اطلاعاتی چون میزان رشد در واحد کلونی مرجانی تا بررسی‌ها پیرامون میزان رشد در بعد میکروسکوپی، اجزای تشکل دهنده پولیپ مرجانی، میزان چگالی کلنی‌های مرجانی گوناگون، تراکم و میزان پراکنش گونه‌های ویژه‌ای از مرجان‌ها در علم اتواکولوژی و یافتن رابطه خطی از طریق آنالیزهای آماری بین پارامترهای زیست محیطی و بررسی‌های زیستی در طی دوران گوناگون، همگی می‌توانند به درک ما در یافتن علل انقراض و یا گسترش تنوع گونه‌ای کمک نمایند؛ هر چند که باید اذعان نمود این اطلاعات برای درک کامل پاسخ مرجان‌ها به استرس‌های محیطی-انسانی کنونی، کافی نبوده و مطالعه پارامترها و جنبه‌های بیشتری مورد نیاز است. امّا این نتایج، می‌توانند الگوی مناسبی را در علم اتواکولوژی برای ما ارائه دهند تا بتوانیم، پاره‌ای از پرسش‌های کنونی را پاسخ دهیم.

دیرین باروری ریف[1]

تولیدات اولیه در اکوسیستم‌های دریایی، به طور ژرف، با مقدار مواد آلی مغذی نسبت دارند. در اجتماعات آبسنگ‌های مرجانی، تعادل میان تولیدکنندگان یون‌های کربناته و bioerosionها، می‌تواند باعث تغییرات کوچک در مقدار مواد غنی آلی در ریف شود. این بدان معنی است که در ریف، موجودات با مرجان‌ها، برای به دست آوردن مواد غنی در

[1] دیرین باروری (Paleoproductivity) از دو واژهٔ Paleo (به معنای باستانی یا دوران‌های پیشین در زمین شناسی) و productivity (به معنای باروری) تشکیل شده است. در زمین شناسی منظور از Reef Paleoproductivity؛ تولیدات بیولوژیک شامل گیاهان، فیتوپلانکتون‌ها، پلانکتون‌ها و سایر محصولات بیولوژیک است که در اجتماع ریف در طول زمان‌های گذشته حضور داشته‌اند. هدف از مطالعه دیرین باروری، بازسازی تغییراتی است که در تولیدات اولیه بیولوژیک در گذشته در طی برهه‌های زمانی پیشین صورت گرفته است.

www.takbook.com

رقابت می‌باشند. این پدیده در آبسنگ‌های مرجانی اولیگوتروفیک[۱] می‌تواند به عنوان یک امر غیرمعمول بر میزان مواد غنی مصرفی، تاثیر بگذارد. با این حال، همین تغییرات کوچک در طول دوران‌های زمین شناسی، به عنوان یکی از عوامل مرگ و میر مرجان‌ها، ثبت شده است (Wood, 1993). اندازه گیری مقدار مواد غنی آلی در فسیل‌ها، با استفاده از دانش دیرین باروری بسیار دشوار است و تا کنون موفقیت‌های محدودی به دست آمده است.

تعامل جامعهٔ زیستی در ریف

آبسنگ‌های مرجانی به خاطر تنوع بی‌نظیر زیستی خود در سطوح افقی و عمودی زنجیره غذایی مشهور شده‌اند. در فسیل‌های ثبت شده در ریف‌ها، می‌توان پدیده‌هایی چون شکار، رقابت، گیاهخواری، همزیستی، و بسیاری از تعاملات زیستی دیگر را مشاهده کرد. این اطلاعات، دانش بسیار ارزشمندی پیرامون تکامل حیات در ریف‌ها را در اختیار ما می‌گذارند. به عنوان مثال، پدیده همزیستی، به عنوان ویژگی اصلی جوامع ریف‌ها در طول زمان‌های گوناگون زمین شناسی تا مرجان‌های عصر حاضر، نمایان شده است. بررسی فسیل‌های مرجانی نشان داده است که تعداد اندکی از جلبک‌های غیرهمزیست در هولوبیونت holobiont[۲] مرجان‌ها، در ریف‌ها، زندگی می‌کردند(Muscatine *et al.* 2005) همزیستی در مرجان‌ها دارای قدمت بسیار زیاد بوده و اولین نشانه‌های همزیستی به صورت اندوسیمبیونت endosymbiont[۳] در فسیل‌های مرجانی در دوره اردویسین[۴] (حدود ۴۹۰-۴۴۳ میلیون سال پیش)، بین مرجان‌های صاف (Tabulate coral) و گروهی از جلبک‌های باستانی، مشاهده شده است (Tapanila 2004). با توجه به آنالیزهای مورفواسپیس

---

[۱] آب‌های اولیگوترفیک (Oligotrophic) دارای اکسیژن بالا و مقدار مواد غنی پایین هستند.

[۲] هولو بیونت مرجانی، جامعهٔ متازوآن‌ها، آغازیان و میکروب‌ها توأم با مرجان‌های اسکلرآکتینی است. (Thurber *et al*, 2009).

[۳] endosymbiont حالتی است که یک ارگانیسم در داخل سلول یا داخل بدن موجود دیگری زندگی می‌کند. باکترهای تثبیت کنندهٔ نیتروژن داخل ریشهٔ گیاهان، مثالی از این نوع همزیستی می‌باشد.

[4] Ordovician

www.takbook.com

morphospace[۱] در دوره سنوزوئیک و شواهد به دست آمده از ریشه علف خواری و چرا در دریاها، آشکار شده است که ماهیان دریایی با شروع این فرایند، اصلاح و تغییر جمعیت بنتوز در اکوسیستم‌های دریایی را موجب شده‌اند. از پارامترهای مهم دیگر در جوامع ریف در دوره پیشین، وجود پدیدهٔ رقابت بود. رقابت در بین گونه‌های گوناگون مرجانی امری اجتناب ناپذیر است. بر اساس شواهد فسیل شناسی در دوره پلیستوسن آشکار گردید که در بین گونه‌های گوناگون مرجان *Montastraea* گونهٔ *Montastraea annularis*،گونه موفق مرجانی در رقابت با سایر هم جنس‌های خود بوده است و گونهٔ *Montastraea nancyi* به دلیل شکل لوله‌ای که داشته است زیستگاه‌های کم ژرفا پشت به باد را انتخاب کرد. امّا به دلیل ویژگی‌های خود، نتوانست در رقابت با سایر گونه‌های مرجانی موفق شود و ۸۲۰۰۰-۳۰۰۰ سال پیش به صورت کامل، منقرض شد؛ در حالی که گونه *M. annularis* هنوز هم دارای انتشار جهانی است و در نقاط گوناگون، در آب‌های کم ژرف می‌توان آن را یافت. البته شرایط اکولوژیک در طول زمان باعث شده که قطر کلنی این گونه کاهش زیادی نسبت به اجداد خود داشته باشد که این خود یک نوع تعامل اکولوژیک برای بقای گونه‌ای می‌باشد (Pandolfi 2007;2002). با وجودی که به آسانی پارامترهایی مانند شکار، رقابت، گیاهخواری و همزیستی را می‌توان در فسیل‌های به جامانده، مورد مطالعه قرار داد، عواملی چون تاثیر این فرایندهای زیستی بر تراکم گونه‌ها در قلمروهای دریایی، با استفاده از فسیل-ها، بسیار مشکل می‌باشد. در درجه اول این مسئله به این باز می‌گردد که اندازه جمعیت‌های زیستی، در زمان‌های پیشین، هرگز کشف نشده‌اند. با این حال، در مورد ریف‌ها، نمونه‌هایی روشن وجود دارد که سازندگان غالب ریف‌ها در طول زمان، گونه‌های گوناگون جانوری بودند. یک مثال سنتی و روشن، تغییر چیرگی جمعیتی برای ساختن ریف‌ها از دوکفه‌ای‌های ردیست به مرجان‌های کربنات کلسیمی در طول کرتاسه است. برخی از محققان بر این باورند که مرجان‌های کربنات کلسیمی دوکفه‌ای‌های ردیست رقابتی سرسخت را برای در

---

[۱] morphospace به حالتی گفته می‌شود که در آن یک گونه جاندار می‌تواند از جنبه‌های مختلف زیستی شامل ژنتیک، فیزیولوژیک، اکولوژیک و سایر پارامترها تکامل یابد.

www.takbook.com

اختیار گرفتن چیرگی گونه در دوره کرتاسه داشتند (Kauffman and Johnson 1988). امّا برخی از پژوهشگران این ادعا را که تغییرات زیست محیطی باعث ایجاد پاسخ‌های گوناگون جانداران گردیده و این پاسخ‌ها یک ارتباط امّاری بین تراکم جمعیتی گونه‌ها را با فاکتورهای زیست محیطی نشان می‌دهند، رد می‌کنند.(Ross and Skelton 1993) بسیار جالب است که چیرگی جمعیتی ریف‌های دوره پست-کرتاسه را مرجان‌های کربنات کلسیمی به خود اختصاص داده و ردیست‌ها هرگز موفق به بازسازی خود بعد از انقراض دوران سوم کرتاسه Cretaceous–Tertiary (K–T) نشدند.

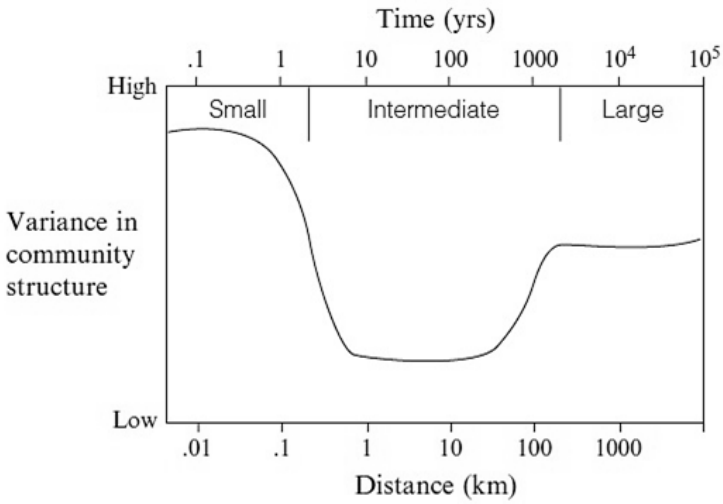
اکولوژی جمعیتی ریف‌های پیشین

بسیاری از دانش ما درباره پویایی شناسی اکولوژیک مرجان‌های مدرن امروزی، از مطالعه فسیل‌های بجا مانده از همتایان آنها در دوره کواترنری، در حدود دومیلیون سال گذشته، به دست آمده است. در این میان، یک پرسش مهم پیرامون اکولوژی این است که تنوع گونه‌ای در گذشته به چه صورت بوده است و اینکه چطور این تنوع حفظ می‌شده است؟ این پرسشی است که همیشه از پاسخ دادن به آن رو گردان بوده‌ایم و متاسفانه تنها برای گونه‌های کنونی (یا یک دورهٔ زمانی کوتاه و محدود) مطالعات انجام گردیده است. مطالعات اخیر دیرین اکولوژی paleoecology درباره آبسنگ‌های مرجانی صدها و هزاران سال گذشته (در مورد اکولوژی جمعیتی گونه‌هایی که از ان زمان تا کنون می‌توان آنها را یافت) نشان می‌دهند که برخلاف نتایج بسیاری از مطالعات کوتاه مدت که مدعی وجود هرج و مرج در سیستم‌های جمعیتی آن زمان بوده‌اند، مطالعات طولانی مدت از دروه پلیستوسن تا کنون بر روی ریف‌های اقیانوس هند و آرام و منطقه کارائیب نشان می‌دهند که نظمی ماندگار در اکوسیستم ریف‌ها در آن زمان حاکم بوده است. بر اساس مدارک و شواهد به جا مانده از دوره‌های بسیار قدیمی‌تر از پلیستوسن در آبسنگ‌های مرجانی بزرگ استرالیا (Great Barrier Reef) و آبسنگ‌های مرجانی و در دوره هولوسن جوان[1] در منطقه

[1] younger Holocene

www.takbook.com

پاناما و بلیز، نظمی ویژه در سیستم جمعیتی حاکم بوده است(Aronson *et al.* 2004). این نتایج، این دیدگاه را که اکوسیستم‌های متاثر از اختلات زیست محیطی فراوان دارای تنوع گونه‌ای کم دوام و کوتاه مدت هستند را به شدت به چالش می‌کشد. چرا که نظریه یاد شده بر مبنای مطالعاتی در دورهٔ زمانی کوتاه انجام شده است. در حقیقت، تداوم و پایداری جمعیتی اکوسیستم، (در طول زمان‌های زمین شناسی) در بسیاری از اکوسیستم‌ها، اثبات شده است (DiMichele *et al.* 2004). مطالعات انجام شده در دورهٔ زمانی کوتاه زمین شناسی و در منطقه‌ای کوچک، درجه بالایی از تغییرپذیری و بی‌نظمی را در ساختار مرجانی ریف‌ها را نشان می‌دهد. امّا مطالعه در مقیاس وسیع‌تر (به عنوان مثال محدوده جغرافیایی ویژه) حاکی از تغییر جمعیتی متوسط و نظم نسبتا بهتر می‌باشد. مطالعات در مقیاس زمانی و مکانی متوسط، درجه بالایی از نظم را در ساختار جمعیتی ریف، نشان می‌دهند.



شکل ۴: سه فاز گوناگون تنوع زیستی در ساختار جمعیت مرجان‌ها در جامعهٔ ریف با توجه به مقیاس مکانی و زمانی مطالعه. مطالعات در فاز زمانی و مکانی موقت و کوتاه حاکی از درجه بالایی از تغییرپذیری در جامعه مرجان‌ها در ساختار ریف است و نتایج به دست آمده از بعد مکانی بزرگتر در مقیاس جغرافیایی ویژه، نشان از تغییرپذیری متوسط است و مطالعات انجام شده در مقیاس زمانی و مکانی متوسط حاکی از نظم بالا در جامعه مرجان‌های ریف می‌باشد.

www.takbook.com

اثرات تغییرات آب و هوایی بر پراکنش گونه‌های زیستی در ریف‌ها

عواملی از قبیل تغییرات در سطح تراز آب دریاها و افزایش دمای هوا، از جمله تغییرات زیست محیطی هستند که حاصل گذشت زمان (از دو میلیون سال قبل از دوره کواترنری تا کنون) می‌باشند. امّا عاملی چون افزایش میزان دی اکسید کربن (در حد بسیار نگران کننده) حاصل فعالیت‌های انسانی در دوره کنونی است. نتیجه تغییراتی مثل افزایش دمای آب و سطح تراز دریاها در طول زمان‌های گذشته، در شیبی متناسب، سبب بازگشت و احیاء حیات زیستی ریف‌ها (پس از نابودی آنها در گذشته) شده است. امّا مراحل زمانی این احیاء در ریف‌ها، به دلیل غایب بودن سازندگان اصلی ریف‌ها (مرجان‌ها، دوکفه ای‌ها وسایر موجودات تاثیر گذار در سیستم‌های کربنات کلیسیمی) در طی ۴ الی ۱۰۰ میلیون سال گذشته، دارای فواصل زمانی متغیری بوده است که شامل توقف و حتی به صفر رسیدن بسیاری از جمعیت‌ها می‌باشد. همچنین احیاء، روندی پیوسته و دایمی نداشته است. با این حال، به طور شگفت انگیزی، سرعت احیاء مرجان‌ها از دوران کواترنری تا به امروز، بر اساس تغییرات طبیعی آب و هوایی، بسیار بیشتر از سرعت نابودی آنها در گذشته بوده است. نتایج پژوهش‌های متعدد اثبات کرده‌اند که تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسانی باعث کاهش توانایی احیاء آبسنگ‌های مرجانی و اکوسیستم ریف‌ها می‌شوند (Pandolfi *et al.* 2006). این در درجه اول به سرعت افزایش تغییرات آب و هوایی توسط انسان بر می‌گردد، برای مثال، سیر صعودی افزایش دی اکسید کربن صد برابر سریع‌تر از نرخ تغییرات عادی زمین و قابلیت سازش‌پذیری اکوسیستم هاست.(IPCC, 2014)

مرز انقباض و انبساط اکوسیستم‌های مرجانی

یکی از بزرگترین چالش‌های امروزی دانشمندان اکولوژیست، درک تغییرات جمعیتی گونه‌ها، در مختصات جغرافیایی گوناگون، در پاسخ به تغییرات آب و هوایی، در حال حاضر و آینده است. این پرسش وجود دارد که بر مبنای تغییرات آب هوایی، پراکنش جمعیتی

www.takbook.com

گونه‌ها به چه صورت در مقایس خاص، تغییر می‌یابد؟ آیا همانند سایر جانوران، آبسنگ‌های مرجانی نیز قادر به مهاجرت به منطقه‌ای خاص هستند یا خیر؟ این‌ها پرسش‌هایی هستند که نیاز به بررسی بیشتر دارند. در مورد وضعیت گونه‌های ساکن در آبسنگ‌های مرجانی، دامنه تغییرات جمعیتی و جغرافیایی (در زمان‌های گوناگون) آشکار شده‌اند (Precht and Aronson 2004) با این حال، هنوز نشان داده نشده است که این تغییرات دائمی یا گذرا هستند. متاسفانه فسیل‌هایی که بتوانند اثر تغییرات آب و هوایی را در تعامل با اکوفیزیولوژی جمعیت گونه‌های گوناگون آبسنگ‌های مرجانی نشان بدهند، موجود نمی‌باشند. تنها با استفاده از مطالعات بر روی مرجان‌های کنونی می‌توان درک کرد که چگونه جوامع زیستی در آبسنگ‌های مرجانی به تغییرات آب و هوایی پاسخ می‌دهند. مطالعات جدید در غرب استرالیا، اطلاعات اولیه را که چطور تغییرات آب وهوایی می‌توانند در دراز مدت بر روی جمعیت اکوسیستم‌های آبسنگ‌های مرجانی تاثیر بگذارند را فراهم آورده‌اند.

بنا بر دلایل زیر، مرجان‌های دوره پلیستوسن، در امتداد خطوط ساحل غربی استرالیا دارای غنی کمتری نسبت به عصر حاضر بوده‌اند.[۱] اول اینکه دمای سطح آب دریا در آن زمان حداقل دو درجه گرمتر از زمان حال حاضر بود. دوم اینکه جریان لیوین[۲] که از بخش غربی مرکزی اقیانوس آرام از طریق جریان‌های اقیانوسی اندونزی وارد سواحل استرالیا می‌شود، دارای آب‌های گرم‌تر و شوری به نسبت کمتری بوده که در سواحل غربی می‌تواند به عنوان یک پارامتر مهم در رانش باد غربی و ایجاد منطقه نیمه گرمسیری[۳] در اواخر دوره پلیستوسن، در بخش‌های جنوبی استرالیا تاثیر گذار باشد. از این رو، شیب جمعیتی آبسنگ‌های مرجانی در سواحل غربی استرالیا در دورهٔ پلیستوسن همانند مرجان‌های کنونی

---

[۱] مرجان‌های موجود در بخش غربی سواحل استرالیا متفاوت از Great Barrier Reef هستند که در شمال شرقی استرالیا مستقر شده‌اند.

[۲] Leeuwin Current جریان اقیانوسی حامل آب‌های گرم است که در امتداد بخش‌های غربی استرالیا به سمت سواحل جنوبی جریان می‌یابد.

[3] subtropical

www.takbook.com

غنی نبوده است که این نشان می‌دهد پارامترهای محیطی، عامل محدود کننده در غنای گونه‌ای جامعه ریف، در دوره پلیستوسن، بوده است (Greenstein and Pandolfi 2008).

مقایسه ترکیب جمعیتی آبسنگ‌های مرجانی کنونی با فسیل‌های دوره پلیستوسن، در عرض جغرافیایی ۱۰ درجه شمالی و جنوبی، نشان می‌دهد که به واسطه گرمترشدن آب دریاها در اواخر دوره پلیستوسن، آبسنگ‌های مرجانی، جایگاه‌های زیستی جغرافیایی خود را در مقایسه با امروز در آن زمان گسترش داده‌اند؛ یا به عبارتی، دامنه پراکنش جغرافیایی آبسنگ‌های مرجانی منبسط شده است. در حالت کلی، می‌توان گفت تنوع گونه‌ای و پراکنش جغرافیایی امروز آبسنگ‌های مرجانی در نتیجه تغییرات آب و هوایی است که از دوره پلیستوسن شروع شده است. با توجه به وضعیت تغییرات آب و هوایی امروز و با مرور اطلاعات به جا مانده از دوره پلیستوسن، پیش بینی می‌شود آبسنگ‌های مرجانی به سمت جنوب مهاجرت کنند یا به عبارت روشن تر، ما شاهد یک انقباض جغرافیایی در پراکنش آبسنگ‌های مرجانی در نیمه شمالی کره زمین می‌باشیم. به عبارتی، گسترش جغرافیایی آبسنگ‌های مرجانی به سمت نیمه جنوبی کره زمین پیش می‌رود و تنوع گونه‌ای و دامنه جغرافیایی آبسنگ‌های مرجانی در نیمه شمالی کوچک‌تر می‌شود و نیمه جنوبی کره زمین به عنوان یک پناهگاه امن Refugia[۱] برای آبسنگ‌های مرجانی عمل می‌کند. البته ذکر این نکته لازم است که پارامترهایی مثل افزایش سطح آب دریاها، اسیدی شدن اقیانوس‌ها و آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی که باعث تخریب زیستگاه‌های مرجانی در سراسر کره زمین می‌گردند، باعث به وجود آمدن چندین پیش بینی در مورد آینده آبسنگ‌های مرجانی شده‌اند (Pandolfi, 2011).

---

[۱] refugia به حالتی گفته می‌شود که در آن یک منطقه به علت داشتن پارامترهای خاصی همانند یک پناهگاه امن برای گونه‌های جانوری و گیاهی عمل کرده و در آن منطقه جانوران، قادر به ادامهٔ حیات می‌باشند؛ به عنوان مثال در دورهٔ یخبندان، مناطقی در نزدیک حفره‌های آتشفشانی وجود داشتند که جانوران در آن دوره می‌توانستند در آن مکان‌ها به حیات خود ادامه دهند که به این مناطق در اصلاح علمی refugia (یا پناهگاه امن) گفته می‌شود.

www.takbook.com

تنوع زیستی در طول زمان

دیرینه شناسان[1]، با استفاده از آنالیز اطلاعات تاکسونومیک و شرایط محیطی (از قبیل تغییرات دمایی، میزان اکسیژن، سطح آب دریا، میزان pH و سایر پارامترهای محیطی) در زمان‌های پیشین، اطلاعات دقیقی می‌توانند پیرامون فعالیت‌های جمعیتی، شرایط اکولوژیک و تکامل گونه‌ها در آبسنگ‌های مرجانی در زمان‌های پیشین را بیان کنند. برای موفقیت و اطمینان بیشتر، هم اکنون، دیرینه شناسان با زمین شناسان کار می‌کنند تا با فراهم آوردن نمونه‌های جدید و ویژهٔ فسیل‌ها، اطلاعات جمع آوری شده از وضعیت طبقاتی زمین شناسی (Stratigraphy) در طول زمان‌های مختلف زمین شناسی، تغییرات آب و هوایی، وضعیت تکتونیک مناطق گوناگون سطح زمین، اقیانوس شناسی و سایر جنبه‌های فیزیکی و شیمیایی محیط در گذشته، جزییات بیشتری پیرامون تاریخچه تکامل و تنوع آبسنگ‌های مرجانی در گذشته را بتوانند بیان کرده و دید بهتری پیرامون گذشته و آینده آبسنگ‌های مرجانی به دست آورند. تنها در این صورت است که می‌توان با اطلاعات جمع آوری شده، پیش بینی‌های خوبی را پیرامون تنوع گونه‌ای و تغییرات اکولوژیک در آبسنگ‌های مرجانی، بیان کرد.

الگوهای سنوزوئیک[2]

به احتمال قوی، یکی از بهترین پژوهش‌های میان رشته‌ای، یافتن پاسخ به این پرسش است که سه تا پنج میلیون سال گذشته چگونه جامعه زیستی اقیانوسی در مناطق حاره‌ای به تغییرات آب و هوایی و زمین شناختی پاسخ داده‌اند؟ به عنوان مثال، در این

[1] paleontologists

[2] از ۶۶ میلیون سال گذشته تا کنون را سنوزوئیک می‌گویند که به زمان پستانداران شهرت دارد. این دوره با انقراض گسترده سایر گروه‌های جانوری همگام بوده است که باعث شده است پستانداران دارای بیشترین سهم جانوری در زمین، در حال حاضر باشند.

www.takbook.com

زمان یکی از پارامترهای مهم زمین شناختی تاثیرگذار، پایدار شدن تنگهٔ پاناما [۱] Isthmus of Panama (O'Dea et al 2007) در حد فاصل بین اقیانوس اطلس و اقیانوس آرام بوده است که باعث تغییرات گستردهٔ اقیانوسی در آن زمان گردید. از جمله اینکه جریان‌های بالا رونده (upwelling) در سواحل گوناگون دنیا، دچار فروپاشی شد و در نتیجه تعادل اکولوژیک بین تولیدکنندگان اولیه زنجیره مواد غذایی (که مسئول تولید کربنات کلسیم در سیستم‌های اکولوژیک مناطق گرمسیری بودند) متلاشی گردید. این پدیده جدید اقیانوسی، انقراض گسترده‌ای در مناطق گرمسیری در غرب اقیانوس اطلس را موجب شد. اطلاعات ما در مورد این پدیده بسیار نارس و ناقص است. علاوه بر این، اطلاعات پیرامون پاسخ‌های اکولوژیک بخش دیگر اقیانوس نیز ناقص است و نیاز به پژوهش‌های بیشتری دارد. در مثال دیگر، پاسخ اکولوژیک اکوسیستم‌های دریایی در منطقه اقیانوس هند و آرام[۲] نیز ناقص است ولی در هر حال می‌توان در مورد منطقه IWP، در حالت کلی، چنین گفت که حیات جانوری و گیاهی کنونی در این منطقه، در نتیجه فعالیت‌های تکتونیک زمین شناختی منطقه‌ای، از اواخر دورهٔ الیگوسن[۳] (حدود ۳۳/۹-۲۹ میلیون سال پیش) تا اوایل دورهٔ میوسن[۴] (۲۳/۰۳ تا ۵/۳ میلیون سال قبل)، در نتیجه نوسانات بزرگ در حجم یخ‌های کره زمین (که منجر به ایجاد پشته‌های کربنات کلسیمی[۵] در منطقه گردید) شکل گرفت. همچنین پیشنهاد شده است که این فعالیت‌های زمین شناختی، موجب ایجاد زیستگاه‌های زیستی برای گونه‌های گوناگون در مناطق گرمسیری شده و باعث گردید که گونه‌های بیشتری در مقایسه با گونه‌های منشاء اولیه، به وجود آیند. مطالعه و

---

[۱] تنگهٔ باریکی است که بین دریای کارائیب و اقیانوس آرام وجود دارد، این تنگه حدود ۱۲ الی ۱۵ میلیون سال قبل (بر اساس پدیده‌های زمین شناسی بین اقیانوس اطلس و آرام) شروع به تشکیل شدن کرد و در طی دو الی سه میلیون سال قبل شروع به تثبیت خود نمود. این تنگه تنها جایی در کرهٔ زمین است که ما می‌توانیم طلوع آفتاب را در اقیانوس آرام و غروب آفتاب را در اقیانوس اطلس مشاهده کنیم (livescience.com).

[2] Indo-West Pacific (IWP)

[3] Oligocene

[4] Miocene

[5] carbonate build-ups

www.takbook.com

درک پدیده شکل گیری حیات گذشته اقیانوس‌ها و نحوه از هم پاشیدگی و انقراض گونه‌ها (در پاسخ به حوادث محیطی) ما را در پیش بینی آینده حیات اقیانوس‌ها یاری خواهند کرد. دیدگاه‌های دیرین اکولوژیست‌ها، افزون بر پیش بینی وضعیت اکوسیستم‌ها در آینده، در استراتژی‌های حفاظتی و مطالعات ژنتیک نیز کمک فراوانی می‌کنند. به عنوان مثال، در بسیاری از مطالعات در مورد مرجان‌های کنونی و سایر جانوران دریایی مناطق حاره‌ای، علل افزایش انفجاری گونه زایی در دوره پلیستوسن را نتیجه تغییرات سطح آب دریاها در این دوران گزارش کردند. مطالعات ملکولی بر روی یافته‌های فسیلی جدید و کالیبراسیون منحنی‌های محیطی حاصل شده از مطالعات دیرین اکولوژیست‌ها نشان داد که تنوع دریایی منطقه اقیانوس هند و آرام بسیار قدیمی‌تر از پیش‌بینی‌های قبلی بود و منشاء این تنوع به میلیون‌ها سال قبل‌تر بر می‌گردد (Williams and Duda 2008). از مطالب بحث برانگیز دیگر در دوره سنوزوئیک، رابطه بین تنوع گونه‌ای و توسعه آبسنگ‌های مرجانی است. این پرسش همراه مورد بحث اکولوژیست‌ها بوده است که آیا غنای تنوع گونه‌ای مرجان‌ها در آبسنگ‌های مرجانی می‌تواند به توسعه ریف کمک کند یا خیر؟ مطالعات توسط مونتاژنی Montaggioni (2005) در مرجان‌های کنونی نشان داد که نرخ رشد ریف در مناطقی که تنوع بیشتری (ده برابر تنوع در غنای مرجانی) دارند، از مناطقی است که تنوع کمتری دارند، به نسبت بیشتر می‌باشد. امّا جانسونJohnson و همکارانش (۲۰۰۸) دریافتند که در طول ۲۸ میلیون سال پیش، به هیچ وجه تنوع گونه‌های مرجانی در ریف‌ها در منطقه حاره‌ای غربی اقیانوس اطلس،[1] با میزان توسعه و رشد جامعه ریف، نسبتی نداشته است. افزون بر این، ثابت شده است که بیشترین وسعت آبسنگ‌های مرجانی در دوره سنوزوئیک زمانی شکل گرفت که پیش از این بر اثر پدیده‌های محیطی، ۵۰ درصد از گونه‌های جانوری منقرض شده بودند. همچنین مطالعات (Kiessling 2009;Riegl, 2001) در مرجان‌های کنونی نشان داد که تنوع بالا به هیچ وجه لازمه رشد و بقا آبسنگ‌های مرجانی در ریف‌های عصر حاضر نیست.

[1] tropical western Atlantic

www.takbook.com

زمان ژرف (Deep Time)[۱]

مطالب گفتار پیشین پیرامون تنوع زیستی، در بسیاری از مطالعات که مبنای آنها دانش ژنتیک و مطالعه گونه‌ای در طول ۵۴۰ میلیون سال پیش (در دوره فانروزوئیک[۲]) بوده‌اند در بسیاری دیگر از مطالعات نیز اثبات گردیده است (Kiessling 2009). چالش-های قابل توجه‌ای در برآورد تنوع زیستی (biodiversity) مرجان‌ها در طول زمان در سطح جهانی برای دیرینه شناسان[۳] وجود دارد. بر مبنای مطالعات تاکسونومیک که مطالعات چندان قابل اعتمادی نیستند، تفاوت‌هایی در سطح کانی در سه گروه از مرجان‌های Rugosa، Tabulataو Scleractiniaدر طول زمان وجود دارد. با فرض درست بودن این فرضیه، حتی اگر دگرگونی‌های شیمیایی باعث به وجود آمدن تفاوت‌های ساختمانی در مرجان‌های کربنات کلسیمی با ارگونیت[۴] غیرپایدار شده باشد، مرجان‌ها، بخش بسیار بزرگی از فسیل‌های جانوری در طول زمان، هستند و توانایی بازگویی بسیاری از حقایق را در گذر زمان‌های زمین شناسی در خود دارند. شواهد اندکی وجود دارد که نشان می‌دهد بعید نیست که مرجان‌های گروه Rugose و Tabulaten دورهٔ پالئوزوئیک[۵] (۵۴۰ تا ۲۵۱ میلیون سال گذشته)، در سالهای آتی اسکلت خود را به کلسیت[۶] تبدیل کرده باشند. این پدیده می‌تواند از دید کانی‌شناسی، به علت غنی شدن اسکلت این گروه‌های مرجانی در مقایسه با هماتایان خود در دوره‌های مزوزوئیک (۲۵۱ تا ۶۵/۵ میلیون سال گذشته) و سنوزوئیک (۶۵ میلیون سال گذشته تا کنون) باشد. در دانش

---

[۱] Deep Time یک اصطلاح زمین شناسی است و منظور از آن عمر کره زمین است که به ۴/۵۴ میلیارد سال قبل برمی‌گردد.

[2] Phanerozoic

[3] paleontologists

[۴] aragonite یک ماده معدنی طبیعی است که توسط فرایندهای بیولوژیکی و فیزیکی در اشکال کریستالی از جنس کربنات کلسیم ($CaCO_3$) به وجود می‌آید.

[5] Paleozoic

[۶] Calcite کانی کربناته و پایدارترین شکل پلیمر ساخته شده از کربنات کلسیم ($CaCO_3$) است زمانی که آرگنیت در دمای °C ۳۸۰–۴۷۰ قرار گیرد، به کلسیت تبدیل خواهد شد که بسیار پایدارتر و مقاومتر از آرگنیت است.

www.takbook.com

چینه‌شناسی، چالش‌های فراوانی برای تعیین کیفیت جامعه زیستی و تغییرات آن در طول زمان و ارتباط با جنبه‌های گوناگون محیطی وجود دارد. پاسخ به این پرسش هنوز ناآشکار است که آیا الگوهای زیستی در طول زمان برای جانوران به صورت تصادفی یا کاملا قانونمند به وجود آمده اند؟ و این که به وجود آمدن این الگوهای گوناگون اکولوژیک به علت تغییرات آب و هوایی در طول زمان بوده است؟ یا به علت فرایندهای تکتونیک به وجود آمده‌اند؟ پاسخ به این پرسش‌ها، مطالعات بیشتری را می‌طلبد.

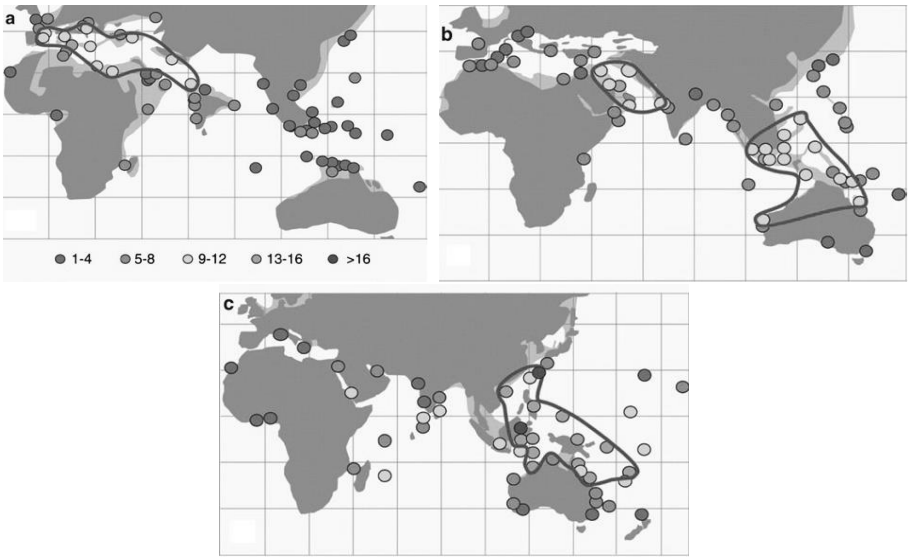
تاریخچهٔ پراکنش جغرافیایی مرجان‌های عصر حاضر

از طریق مطالعه فسیل‌های موجودات مهم تولید کننده کربنات کلسیم (مانند فرامینیفراها، صدف‌ها، جلبک‌های تولید کننده کربنات کلسیم، اسفنج‌ها و مرجان‌ها) می‌توان تغییرات پویایی جغرافیایی ریف‌ها و موجودات تشکیل دهندهٔ ریف‌ها را مشخص کرد. به عنوان مثال، از دوره میوسن (۲۴-۵ میلیون سال پیش) تا دوره پلیستوسن (۲ میلیون سال اخیر) یک سری تغییرات و تبادلات جایگاه‌های زیستی در نقاط گوناگون جغرافیایی در نواحی نیمه گرمسیری استوایی در اقیانوس اطلس، بین نرم تنان صورت گرفت که این مسئله به علت غنای گونه‌ای، در مقایس منطقه‌ای و جهانی و افزایش سازگاری گونه‌ای در نتیجه رقابت شدید و شکار بین گونه‌های نرمتنان بود. برای درک تنوع زیستی-جغرافیایی گونه‌های جانوری امروزی، تنها می‌توان به دو علم اعتماد کرد؛ اطلاعات برآمده از فسیل‌های به جامّانده در طول تاریخ و مطالعات فیلوژئوگرافی ملکولی[1]. البته گاهی اطلاعات جمع آوری شده از این دو رشته گوناگون علمی، تضادهایی باهم دارند. امّا مطالعات جدید در مجمع الجزایر اقیانوس هند و استرالیا،[2] همگرایی چشمگیری را نشان داده‌اند. مطالعات در این مناطق، یک سری نقاط مهم را به عنوان مراکز تغییرات گونه‌ای در طول ۵۰ میلیون سال گذشته نشان داده‌اند. فاکتورهایی مانند میزان مرگ،

[1] molecular phylogeography
[2] Indo-Australian Archipelago (IAA)

www.takbook.com

تولید و بقا و حیات فرامینیفرها در این نقاط در طول زمان، ارتباط معناداری را با فعالیت‌های تکتونیک منطقه‌ای و تغییرات زیست محیطی، در سطح جهانی از خود نمایان کرده است. این مکان‌ها به نقاط بسیار داغ زیست دریایی hopping hotspots معروف می‌باشند که تغییرات تنوع زیستی در طول ۵۰ میلیون سال گذشته را نشان می‌دهند.



شکل ۵: تغییرات تنوع جمعیتی فرامینفرهای کف زی
در طول ۵۰ میلیون سال گذشته در منطقهٔ مجمع الجزایر اقیانوس هند و استرالیا
a) The late Middle Eocene (42–39 ma),
b) The Early Miocene (23–16 ma),
c) The Recent

در نقاط بسیار داغ زیست دریایی علاوه بر فرامینیفرا، مطالعاتی بر روی فسیل‌های مرجان‌ها، مانگروها، صدف‌های دو کفه‌ای و فسیل ماهی‌ها، با استفاده از مطالعات ژنتیک ملکولی انجام شد و با ترکیب اطلاعات به دست آمده با مطالعات فسیل شناسی، مشخص گردید که تنوع زیستی کنونی جوامع ریف در این منطقه، در مقایسه با گذشته خود، خیلی ویژه و منحصر به فرد نیست و تقریبا از لحاظ فراوانی تنوع گونه‌ای، همسان گذشته خود

www.takbook.com

است. یکی از بحث‌های جالب توجه در نقاط بسیار داغ زیست دریایی در منطقه اقیانوس هند و آرام، پاسخ دادن به این پرسش‌ها است که این تنوع جالب توجه، با چه ساز و کاری در این مکان شکل گرفته است؟ و چگونه غنای گونه‌ای در طول زمان در پاسخ به فاکتورهای محیطی، تغییر کرده و اینکه گونه‌های جدید چگونه به این نقاط وارد شده‌اند؟ با وجود پاسخ به بسیاری از این پرسش‌ها، پژوهش‌های بیشتر برای روشن سازی بهتر، مورد نیاز است.

حفاظت از ریف‌ها

دامنه اثرات انسان بر روی آبسنگ‌های مرجانی به شدت افزایش یافته است. به طوری که در نتیجهٔ فعالیت‌های انسانی، از هر لحاظ، از تنوع گونه‌ای گرفته تا سطح پوشش مرجان‌ها در اقیانوس، در معرض خطر جدی قرار گرفته‌اند. تا سالیان اخیر، بعضی از اثرات مستقیم و غیرمستقیم انسانی مانند افزایش فعالیت‌های شیلاتی، آلودگی‌های منتقله توسط فعالیت‌های کشاورزی، توسعه صنعتی در سواحل و بنادر، تاثیر بسیار عظیمی بر کاهش و مرگ و میر جوامع مرجانی داشته‌اند. افزایش این فعالیت‌ها، افزون بر کاهش سطح پوشش مرجانی در سطح جهانی، باعث شده بقا و زیست سایر گونه‌های برجا مانده نیز به دلیل تغییرات کیفیت آب اقیانوس‌ها، در معرض خطر قرار گیرند. به طور قطع، دامنه تحمل مرجان‌های کنونی، بسیار بیشتر از همتایان پیشین خود نسبت به تغییرات محیطی می‌باشد. با این وجود، با توجه به سرعت افزایش آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات زیست محیطی، بعید به نظر می‌رسد که مرجان‌ها و جامعه ریف قادر باشند خود را با تغییرات محیطی، در آینده و عصر حاضر، سازش دهند.

یکی از بزرگترین پرسش‌های پژوهشگران، پاسخ به این پرسش بوده است که به راستی کدام عوامل انسانی به عنوان مهمترین پارامتر تاثیر گذار در کاهش جانوران اکوسیستم‌های ساحلی، عمل می‌کنند؟ با یکپارچه‌سازی یافته‌های پژوهشگران گوناگون در زمینه اقیانوس شناسی، اکولوژی، باستان شناسی[1] و دانشمندان علم جامعه شناسی،

[1] Archaeologists

www.takbook.com

مشخص شد که مهمترین و پراثر گذارترین عامل انسانی در کاهش جامعه زیستی در سواحل و ریف‌ها، فعالیت‌های صید و صیادی است. مطالعه در ۱۴ سایت مرجانی دنیا نیز نشان داد، فعالیت‌های صیادی، مخرب‌ترین عامل کاهش سطح مرجان‌ها در ریف‌های دنیا است (Pandolfi *et al*. 2003). با ترکیب فعالیت‌های صیادی با پدیده‌هایی هم چون گرمایش جهانی و اسیدی شدن اقیانوس‌ها، به راستی نمی‌توان آینده نه چندان خوشایندی را برای مرجان‌ها و زیست دریایی اقیانوس‌ها ترسیم کرد. در فصل‌های بعد، پیرامون ابعاد فعالیت‌های انسانی در سطح پوشش مرجان‌ها در خلیج فارس و مقیاس جهانی، بیشتر بحث خواهیم کرد.

زیست شناسی مرجان

مرجان و رده بندی مرجانی

شاخه نیدریاها به واسطه داشتن چند ویژگی کلی، از سایر گروه‌های جانوری، متمایز می‌گردد.

۱) داشتن اجزایی به نام نماتوسیست در ارگان‌های تغذیه‌ای و دفاعی که در شکار و دفاع از خود نقش دارند.

۲) داشتن چرخهٔ زندگی‌ای به نام مرحلهٔ Planula larvae

۳) داشتن تقارن شعاعی

۴) داشتن زندگی به صورت گروهی یا انفرادی

این شاخه دارای یازده هزار گونه در دریا و ۲۰ گونه در آب‌های شیرین می‌باشند و هیچ گونه‌ای از این شاخه در خشکی وجود ندارد.(Domínguez-Pérez *et al*, 2013)

Class Hydrozoa 2700 species
Class Scyphozoa 200 species
Class Anthozoa 6000 species
Rest of Class 2000 species

www.takbook.com

بطور کلی، واژه مرجان به گروه‌های گوناگونی از مرجانیان یا شاخه نیداریاها[1] یا کیسه‌تنان[2] اطلاق می‌گردد که تنها تعداد محدودی از آنها تشکیل ریف می‌دهند (جدول شماره ۱). مرجان‌ها از رده آنتوزوآ[3]، بزرگترین رده از شاخه نیدارها هستند که بیش از ۶،۰۰۰ گونه از آنها تا کنون شناخته شده‌اند (Lalli and Parsons, 1995). بر اساس مطالعاتی از قبیل Wallace, 1999؛ Veron, 2000، به نظر می‌رسد تعداد گونه‌های مرجان‌های سخت، به بیش از ۹۰۰ گونه برسد. از میان، حدود ۸۲۷ گونه، از لحاظ شرایط حفاظت گونه‌ای، ارزیابی شده‌اند (Carpenter *et al*. 2008).

در مرجان‌های ریف ساز یا هرماتیپک[4]، هر پولیپ[5] مرجانی (پولیپ‌ها اجزا استوانه‌ای شکل هستند که درون خود حفره‌ای کیسه مانند دارند و دارای تانتاکول‌هایی در بالای خود می‌باشند)، تولید کربنات کلسیم می‌کند که حالتی شبیه به فنجان داشته و پولیپ‌ها در داخل آن قرار می‌گیرند. جاگرفتن میلیاردها عدد از این اجزا کوچک همراه هم تشکیل واحدهای بزرگی به نام ریف یا آبسنگ را می‌دهند که به این گروه از مرجان‌ها، مرجان‌های واقعی،[6] یا مرجان‌های کربنات کلسیمی،[7] گفته می‌شود.

نام رایج	اهمیت وریف سازی	توضیحات
ANTHOZOANS: گروهی که شقایق‌ها را در بر می‌گیرد. جانورانی که دارای مرحله مدوز کوتاهی هستند و به صورت پولیپ زندگی می‌کنند.		
Scleractinian corals	مهمترین مرجان‌های سازندهٔ ریف	- تولید کربنات کلسیم می‌کنند. - تقریبا همگی zooxanthellae دارند.
Soft corals	فاقد قدرت ریف سازی	- اکثرا بر روی آبسنگ‌های مرجانی یافت می‌شوند. - تقریباً همهٔ آنها دارای zooxanthellae

[1] Cnidarians
[2] Coelenterates
[3] Anthozoans
[4] Hermatypic
[5] Polyp
[6] True Corals
[7] Scleractinian corals

www.takbook.com

نام رایج	اهمیت وریف سازی	توضیحات
		می‌باشند.
Organ-pipe corals (*Tubipora*)	دارای قدرت ریف سازی ضعیف	- به خاطر شکل لوله مانند خود در بخش اسکلتی به این اسم نامیده می‌شوند. - دارای zooxanthellae. - تولید کربنات کلسیم می‌کنند.
Gorgonians مرجان‌های قیمتی	- در بعضی جاها مهم می‌باشند - فاقد قدرت ریف سازی	-Sea fans و Sea whips نیز نامیده می‌شوند. - دارای یک اسلکت سخت در اکثر قسمت‌های خود هستند ولی این اسکلت از جنس کربنات کلسیمی نیست. - بعضی‌ها Zooxanthellae دارند. - اسلکتی به رنگ صورتی، قرمز یا طلایی که در جواهر سازی استفاده می‌شود. - اکثرا در آب‌های عمیق یافت می‌شوند وگاهی بر روی آبسنگ‌های مرجانی، کمکی به رشد صخره‌های مرجانی نمی‌کنند.
Blue coral (*Heliopora*)	فاقد قدرت ریف سازی	- به خاطر رنگ آبی خود به این نام خوانده می‌شود. - دارای zooxanthellae
Black corals	فاقد قدرت ریف سازی	- این نوع مرجان‌ها گاهی مرجان‌های قیمتی نامیده می‌شوند چون در جواهر سازی مصرف دارند ولی متفاوت از مرجان‌های قیمتی یا Gorgonian هستند. - دارای یک اسلکت سخت در اکثر قسمت‌های خود هستند ولی این اسکلت، کربنات کلسیمی نیست. - اکثرا در اعماق و جاهایی که آب سرد از روی ریف‌ها می‌گذرد، رشد می‌کند
HYDROZOANS گروهی که شامل عروس‌های دریایی هستند. دارای مرحله مدوز و پولیپ می‌باشند امّا فقط در مرحله‌ای که تبدیل به پولیپ شده‌اند بر روی ریف‌ها دیده می‌شوند.		
Fire corals (*Millepora*)	در بعضی جاها مهم هستند	- اطلاق این نام به آنها از این ناشی می‌شود که تماس با آنها احساس سوزش دست می‌دهد که

www.takbook.com

نام رایج	اهمیت وریف سازی	توضیحات
		ناشی از نماتوسیت‌های قدرتمند در آنها می‌باشد. - تولید اسکلت کربنات کلسیمی - دارای zooxanthellae
Lace corals	اهمیت ناچیز	- به خاطر ظریف بودن، این مرجان به این اسم نامیده می‌شود. - دارای کلنی‌های شاخه شاخه - کم Zooxanthellae - تولید اسکلت کربنات کلسیمی می‌کند. - اکثرا در اعماق و جاهایی که آب سرد از روی ریف‌ها می‌گذرد، رشد می‌کند.

رده بندی مرجان‌ها[1]

Phylum Cnidaria (= Coelenterata)
Subphylum Medusozoa
Class Scyphozoa – the true jellyfish
Class Cubozoa –the sea wasps
Class Hydrioda
Class Siphonophora
Order Hydrocorallina
Class Myxozoa

Class **Anthozoa** –the sea anemones, **coral**, sea whips, sea pens, sea fans, and pansies
ubclass Hexacorallia (=Zoantharia)
Subclass Octocorallia (=Alcyonaria)

مرجان‌ها از نظر بیولوژیک به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.

الف- مرجان‌های سخت یا هرماتیپیک[2] (دارای دیواره اسکلتی)

این دسته از مرجان‌ها با جلبک تک سلولی زوزانتلا Zooxanthella دارای زندگی هم

[1] Coral classification
[2] Hermatypic

www.takbook.com

زیست است. این جلبک‌ها به مرجان در ساخت ساختار آهکی کمک کرده و ایجاد آبسنگ می‌نمایند. به این مرجان‌ها، آبسنگ ساز[1] نیز گفته می‌شود.(Castro & Huber, 1997)

ب- مرجان‌های نرم یا آهرماتیپیک[2] (فاقد دیواره اسکلتی)

این دسته از مرجان‌ها فاقد زندگی هم زیستی با جلبک‌های تک سلولی می‌باشند، آهکی نبوده و قابلیت آبسنگ سازی نیز دارند (Castro & Huber, 1997).

تفاوت مرجان‌های نرم و سخت در این است که مرجان‌های آبسنگ ساز از یک نوع رابطه همیاری بین مرجان و جلبک تک سلولی زوزانتلا سود می‌برند که این جلبک‌ها در درون بافت آن‌ها زندگی کرده و مرجان‌ها را برای ساخت ترکیبات آلی و کربنات کلسیم توانمند می‌سازند.(Hubbard, 1997) مرجان‌های غیرآبسنگ ساز در اعماق دریاها و نیز مناطق معتدل آب و هوایی به خوبی یافت می‌شوند؛ این در حالی است که مرجان‌های آبسنگ ساز و سایر ارگانیسم‌های دارای زوزانتلا نزدیک به بالاترین سطح تحمل دمایی شان زندگی می‌کنند و بنابراین به آب‌های کم عمق منطقه نوری،[3] در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری محدود می‌شوند.(Lesser, 2004)

ویژگیهای ظاهری آب‌های دارای آبسنگ‌های مرجانی در مناطق حاره‌ای، داشتن آب‌های گرم، زیبا و شفاف، تنوع وسیع و تنوع اعجاب آور رنگی است که چشم هر بیننده‌ای را محسور خود می‌کند. از لحاظ غنای گونه‌ای، تنها رقیب آبسنگ‌های مرجانی، جنگل‌های بارانی بوده که همانند آبسنگ‌های مرجانی تنوع و غنای گونه‌ای بالا (چه بسا فراوان‌تر از ریف ها) را دارند. جنگلهای بارانی و آبسنگ‌های مرجانی از لحاظ ساختار فیزیکی در سیستم زنجیره غذایی، بسیار همانند هم هستند. هر دوی آنها ساختارهای سه بعدی باشکوهی ایجاد می‌کنند که محل زندگی هزاران هزار گونه جانوری است و هر دوی آنها، از سر زنجیره‌های غذایی هستند؛ با این تفاوت که آبسنگ‌های مرجانی در دریاها سرمنشاء

[1] Reef building
[2] Ahermatypic
[3] Photic zone

www.takbook.com

مهم حیات بوده و جنگل‌های بارانی در خشکی‌ها، این نقش را ایفا می‌کنند. البته نباید این مسئله را فراموش کرد که وجود هر دوی این اکوسیستم‌ها، با توجه به نقش بالای آنها در تولید اکسیژن (جنگل‌های بارانی) و تبادل یونی در دریاها (آبسنگ‌های مرجانی)، برای ادامه زیست همه جانداران، از جمله انسان، ضروری می‌باشند.

در نگاه اول چنین به نظر می‌رسد که آبسنگ‌های مرجانی واحدهای بیولوژیک هستند ولی با توجه به مطالبی که در بحث زمین شناختی آبسنگ‌های مرجانی توضیح داده شد، روشن می‌گردد که این ساختارها، در درجه بعدی، ساختارهای زمین شناختی به حساب می‌آیند.

سیستم عصبی در مرجان‌ها

مرجان‌ها فاقد مغز یا سیستم عصبی مرکزی هستند. در عوض، به جای آن، شبکه عصبی غیرمتمرکزی به نام حلقه عصبی دارند که شامل یک سری نرون‌های حسی است که در پاسخ به محرک‌های محیطی گوناگون از قبیل بو و اعمال حرکتی، پیام عصبی تولید می‌کنند که این پیام‌ها باعث منقبض و منبسط شدن ماهیچه‌های حرکتی در نیداریا می‌شود. برای ایجاد پیام عصبی موهای سلولی(Cilia) که در سطح سلول قرار دارند به نوع محرک پی می‌برند و با انتقال پیام عصبی به سلول‌های عصبی و سلول‌های حاوی نماتوسیست، در مقابل محرک، پیام لازم را تولید می‌کنند. بیشتر انتقال‌های پیام عصبی در بین سلول‌های عصبی در مرجان‌ها از طریق سیناپس‌های شیمیایی chemical synapses انجام می‌شود. از آنجایی که این روش انتقال پیام عصبی کند است برای اطمینان از اینکه پیام عصبی سریع‌تر پخش شود، ماهیچه‌های قسمت دهانه حلقه مدوز با انقباض پیوسته و سریع، به انتقال پیام‌ها در شکاف‌های عصبی کمک می‌کنند .(Barnes, 2004) سیستم عصبی در مرجان‌ها از یک شبکه عصبی خیلی ساده تشکیل شده است که بر اساس ساختار لایه اپیدرم و گاسترودرم، تشکیل یک شبکه توری شکل (nerve nets) را در جاندار می‌دهد که هر لایه دارای ساختار مخصوص به خود است و ارتباط این شبکه باهم از طریق اکسون‌ها

www.takbook.com

و سیناپس‌ها یا اتصالات عصبی انجام می‌شود. مثل همه جانوران، انتقال پیام عصبی بین دو سلول عصبی از طریق انتقال دهنده‌های عصبی و وزیکول‌های سیناپسی انجام می‌شود و اساس کار همان انتقال پیام از طریق کانال سدیم پتاسیم است. بیشتر سلول‌های عصبی در لایه اپیدرمیس چند قطبی هستند. در نیداریا، سیستم عصبی از غلاف میلینی ساخته شده است. به این صورت که میلین از اسیدهای چرب تشکیل یافته است و سبب افزایش سرعت انتقال پیام عصبی در سلول عصبی می‌شود.

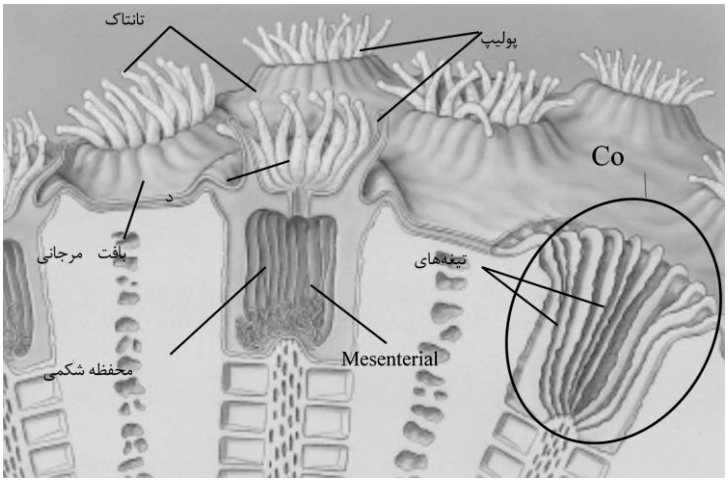
پولیپ مرجانی

اگر نگاه دقیق‌تری به کلونی مرجانی بیندازیم، خواهیم دید که کلونی‌ها از اجزاء کوچکی شبیه به شقایق‌های دریایی تشکیل شده‌اند که شامل بازوهایی در قسمت بالای سر خود هستند که ساختارهایی حلقه مانند دارند و به محفظه شکمی ختم می‌شوند. همانند شقایق‌ها، از واحدهایی به نام نماتوسیست[1] که در بازوها قرار دارند، برای شکار موجودات ریز مانند زئوپلانکتون‌ها استفاده می‌کنند. این واحدها، پولیپ‌های مرجانی نامیده می‌شوند. پولیپ‌های موجود در کلنی‌های مرجانی همگی توسط یک بافت نازک با هم اتصال دارند. افزون بر این، اتصال پولیپ‌های مرجانی، از طریق سیستم‌های عصبی نیز به هم متصل بوده و اطلاعات تغذیه‌ای را با هم رد و بدل می‌کنند (شکل ۶).

اجتماعات بزرگ مرجانی یا ریف‌های مرجانی Coral Reef زمانی شکل می‌گیرند که پولیپ‌های مرجانی، کربنات کلسیم ($CaCO_3$) را تراوش می‌کنند. بیشتر مرجان‌های سخت، پولیپ‌های کوچکی (بطور میانگین قطر ۱-۳ میلیمتر) دارند؛ امّا کلنی‌ها می‌توانند در اندازهٔ بزرگ رشد کرده و وزنی چند تنی داشته باشند. با وجودی که همهٔ مرجان‌ها، کربنات کلسیم تراوش می‌کنند، امّا همگی آبسنگ ساز نیستند. در جدول شماره یک توضیح داده شده است که برخی مرجان‌ها، همچون مرجان‌های جنس *Fungia*، منفرد و متشکل از یک پولیپ هستند که می‌توانند به قطر ۲۵ سانتی متر رشد کنند.

[1] Nematocyst

www.takbook.com



شکل ۶: پولیپ مرجانی

شکل ۷: Fungia یا مرجان‌های منفرد

دیواره بدن مرجان‌ها از دو لایه اپیدرم (اکتودرم) و گاستروردرم (آندودرم) تشکیل یافته است. در بین دو لایه، یک بافت پیوندی نازک به نام مزوگلیا[1] وجود دارد که از کلاژن، موکوپلی ساکارید و سلول‌ها تشکیل شده است.

الف) اپیدرم (اکتودرم[2]): یک لایه خارجی می‌باشد که از سلول‌های گوناگونی تشکیل شده (نماتوسیست ها, سلوهای عصبی، سلول‌های ماهیچه‌ای –عصبی و سلول‌های بافت

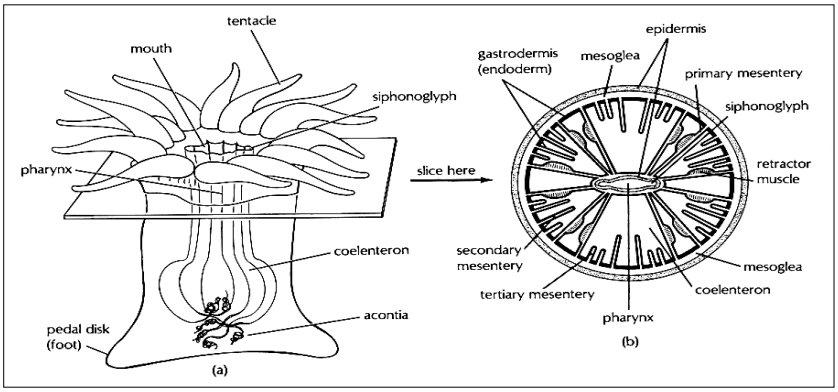
[1] Mesoglia
[2] Epidermis - epithelium

www.takbook.com

اکتودرم) و عملکردهای مختلفی دارد. بیشترین اهمیتی که این لایه دارد این است که موکوس ترشح می‌کند و ارتباطات موجود را با محیط بیرون، از طریق سلول‌های عصبی، فراهم آورده و از بافت‌های داخلی جانور نیز حفاظت می‌کند.

ب) گاسترودرم (آندودرم[1]): یک لایه داخلی است که از سلول‌های پوشاننده حفره شکمی [2]که به عنوان یک فضای داخلی برای هضم غذا عمل می‌کند، تشکیل شده است. این لایه متشکل از سلول‌های ترشح کننده آنزیم ها[3]، واکوئل‌های ذخیره مواده غذایی، سلول‌های ماهیچه‌ای و موهای ریز حسی[4] می‌باشد.

ب) مزوگلیا[5]: لایه بافت پیوندی نازک بین این دولایه، به نام مزوگلیا می‌باشد که از کلاژن، موکوپلی ساکارید و سلول‌ها تشکیل شده است (Veron, 2000). این لایه حالتی شبیه به ژل دارد و بیشتر مواد تشکیل دهند آن را آب تشکیل می‌دهد که بین دو لایه آندودرم و اکتودرم قرار داد.



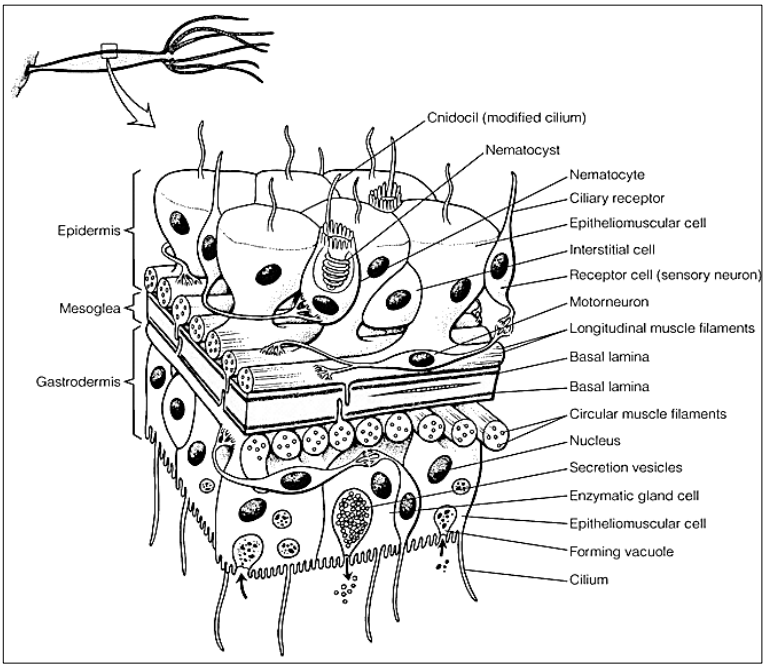
شکل ۸: a) شکل شماتیک از آنتوزوا

b) برش عرضی از قسمت دهانی پولیپ مرجان و قسمت‌های تشکیل دهنده آن

[1] Gastrodermis – epithelium
[2] gastrovascular
[3] Enzymatic Gland Cell
[4] Cilium
[5] Mesoglia

www.takbook.com

سیستم ماهیچه‌ای در این جانداران شامل سلول‌هایی ویژه (با هر دو منشا اکتودرمی و آندودرمی) بوده که اجازه می‌دهند پولیپ در پاسخ به پیام‌های عصبی، منبسط و منقبض شود. یک شبکه عصبی ساده نیز در این موجودات وجود دارد که از سلول‌های اکتودرمی و گاسترودرمی تشکیل شده است و به درون دیواره بدن نفوذ می‌کند و به سلول‌های ویژه‌ای که مسئول دریافت حس مکانیکی و شیمیایی هستند، اتصال دارد.(Veron, 2000)



شکل ۹: لایه‌های تشکیل دهندهٔ بافت پولیپ مرجان

اسکلت مرجان‌های کربنات کلسیم توسط بخش‌های تحتانی پولیپ ترشح می‌شود و شکلی مانند یک فنجان به وجود می‌آورد که Calice نامیده میشود و پولیپ در آن قرار می‌گیرد. دیواره‌هایی که کالیس را احاطه کرده‌اند، تکا theca نامیده می‌شوند و بخش پایه‌ای کالیس یا صفحه پایه‌ای basal plate نامیده می‌شود. در داخل حفره شکمی (معده)

www.takbook.com

مرجان، تیغه‌های نازکی به نام سپتا[1] (sclerosepta) وجود دارد که با بوجود آوردن ساختارهایی یکپارچه، سبب حفاظت قسمت محوطه شکمی شده و در عین حال سطح جذب بافت محوظه شکمی را افزایش می‌دهند. سپتاها از سمت پایه مرجان به سمت بالا و تا نزدیکی تانتاکول‌ها[2] کشیده شده‌اند. در صورتی که از بالا به پولیپ مرجانی نگاه کنیم، آنها را به راحتی می‌توان دید. در دوره‌های زمانی گوناگون، پولیپ‌ها از پایه به دو قسمت تقسیم می‌شوند و هر قسمت تبدیل به یک پولیپ مجزا می‌شود که در داخل فنجان مخصوص به خود قرار می‌گیرند. این روش تبدیل یک پولیپ پیر به دو پولیپ جوان، روش تولیدمثل تقسیم دوتایی نامیده می‌شود که در بخش‌های بعد بیشتر توضیح داده خواهد شد. تازمانی که کلنی زنده است، کربنات کلسیم ته نشین شده و بخش‌هایی را به مرجان اضافه و آنرا بزرگ می‌کند. زمانی که پولیپ‌ها به صورت فیزیکی تحت تاثیر استرس قرار می‌گیرند، پولیپ خود را به سمت قسمت فنجانی جمع می‌کند، بطوری که هیچ قسمت از گوشته پولیپ در بالای پلت فرم اسکلتی (قسمت انتهایی سپتاها)، در تماس با بیرون قرار نمی‌گیرد؛ این کار باعث حفاظت ارگانیسم از شکارچی و عوامل بیرونی می‌گردد (Sumich, 1996).

تغذیهٔ مرجان‌ها[3]

زوزانتلا، مواد غذایی مورد نیاز برای مرجان‌ها را تامین می‌نماید. آن‌ها فتوسنتز[4] می‌کنند و برخی از مواد معدنی را برای مرجان‌ها فراهم می‌کنند. اگرچه مرجان‌ها اغلب غذای شان را از زوزانتلاها به دست می‌آورند امّا از زئوپلانکتون‌ها نیز تغذیه می‌نمایند. میلیون‌ها پولیپ یک آبسنگ مرجانی، همراه با سایر موجودات زنده دیگر، از زئوپلانکتون‌های آورده شده توسط جریانات دریایی، تغذیه می‌کنند. پولیپ‌های مرجانی،

[1] Septa
[2] Tentacles
[3] Coral Nutrition
[4] Photosynthesis

www.takbook.com

زئوپلانکتون‌ها را با استفاده از بازوها (تانتاکل‌های خود) و یا لایه‌ای از موکوس که بر روی لایه سطحی کلنی ترشح می‌شود، شکار می‌کنند. برخی از مرجان‌ها به ندرت از بازوها استفاده می‌کنند و به روش جذب غذا از موکوس وابسته می‌باشند. حتی معدودی از مرجان‌ها، تمامی بازوهای خود را از دست داده‌اند. مرجان‌ها از راه‌های دیگری هم تغذیه می‌نمایند. آن‌ها دارای تعداد زیادی لوله‌های حلقوی بلند می‌باشند که رشته‌های مزنتریال (Mesenterial filaments) نامیده شده و به دیواره لوله گوارش چسبیده می‌باشند. این لوله‌های حلقوی بلند، آنزیم‌های گوارشی را ترشح می‌کنند. پولیپ‌ها می‌تواند رشته‌ها را از دهان و یا دیواره بدن خود جهت هضم و یا جذب ذرات غذایی خارج نمایند. مرجان‌ها هم چنین از لوله‌های حلقوی بلند برای هضم مواد آلی از رسوبات استفاده می‌کنند. افزون بر این، مرجان‌ها از معدود جانورانی می‌باشندکه می‌توانند مواد معدنی محلول را از طریقه دیواره بدن، جذب نمایند.

سازندگان ریف‌ها

باوجود آن‌که مرجان‌های کربنات کلسیمی، مهم‌ترین عناصر سازنده ریف هستند ولی هرگز به تنهایی قادر به ایجاد ریف نمی‌باشند. همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره گردید، بسیاری از جانوران، از جمله جلبک‌ها، از عوامل سازنده ریف‌ها به حساب می‌آیند. در حقیقت، وجود ریف‌ها بدون جلبک‌ها امکان پذیر نمی‌باشد و حتی خود مرجان بدون جلبک قادر به ساخت کربنات کلسیم اجزاء خود نیست. بعضی از زیست شناسان بر این باورند که باید آبسنگ‌های مرجانی را ریف‌های جلبکی نامید. دلیل این باور این است که در درجه اول، همزیست زوزانتلا مرجان که باعث بقا و رشد فردی مرجان و توسعه ریف می‌شود در حقیقت نوعی جلبک است. در مرحله بعد، افزون بر این، جلبک‌های مرجانی[1] (*Porolithon, Lithothamnion*)، به تنهایی در ساخت پیکرهٔ کربنات کلسیمی در ریف‌ها نقش مهمی دارند. این جلبک‌ها ابتدا بر روی بسترهای سنگی رشد می‌کنند و مقدار قابل

[1] Encrusting coralline algae

www.takbook.com

توجهی کربنات کلسیم از خود ترشح می‌کنند. که گاهی بسیار بیشتر از مرجان‌های کربنات کلسیمی می‌باشد. ثابت شده است که نقش مرجان‌های کلسیمی در ساختن ریف‌ها در اقیانوس اطلس و آرام بیشتر از مرجان‌های کربنات کلسیمی است. جلبک‌های مرجانی نه تنها به ساخت ریف کمک می‌کنند. بلکه به دلیل داشتن استقامت بالاتر نسبت به مرجان‌ها، در مقابل امواج و جریان‌های آبی، از شسته شدن ریف و کند شدن ریف‌ها توسط امواج محافظت می‌کنند. بسترهای اولیه ساخته شده توسط جلبک‌های مرجانی، همانند پایه‌ای بتونی، استحکام لازم را در برابر بسیاری از امواج دارد. چه بسا در طوفان‌های دریایی، شاهد هستیم که بسیاری از مرجان‌ها شکسته شده و از بین می‌روند ولی بستر ریف و جلبک‌های مرجانی محکم بر جای خود باقی می‌مانند. در مناطقی مثل اقیانوس آرام، در محل تداخل امواج با ریف در شیب آبسنگی Reef crest مناطقی به نام مرز جلبکی algal ridge وجود دارند که می‌توانند انرژی امواج را جذب کرده و مانع فرسایش ریف شوند. البته جلبک‌های مرجانی کار مهم دیگری را بر عهده دارند. زمانی که کلنی‌ها مرجانی در ریف‌ها تشکیل می‌شوند، فضای بین آنها که پر از فضاهای خالی است، ذرات شن ته نشین می‌شود، این ذرات از استقرار مرجان‌های جوان که می‌خواهند با استقرار در کنار کلنی‌های بزرگ به تشکیل ریف کمک کنند ممانعت می‌نمایند. با این حال، وجود این ذرات شنی در بین فضاهای بین مرجانی، جزء جدایی ناپذیر ریف‌ها است. جلبک‌های مرجانی همانند چسب کربنات کلسیمی، بر روی این رسوبات شنی رشد می‌کنند و آنها را محکم به هم نگاه داشته و با ترشح کربنات کلسیم، بستر مناسب را برای جایگزینی و استقرار مرجان‌های جوان که می‌خواهند از حالت پولیپ به مرجان کربنات کلسیمی تغییر شکل دهند، ایجاد می‌کنند. در حالت کلی می‌توان گفت که جلبک‌های مرجانی، جوامع ریف را متصل به هم نگه می‌دارند. لازم به ذکر است که افزون بر جلبک‌های مرجانی، برخی از بی‌مهرگان، اسفنج‌های کربنات کلسیمی و بریوزوان‌ها bryozoans نیز در متصل نگه داشتن بخش‌های گوناگون ریف بهم نقش دارند. البته باید گفت که رسوبات کربنات کلسیمی biogenous ناشی از تکه‌های مرجانی، صدف‌های کربنات کلسیمی، اسکلت

www.takbook.com

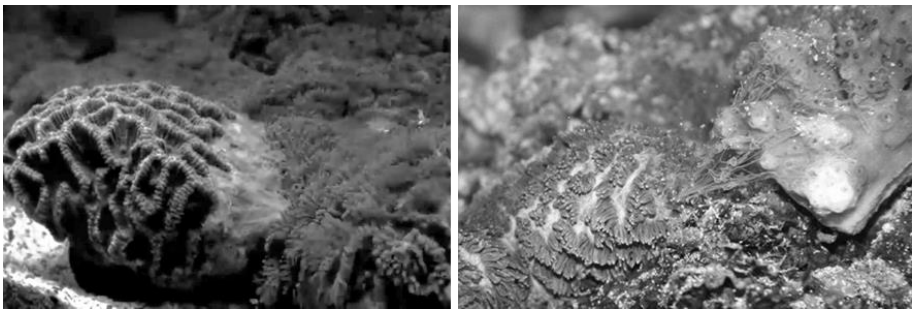
جانوران و پوسته کربناتی موجودات، همگی باعث کمک به تشکیل ریف می‌شوند. در میان رسوبات کربنات کلسیمی در ریف‌ها قلوه‌سنگ مرجانی Coral rubble و گروهی از جلبک‌های کربنات کلسیمی سبز به نام *Halimeda* از تزریق کنندگان مهم کربنات کلسیم به صورت رسوب به ریف‌ها هستند. *Halimeda*، به دلیل ویژگی‌های خود، لقمه غذایی ناخوشایندی برای جانورانی هستند که از مرجان‌های کربنات کلسیمی در ریف تغذیه می‌کنند. این جلبک با اضافه کردن مزه ویژه به ریف‌ها، باعث دلسردی علف خواران و سایر جانوران از تغذیه از ریف‌ها می‌شوند و از فرسایش زیستی بیشتر ریف‌ها جلوگیری می‌کنند. البته باید گفت، در صورتی که رسوبات کربنات کلسیمی ناشی از Halimeda بیشتر از حد مورد نیاز ریف‌ها باشند، می‌توانند مشکلاتی را سبب شوند. امّا خوشبختانه، هوش ذاتی که در سیستم‌های اکولوژیک وجود دارد، در مقابل هر پدیده‌ای که منجر به نگرانی برای ریف‌ها شود، چاره‌ای اندیشیده است. جانورانی از قبیل فرامینیفرها، دوکفه‌ای‌ها، نرمتنان صدف دار، حلزون‌ها، توتیای دریایی، بریوزوان‌ها، اسفنج‌ها و جلبک‌ها، همگی برای ادامه زیست از رسوبات کربنات کلسیمی استفاده می‌کنند و با این کار تعادلی زیبا برای ادامه زیست ریف، استوار می‌گردد. سهم عمده‌ای از رسوبات کربنات کلسیمی را جانورانی به وجود می‌آورند که نقشی در تشکیل کربنات کلیسیم در ریف‌ها ندارند. برای مثال طوطی ماهی دارای دندان‌هایی سخت است که برای تغذیه از جلبک‌های موجود در ریف‌ها به ناچار اقدام به فرسایش زیستی و تشکیل رسوبات کربنات کلسیمی می‌کند. البته ایجاد این نوع رسوب محدود به مهرداران نمی‌شود و موجوداتی مثل توتیای دریایی نیز در به وجود آوردن این نوع رسوب نقش مهمی داشته و گاهی باعث خسارت‌هایی نیز می‌شوند. بعضی از این فرسایس‌های زیستی، با ایجاد حفره‌هایی در درون مرجان که محل زندگی جانور ثانویه می‌شود، انجام می‌گیرد. به عنوان مثال، اسفنج‌ها، پلیکیت ها[1]، صدف‌ها و بعضی از کرم‌ها، با ایجاد جایگاه‌هایی در درون بخش آهکی مرجان، باعث تخریب آن می‌شوند.

[1] Polychaete

www.takbook.com

رقابت در آبسنگ‌های مرجانی

فضای تصرف شده در مناطق جزومدی با بستر سنگی، پاداشی است که مرجان‌های کربنات کلسیمی در جامعه ریف، آن را به زحمت به دست آورده‌اند. مرجان‌ها، علف‌های دریایی و بسیاری از جانوران دیگر نیاز به بستر سخت دارند تا در آن استقرار یابند. رقابت در بین ریف‌ها تنها بر سر جا نیست بلکه برای به دست آوردن نور نیز رقابتی شدید و حیاتی در جامعه ریف برقرار است. زمانی که ریف توسعه می‌یابد، فضای موجود کوچک‌تر می‌شود و موجودات کف‌زی[1] چسبیده به بستر باید چالش بسیاری را در حفظ خانه و مکان خود به انجام رسانند. مرجان‌ها به روش‌های گوناگونی باهم برای تصرف مکان، رقابت می‌کنند. ساده‌ترین روش رقابت، رشد به صورت سه بعدی و شاخه‌ای و محدود کردن میزان نور دریافتی توسط مرجان همسایه است. روش دیگر، حمله مستقیم به مرجان همسایه خود است (شکل ۸).برای این تهاجم، بعضی گونه‌ها از رشته‌های مزنتریال‌های Mesenterial Filaments خود استفاده می‌کنند تا بافت گوشتی مرجان همسایه را هضم کرده و آن را نابود نمایند.



شکل ۱۰: دو نمونه از تهاجم گونه‌های گوناگون مرجان به هم که در هر دو شکل مرجان با استفاده از mesenterial filaments به نابودی همسایه خود اقدام می‌کنند.

در بعضی از گونه‌های مرجان، مجموعه‌ای بازوهای دراز به به نام بازوهای رفتگر (sweeper tentacles) دارند که پر از نماتوسیست است که با استفاده از آنها، اقدام به نیش

[1] sessile organisms

www.takbook.com

زدن به همسایه خود می‌کنند (شکل ۱۰ –b). گاهی این نیش‌ها منجر به مرگ مرجان همسایه می‌شود. مرجان‌ها، رفتارهای تهاجمی گوناگون دارند. مرجان‌های مهاجمی‌تر دارای رشد آهسته بوده و به صورت توده‌ای و بیشتر افقی رشد می‌کنند ولی گونه‌های که رفتار تهاجمی کمتری دارند دارای رشد سریع‌تر بوده و شاخه مانند هستند و به سمت بالا رشد می‌کنند. هر دوی این روش‌ها مزایای ویژه خود را دارد. مرجان‌ها برای نور و فضا نه تنها با هم جنس خود بلکه با جلبک‌ها و جانوران کف زی نیز رقابت می‌کنند. جلبک‌های مرجانی نیز به فضا و نور نیاز دارند ولی این جانداران روش هوشمندانه تری دارند و معمولاً در جایی فضا را اشغال می‌کنند که مرجان‌ها قادر به رشد در آن مناطق نیستند (مانند بسترهای شنی و بسترهای شنی کربنات کلسیمی و در مناطقی که سرعت و جریانات امواج زیاد است و این شرایط، زیست را برای مرجان‌ها و فرسایش‌گران زیستی سخت می‌کند). در شرایط متعادل نوری، جلبک‌ها سریع‌تر از مرجان‌ها و جلبک‌های مرجانی رشد می‌کنند و این جلبک‌ها هستند که به دلیل مصرف بالا، عامل مهم محدود کننده مواد مغذی[1] در فضای ریف هستند. از آنجایی که رشد جلبک‌ها آهسته بوده و چرندگان موجود در ریف علاقه بیشتری به تغذیه از آنها دارند، یک تعادلی بین میزان مواد مغذی در ریف و جلبک‌ها برقرار است که باعث می‌شود سایر جانوران ریف نیز از مواد آلی موجود در ریف بهره کافی را ببرند. اگر بنا بر دلایلی، چرندگان از ریف حذف شوند یا مقدار مواد مغذی در ریف افزایش انفجاری داشته باشد، جلبک‌ها سایر موجودات کف زیری در ریف را از جمله مرجان‌ها و جلبک‌های مرجانی را با رشد بی‌اندازه و نیز مصرف بیشتر از حد اکسیژن، خفه خواهند کرد. مرجان‌های نرم نیز دارای رقابت برای فضا با مرجان‌ها در ریف هستند و در بعضی از مناطق پنجاه درصد بافت زنده در ریف را به خود اختصاص می‌دهند. همانند جلبک‌ها، آنها فاقد اسکلت کربنات کلسیمی هستند و قادرند سریعتر از مرجان‌های سخت رشد کنند. بعضی از مرجان‌های نرم دارای تیغه‌های کربنات کلسیمی به نام

[1] nutrient

www.takbook.com

اسپیکول[1] هستند که شکارگران را بی‌علاقه برای تغذیه از آنها می‌کنند. همچنین، بسیاری از آنها دارای مواد شیمیایی سمی در بافت خود هستند که این باعث دورشدن شکارگران از آنها گردیده و تنها گروه محدودی از شکارگران قادر به تغذیه از مرجان‌های نرم هستند. گاهی این مواد سمی که در داخل مرجان‌های نرم است به داخل آب رها شده و سبب مرگ مرجان‌های سخت می‌گردند. از دیگر مکانسیم‌های مرجان‌های نرم این است که آنها قادر به حرکت می‌باشند و در صورت لزوم، مکان خود را تغییر می‌دهند. این پدیده موجب می‌شود تا آنها در تصرف فضا در ریف، مهارت بیشتری را نسبت به سایر جانوران کف زی داشته باشند. پرسشی که در اینجا پیش می‌آید این است که چرا با وجود این همه مهارت‌های بقا و دفاعی، مرجان‌های نرم قادر نیستند بر ریف تسلط یابند و بیشترین بافت پوششی را به خود اختصاص دهند؟ در مورد مرجان‌های نرم اطلاعات وسیعی در دسترس نیست؛ اینکه دقیقا چگونه با مرجان‌های سخت رقابت می‌کنند و چه مکانیسمی باعث برتری آنها می‌شود؟ امّا موضوع مهمی که وجود دارد این است که مرجان‌های نرم در مقایسه با مرجان‌های سخت که دهه‌ها و قرن‌ها زندگی می‌کنند، عمر بسیار کوتاهی دارند. همچنین آنها توسط امواج و جریان‌های دریایی به راحتی صدمه می‌بینند و نابود می‌شوند. همانند مرجان‌های سخت، نیز همزیست زوزانتلا دارند؛ امّا فتوسنتز در مرجان‌های نرم همانند مرجان‌های سخت، بازدهی کافی نداشته و به نظر می‌رسد که مرجان‌های نرم به شرایط محیطی بسیاری مطلوبی نیاز دارند و در مقابل تغییر پارامترهای فیزیکی آب بسیار آسیب پذیرند. البته، اینکه این شرایط محیطی چطور با رشد و بقا مرجان‌های نرم تداخل دارد، هنوز آگاهی کافی در دسترس نیست. همانند مرجان‌های نرم، اسفنج‌ها نیز دارای اسپیکول و مواد شیمیایی برای حفاظت خود از شکارگران هستند و آنها نیز می‌توانند در استفاده از فضا، در ریف مهم باشند. در دریای کارائیب، اسفنج‌ها دارای سهم بیشتری از فضای ریف نسبت به اقیانوس آرام و هند هستند. البته این می‌تواند به این دلیل باشد که تنوع گونه‌های مرجانی در دریایی کارائیب، در مقایسه با اقیانوس هند و آرام، کمتر است.

[1] spicules

www.takbook.com

این واقعیت، نتیجه یک پدیده زمین شناختی تاریخی است. در طول عصر یخبندان که سطح دمای آب اقیانوس‌ها پایین‌تر بود، مرجان‌ها در قلب اقیانوس هند و آرام،[1] در مناطق اندونزی و گینه نو به زیست خود ادامه دادند امّا در اکثر بخش‌های اقیانوس، بسیاری از گونه‌ها منقرض شدند. زمانی که عصر یخبندان به اتمام رسید، مرجان‌ها دوباره در سرتاسر اقیانوس آرام پراکنده شدند و دوباره در مناطقی که آنها نابود شده بودند، شروع به رشد کردند. در منطقه پانامّا به دلیل زایش تنگهٔ پاناما Isthmus of Panamá در نتیجه حرکات تکتونیک، در دسترسی لاروهای مرجانی به این منطقه مانع ایجاد شد. به نظر می‌رسد که منطقه کارئیب دارای همان گونه‌های مرجانی است که از عصر یخبندان تا کنون بقا یافته‌اند. ماهیان مرجانی (reef fish)، جانوران دیگری هستند که در رقابت با مرجان‌ها در فضای ریف مهم به نظر می‌رسند. بحث‌های زیادی بر سر این موضوع است که رقابت چگونه بر ماهیان مرجانی تاثیر می‌گذارد. یک فرضیه این است که رقابت در بین ماهیان مرجانی و سایر جانوران ریف بی‌معنی است و تنها عامل تاثیر گذار در پویایی جمعیت ماهیان مرجانی، میزان لاروهایی است که به مرحله نمو کامل می‌رسند و تبدیل به ماهی بالغ می‌شوند. در موفقیت لاروهای مرجانی، میزان مواد مغذی و جریان‌های آبی تاثیر گذار هستند. این فرضیه به پیش اسکانی pre-settlement معروف است. بر اساس این فرضیه، میزان موفقیت گونه‌های گوناگون ماهیان مرجانی در ریف‌ها با در دسترس بودن و فراوانی میزان لاروهای آن‌ها در ریف‌ها، تعیین می‌گردد. این نظریه بیان می‌کند که گونه‌ای از ماهیان مرجانی هر چقدر اقدام به تولید لارو بیشتر نماید، احتمال موفقیت آن گونه، برای استقرار در ریف بیشتر است. در مقابل این فرضیه، فرضیه دیگری به نام پس اسکانی post-settlement وجود دارد که بیان می‌کند بیشتر گونه‌های ماهیان مرجانی، فراوانی جمعیتی کافی دارند که بتوانند در ریف مستقر شوند و عامل موفقیت گونه ماهیان مرجانی عواملی چون رقابت برای مکان، غذا و سایر منابعی است که لاروها برای مستقر شدن در ریف به آن‌ها نیاز دارند. این فرضیه بیان می‌کند که بیشتر ماهیان مرجانی می‌توانند در ریف به

[1] Indo-West Pacific region

www.takbook.com

راحتی مستقر شوند زیرا که هر گونه دارای ویژگی‌های ویژه فیزیولوژیک و اکولوژیک است که آن را از بقیه گونه‌ها اندکی متمایز می‌کند و مانع از آن می‌شود که گونه‌های گوناگون ماهیان مرجانی باهم رقابت توام با خطر داشته باشند. به عبارت دیگر، این فرضیه بیان می‌کند که عامل تعیین کننده موفقیت ماهیان مرجانی در ریف، منابع مورد نیاز اکولوژیک ریف است (مانند شرایط فیزیکوشیمایی آب، مواد آلی و پارامترهای زیستی ریف ها). هنوز مشخص نیست که فرضیه اول تعیین کننده ساختار جمعیتی ماهیان مرجانی است یا فرضیهٔ دوم.

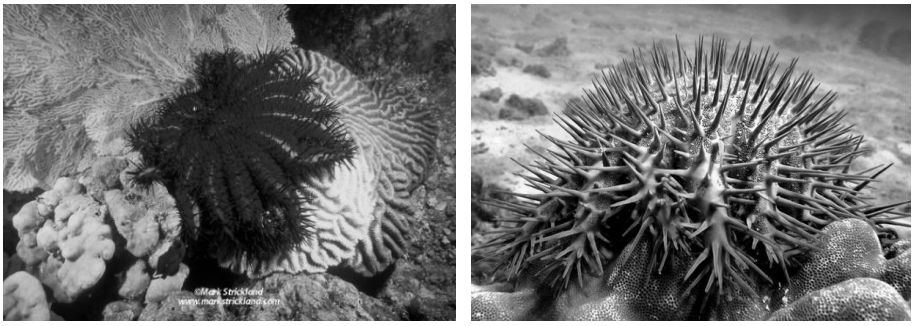
شکار در آبسنگ‌های مرجانی

از پارامترهای مهم و تاثیر گذار دیگر، پدیده شکار و چرا در ریف‌ها است. جانوران گوناگونی از آبسنگ‌های مرجانی تغذیه می‌کنند ولی این تغذیه به این صورت نیست که همهٔ مرجان را بخورند بلکه بیشتر این شکارگران یا از پولیپ‌های مرجانی تغذیه می‌کنند یا قسمتی از کلنی مرجانی را گاز زده و به آن آسیب می‌زنند و دوباره سراغ کلنی مرجانی دیگر می‌روند. بقیه قسمت‌های کلنی که سالم مانده است، اقدام به ترمیم بخش خسارت دیده می‌کند. این نوع تغذیه مخصوص چراکنندگان در ریف است که بسته به گونه‌های مرجانی که در ریف زندگی می‌کنند و نیز سرعت رشد و ترمیم مرجان در ریف، چراکنندگان می‌توانند در ریف تاثیر گذار باشند. به عنوان مثال در خلیج کانه اوهی Kane‘ohe Bay پروانه ماهی (*Chaetodon unimaculatus*) به واسطه تغذیه فروان از گونه مرجانی *Montipora* verrucosa عامل کند کننده رشد این گونه است. زمانی که این مرجان در داخل قفس‌هایی در ریف برای جلوگیری از خورده شدن توسط پروانه ماهی قرار می‌گیرد، بسیار سریع‌تر رشد می‌کند. احتمالا اگر در این منطقه، پروانه ماهی وجود نداشت، این مرجان با رشد سریع می‌توانست بر تمامی گونه‌های دیگر غالب شود. بعضی از نرم تنان مانند *Coralliophila, Drupella*، اثر پروانه ماهی را در این خلیج بر عهده دارند.

www.takbook.com

ستارهٔ دریایی تاج خار

نمونه‌ای دیگر از شکارگران مرجان‌ها در ریف، ستارهٔ دریایی تاج خار (گونه‌ای از توتیا) است. این جانور با قرار دادن بخش دهانی خود بر روی مرجان‌ها، اقدام به هضم و تغذیه از بافت گوشتی آن‌ها می‌کند. این جانور از گونهٔ خاصی از مرجان‌های سخت تغذیه می‌کند و از سایر گونه‌ها اجتناب می‌ورزد؛ زیرا که بعضی از گونه‌های مرجانی، طعم بدی را برای این جانور دارند. البته بعضی از همسایگان مرجان از جمله خرچنگ‌ها، میگوهای هم زیست، ستارهای دریایی و بعضی از ماهیان همزیست با مرجان، با گاز و نیش زدن، به انجام دور کردن این نوع توتیا از مرجان‌ها اقدام می‌کنند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: دو نمونه از ستارهٔ دریایی تاج‌خار (crown-of-thorns sea stars) در آبسنگ‌های مرجانی استرالیا که باعث خسارت گسترده‌ای به ریف در منطقه می‌شوند.

در بعضی مناطق، تاج خار، اثر بسیار مهمی در ریف‌ها دارد. در دهه ۱۹۵۰، مردم متوجه شدند که اجتماعات بزرگی از این توتیاها در اقیانوس آرام پدیدار شده‌اند. این توتیاها به صورت گله‌ای در ریف‌ها حرکت می‌کردند و به نابودی تمامی مرجان‌هایی که بر سر راه آنها قرار می‌گرفت، اقدام می‌کردند. در ریف‌های خسارت دیده، مرجان‌های سخت به ۱۰ الی ۱۵ سال زمان نیاز دارند تا خود را ترمیم کنند. البته این زمان برای ترمیم گونه‌هایی که رشد کند دارند، مقداری بیشتر است. اولین پاسخ مردم در آن زمان به این پدیده، وحشت بود

www.takbook.com

زیرا که مرجان‌ها منبع مهم و حیاتی در صنعت توریسیم، ماهیگیری، حفاظت و اکولوژی سواحل به شمار می‌آیند. با مشاهده این پدیده، مردم تصمیم گرفتند اقدام به کنترل جمعیت این نوع توتیاها کنند که نتیجه این تلاش‌ها، بازخورد معکوس داشت. با دانش کمی که مردم در آن زمان داشتند، شروع به تکه تکه کردن و رها کردن این توتیاها در دریا کردند. با توجه به اینکه این گونه از توتیا قادر به بازآفرینی بخش جدا شده خود است، نتیجه این عمل، ازدیاد دو چندین برابری توتیاها گردید. آنگاه از روش‌های دیگری چون تزریق سم به آن‌ها انجام شد که این روش نیز با توجه به هزینه بالا، مقروم به صرفه نبود. فراتر از این مسئله، سموم در همه گونه‌ها جواب‌گو نبودند و باعث مرگ در توتیاها نمی‌شدند. خوشبختانه، به طور مرموزی، جمعیت توتیاها در آن زمان شروع به از بین رفتن کرد و دلیل این مسئله هنوز بر کسی روشن نیست. هنوز هم در مناطقی جمعیت توتیا به حالت انفجاری شروع به ازدیاد می‌کند و دوباره به طور مرموزی، از بین می‌رود. علت این پدیده، هنوز مشخص نیست. بحث بر سر این موضوع که چه چیزی باعث بلوم توتیا و از بین رفتن آن‌ها می‌شود، گاهی حالت جنجالی و عاطفی به خود می‌گیرد. امّا آن چیزی که در درجه اول به نظر می‌رسد این است که این رشد انفجاری توتیا در بازده کوتاهی از زمان نمی‌تواند حالت طبیعی داشته باشد. البته پرسشی که در اینجا پیش می‌آید این است که آیا پدیده رشد انفجاری جمعیت توتیا در طول تاریخ زمین شناسی ثبت شده است؟ زمین شناسان فسیل‌هایی از تاج خار را از هزاران سال پیش کشف کرده‌اند که مطالعات با استفاده از رادیوایزوتوپ‌ها بر روی این گونه‌ها نشان می‌دهد که این حادثه در نقاط گوناگون زمین و در بازده‌های زمانی گوناگون نیز به وقوع پیوسته است. بنابراین، می‌توان گفت این پدیده بخشی از اکوسیستم طبیعی اجتماعات ریف است. یک فرضیه، گویای آن است که در فصل پرباران، رودخانه‌ها به همراه روان آب‌ها، مواد مغذی را بیش از مقدار طبیعی وارد آب دریا می‌کنند و این مواد مغذی سبب رشد فیتوپلانکون‌ها که غذای مورد نیاز لارو توتیاها هستند می‌شود. این پدیده موجب رشد و بقا توتیاهای بیشتر در دریا می‌گردد. البته بعضی نشانه‌ها وجود دارد که افزایش توتیاها ناشی از افزایش فعالیت‌های انسانی است که منجر به ورود

www.takbook.com

مواد مغذی فراوان به دریاها می‌شود. چراکه شواهد نشان می‌دهد، افزایش جمعیت توتیا در طول دوره‌های تاریخی متناوب مشابه، همانند زمان حال نبوده است. اگر افزایش مواد مغذی باعث رشد گسترده توتیا است پس می‌بایست مواد مغذی ناشی از فاضلاب‌های خانگی، کودهای کشاورزی و سایر فعالیت‌های انسانی نیز شرایط را بسیار بدتر کنند. البته فرضیه دیگری هم وجود دارد که می‌گوید صید برخی ماهیان که از لارو توتیا تغذیه می‌کنند، منجر به رشد انفجاری توتیا می‌شود. از لحاظ علمی، ثابت شده است که برخی از گونه‌های ماهیان مرجانی مثل طوطی ماهی‌ها از توتیا بالغ تغذیه می‌کنند و طبیعی است که صید این گونه‌ها می‌تواند باعث افزایش جمعیت توتیاها شود. برخی از زیست‌شناسان، ثابت کرده‌اند که افرادی که به تجمع صدف‌های تریتون triton shell برای فروش اقدام می‌کنند، موجب افزایش جمعیت توتیاها می‌شوند. زیرا صدف تریتون با تغذیه از جانور بالغ توتیا، در کنترل جمعیت این جانور نقش مهمی دارد ولی عده‌ای بر این باورند حتی بدون وجود جمع کنندگان صدف تریتون، این موجودات در دریا نایاب بوده و نمی‌توانند در کنترل جمعیت توتیا خیلی تاثیر گذار باشند. نشان داده شده است که حتی علارغم حذف جمع کنندگان صدف تریتون، در برخی مناطق، باز افزایش جمعیت توتیا مشاهده می‌شود. راز این که واقعا چه سازوکاری و چه چیزی باعث افزایش ناگهانی جمعیت توتیا می‌شود، هنوز آشکار نشده است و برای پاسخ به این پرسش، دانشمندان، تنها به فرضیات اکتفا می‌کنند. پاسخ به این پرسش در مدیریت و حفاظت از ریف‌ها، تاثیر به سزایی خواهد داشت. اگر عامل اصلی این بلوم جمعیتی توتیا، فعالیت‌های انسانی باشد، پس باید آن را متوقف کنیم. اگر این بلوم ناشی از روند طبیعی اکولوژیک باشد پس حتما مهم است که رخ می‌دهد و بخشی از اکولوژی طبیعی ریف محسوب می‌شود. به دفعات ثابت شده است که مداخله در روندهای طبیعی اکوسیستم‌ها در صورتی که دانشی نسبت به آن نداریم، خسارات بیشتری به بار خواهند آورد. پژوهشگران و مدیران محیط زیست در آبسنگ‌های بزرگ مرجانی استرالیا، روش میانی جالبی را برای کنترل جمعیت توتیا انجام می‌دهند. آنها برای کشتن توتیا از سمومی خاص استفاده می‌کنند؛ ولی زمانی اقدام به این کار می‌کنند که به نقطه بحرانی از منحنی جمعیتی که

www.takbook.com

براساس مطالعات گسترده به دست آمده است، رسیده باشند. در صورتی که جمعیت توتیا کمتر از این حد و مرز مشخص باشد، آنها اجازه می‌دهند بلوم جمعیتی توتیا انجام شود و به صورت طبیعی پایان یابد. در کشور ما تا کنون هیچ گونه مطالعات قوی‌ای پیرامون وضعیت اکولوژیک توتیا انجام نشده است و تنها به مطالعات محدود منطقه‌ای بسنده شده است و اینکه وضعیت اکولوژیک توتیا در حال حاضر در خلیج فارس، در سواحل ایران، در چه وضعیتی است و اینکه تقابل اکولوژیک توتیا با آبسنگ‌های مرجانی به چه صورت است، از پرسش‌های اساسی می‌باشند که نیاز به پژوهش بیشتر دارند. با توجه به مشاهدات نگارندگان این نوشتار، در جزایری مثل لارک، قشم، خارک، خارکو و سواحل بوشهر، تا سال ۱۳۹۲، با وجود تفاوت جمعیتی توتیا در این جزایر، افزایش جمعیت توتیا نمی‌تواند عامل گسترده تخریب آبسنگ‌های مرجانی باشد و آن چیزی که بیشتر سبب تخریب آبسنگ‌های مرجانی در خلیج فارس است فعالیت‌های انسانی از جمله توسعه سواحل در بخش‌هایی مثل عسلویه، قشم و سایر سواحل خلیج فارس، در بخش جنوبی و شمالی و در درجه بعد، فعالیت‌های ناشی از حمل نقل، استخراج نفت، آلودگی‌های مربوط به پساب‌های صنعتی و خانگی می‌باشد.

فعالیت چرا در ریف‌ها

فعالیت‌های چرا توسط علف‌خواران ریف، بخش مهمی از اکوسیستم ریف به حساب می‌آید. بسیاری از ماهیان مرجانی مانند جراح ماهی[۱] (*Acanthurus*)، طوطی ماهی[۲] (*Sparisoma Scarus*) پرستارماهی[۳] (*Pomacentrus, Dascyllus*) از چراکنندگان مهم در ریف‌ها هستند. در میان بی‌مهرگان، توتیا[۴] *(Diadema, Echinometra)* بسیار مهم است. برخی از علف‌خواران کوچک[۵] مانند نرمتنان کوچک، شامل حلزون‌ها، کیتون‌ها،

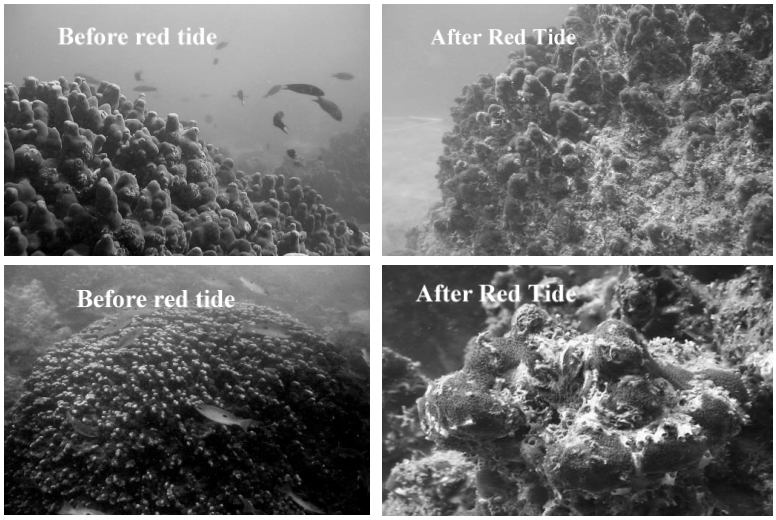
[1] surgeonfishes
[2] parrotfishes
[3] damselfishes
[4] Sea Urchin
[5] microherbivores

www.takbook.com

سخت‌پوستان و کرم‌های پلیکیت مهم بوده و می‌توانند از جلبک‌های ریف‌ها تغذیه کنند. برای بیان اهمیت این علف‌خواران کوچک، به گزارشی از حوادثی بعد از پدیده کشند سرخ (Red Tide) در آبسنگ‌های مرجانی در جزایر ناز در بخش جنوب شرقی قشم که توسط مرادی و همکاران در سال ۱۳۹۱ انجام گردید، اشاره می‌شود. هنوز علت این پدیده به درستی آشکار نشده است ولی مثال خوبی از اثرات اکولوژیک چراکنندگان کوچک در ریف‌ها می‌توان به شمار آورد.

در شهریور ماه سال ۱۳۸۷، برای اولین بار، پدیده‌ای بسیار نادر از شکوفایی جلبکی گونه غیربومی در خلیج فارس با عنوان *Cocholodinium polykrikoides* مشاهده شد که به فاصله تنها دو ماه از پدیده کشندسرخ توسط این گونه مهاجم، نابودی آبسنگ‌های مرجانی در جزایری مثل لارک، به میزان نود درصد سطح پوشش گونه‌های مرجان‌های شاخ گوزنی و بیش از ۹۵ درصد در جزایر ناز در بخش جنوب شرقی در کل آبسنگ‌های مرجانی روی داد. امّا پدیده جالبی که در ریف‌های منطقه جزایر ناز مشاهده شده، رشد انفجاری گونه‌ای چراکنندگان کوچک از کرم‌های پلی کیت به نام *Spirobranchus sp* و *Spirobranchus tetraceros* در آبسنگ‌های مرجانی این منطقه بود که همزمان با تخریب مرجان‌ها همراه بود. البته رشد این گونه از کرم‌های پلی کیت در جزیره قشم بر روی مرجان‌های سخت نیز مشاهده شد ولی به شدت جزایر ناز نبود. این که چه ارتباطی بین پدیده کشند سرخ و رشد انفجاری کرم‌های پلی کیت وجود دارد، هنوز بر کسی روشن نیست. امّا چیزی که در ماه‌های بعد از کشند سرخ مشاهده شد، بسیار بحث برانگیز بوده و جای تامل دارد. البته می‌توان فرضیاتی را در خصوص افزایش مواد مغذی در نتیجه بلوم فیتوپلانکتونی در آب و تاثیر احتمالی آن با کرم‌های پلی کیت در مرجان‌های این منطقه ابراز کرد. امّا این مسئله نیاز به مطالعه علمی دارد؛ هرچند در مطالعات بسیاری مشخص شده است که مهمترین منبع غذایی این گونه از کرم‌های پلی کیت، پلانکتون‌های موجود در ریف می‌باشد (اشکال ۱۱ و ۱۲).

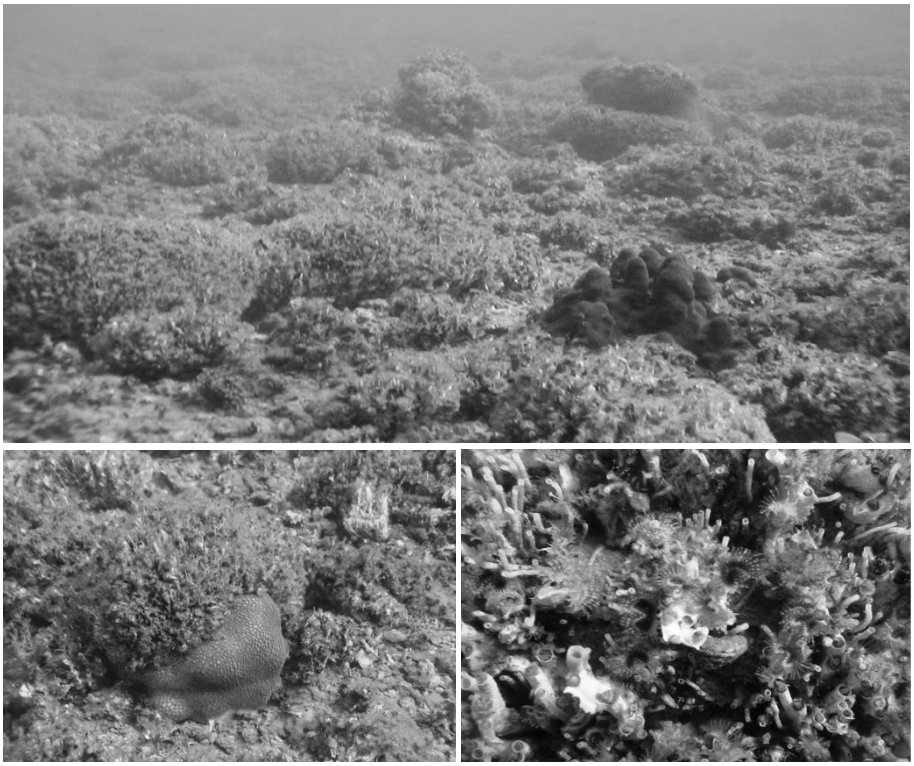
www.takbook.com



شکل ۱۲: اثر کشند سرخ بر مرجان‌های جزیرهٔ قشم؛ رشد غیرمتعارف کرم‌های پلی کیت در مرجان‌های جزیزه قشم - تیرماه ۱۳۸۸ بعد از پدیدهٔ کشند سرخ و سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ قبل از پدیدهٔ کشند سرخ (عکس: محمد شریف رنجبر)

پدیده جالب دیگری که در این منطقه در تیرما ۱۳۸۸ اتفاق افتاد، بسیار جالب توجه می‌باشد؛ چرا که تنها به فاصله چند زمانی که برای ثبت اطلاعات مجدد به این منطقه مراجعه شد، مشاهده گردید که در جزایر ناز، بیش از ۹۵ درصد کرم‌های پلی کیت از بین رفته بودند و تنها پوسته کربنات کلسیمی از آنها بر جای مانده بود و به فاصله تنها چند ماه دیگر در شهریور ماه ۱۳۸۸، مشاهده گردید که آبسنگ‌های مرجانی در این منطقه اقدام به شروع به بازسازی خود کرده‌اند. مثال مورد نظر، پدیده جالبی از تبادل اکولوژیک بین کرم‌های پلی کیت و آبسنگ‌های مرجانی را در جزایر ناز نشان می‌دهد که البته پژوهش‌های گسترده‌تری را می‌طلبد. امّا این مسئله می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که همه موجوداتی که در ریف زندگی می‌کنند، بخش مهمی از جامعه اکولوژیک ریف‌ها هستند و به نوعی می‌توانند در زمان‌های گوناگون، نقش مهمی را در رشد و بقا ریف‌ها یا حتی نابودی آن‌ها ایفا کنند.

www.takbook.com



شکل ۱۳: رشد غیرطبیعی کرم‌های پلی کیت گونه‌های *Spirobranchus sp* و *Spirobranchus tetraceros* پس پدیده کشند سرخ در جزایر ناز در پاییز ۱۳۸۷ (شناسایی گونه‌ها توسط پروفسور Leslie H. Harris از موزهٔ علوم طبیعی لس آنجلس انجام شد). (عکس: محمد شریف رنجبر)

علاوه بر چراکنندگان کوچک در ریف، بسیاری از جلبک‌ها، پتانسیل رشد سریع در ریف را دارند، به طوری که می‌توانند بر مرجان‌ها در ریف کاملاً چیره شوند. امّا همانطور که اشاره شد، در شرایط طبیعی، آنها توسط چراکنندگان و تغییرات مواد مغذی موجود در آب، کنترل می‌شوند. در بسیاری از بخش‌های مرجانی در دریایی کارائیب، جلبک‌ها را تنها می‌توان در بخش‌های شنی سواحل و کمتر در ریف پیدا کرد. این فرضیه توسط زیست‌شناسان مطرح است که در این منطقه، ماهیان مرجانی باعث کنترل قوی رشد

www.takbook.com

جلبک‌ها در ریف‌ها می‌شوند. در یک آزمایش، پژوهشگران، جلبک‌ها را به منطقه ریف منتقل کردند و مشاهده شد که ماهیان مرجانی در منطقه به سرعت از آن تغذیه کرده و آن را حذف می‌کنند. اگر در منطقه ریف، جلبک‌ها را با حفاظ‌هایی محافظت کنیم، سرعت رشد آنها بیشتر از مناطق شنی خواهد بود؛ چرا که ریف‌ها از نظر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب و داشتن بستر محکم برای استقرار جلبک‌ها، شرایط مناسب تری نسبت به بسترهای شنی دارند. جلبک‌ها به شدت دارای پتانسیل قوی رشد در ریف‌ها بوده و تنها عامل محدود کنندهٔ آنها در ریف، ماهیان مرجانی هستند. نتایج تحقیقات مشابه در آبسنگ‌های مرجانی استرالیا نیز همین مسئله را تایید کرده‌اند.

البته در حال حاضر در بسیاری از مناطق جهان، به دلیل افزایش فعالیت صیادی در ریف‌ها، جمعیت ماهیان مرجانی به شدت در حال کاهش است. زمانی که ماهیان مرجانی در ریف کاهش می‌یابند توتیای گونه *Diadema antillarum* اقدام به کنترل جلبک‌ها می‌کند. در سال ۱۹۸۳، در اثر شیوع یک بیماری در بین جمعیت توتیا در منطقه کارائیب، در حالی که به دلیل صید فراوان، گونه‌های گوناگون ماهیان مرجانی، کمیاب شده بودند، جمعیت جلبک‌ها به حالت انفجاری شروع به رشد کرد که بهای این رشد وسیع، به بهای جان مرجان‌ها در ریف، تمام شد. زمانی جامّائیکا،[1] دارای آبسنگ‌های مرجانی باشکوهی بود، هم اکنون این مناطق تا نسبت زیادی از مرجان‌ها خالی شده‌اند و ریف‌های این منطقه دارای جلبک‌های بیشتری از مرجان‌ها هستند. بسیاری از پژوهشگران، بزرگترین نگرانی خود را درباره تخریب آبسنگ‌های مرجانی به فعالیت‌های صیادی در این مناطق نسبت می‌دهند و همانطور که در بخش‌های پیشین اشاره شد، فعالیت‌های صیادی، بیشترین سهم را در نابودی ریف‌ها بر عهده دارند. فعالیت‌های توسعه ساحلی نه تنها به نابودی ماهیان مرجانی کمک می‌کنند بلکه با تخیله هر چه بیشتر مواد مغذی در دریاها، باعث رشد انفجاری جلبک‌ها در مناطق مرجانی می‌شوند.

[1] Jamaica

www.takbook.com

زندگی باهم دیگر در ریف

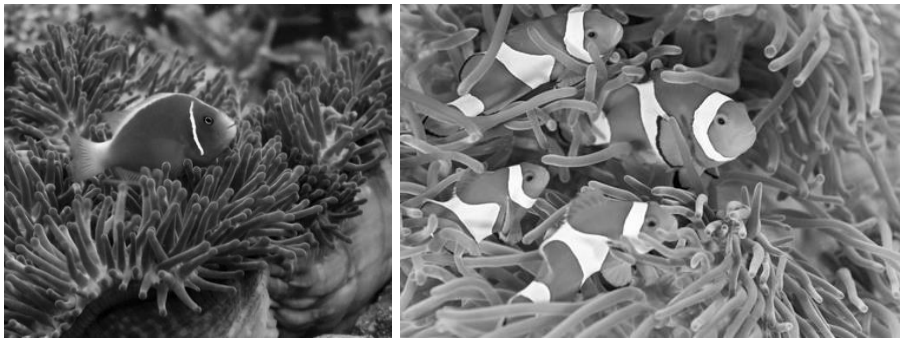
در میان بسیاری از گونه‌های جانوری که در ریف زندگی می‌کنند، بعضی از آنها رابطه همزیستی اختیار کرده‌اند. رابطه همزیستی، سودهای فراوانی در درجه اول، برای ریف دارد که در این بخش به اختصار توضیح داده می‌شود. در حقیقت، رابطه همزیستی مرجان‌ها با جلبک‌ها، اندکی متفاوت از جانوران خشکی زی است. در رابطه با رابطه همزیستی بین مرجان و زوزانتلا، پیش از این، اندکی توضیح داده شد. باید اشاره شود که افزون بر مرجان‌های سخت در ریف، شقایق‌های دریایی، برخی از نرمتنان، صدف‌های غول پیکر (*Tridacna*) و حتی برخی از مرجان‌های نرم، دارای زوزانتلا هستند و جالب آنکه رابطه همزیستی بین زوزانتلا و این جانوران، دقیقا از همان سازوکاری پیروی می‌کند که در مرجان سخت وجود دارد. زوزانتلا، مواد مغذی را از محیط گرفته و در اختیار همزیست خود قرار می‌دهد. در عوض، میزبان، فضایی برای زندگی در اختیار همزیست قرار می‌دهد. صدف‌های غول آسا به این دلیل دارای اندازه بزرگ هستند که همزیست آنها به اندازه کافی مواد غذایی را در اختیار میزبان قرار می‌دهد؛ امّا در درون میزبان‌ها، زوزانتلا تنها همزیستی نیست که در فتوسنتز مهم به شمار می‌رود بلکه تولید کنندگان مهم دیگری نیز وجود دارند که همانند زوزانتلا می‌توانند برای میزبان غذا تولید کنند. به عنوان مثال، در درون اسفنج‌ها، سیانوباکترها وجود دارند که علاوه بر فتوسنتز، نیتروژن را برای میزبان تثبیت می‌کنند. بعضی از آبفشان‌های دریایی[1]، میزبان باکتری‌های فتوسنتز کننده‌ای به نام *Prochloron* هستند که نقش آن‌ها بسیار شبیه به کلروپلاست[2] در گیاهان است. رابطه همزیستی، تنها به جانوران میکروسکوپی محدود نمی‌شود بلکه مرجان‌ها، افزون بر جلبک‌ها و باکتری‌ها، از رابطه همزیستی خرچنگ‌ها، میگوها و ماهیان نیز بهره می‌گیرند. همزیست‌ها، مرجان‌ها، را از حمله تاج‌خار و سایر شکارگران محافظت می‌کنند. بسیاری از مرجان‌ها دارای همزیست‌های اجباری، به ویژه از سخت پوستان، هستند که بعضی از این

[1] sea squirts
[2] chloroplasts

www.takbook.com

همزیستان حالت زندگی انگلی را دارند و به مرجان صدمه می‌زنند. بعضی از آنها نه سودی و نه زیانی به مرجان می‌رسانند و بعضی از آنها تنها سود یک طرفه به مرجان می‌رسانند. در مورد اینکه کدامیک از جانوران سود یا زیان به مرجان می‌رسانند، پاسخ گویی، بسیار سخت است چرا که رابطه همزیستی مرجان با سایر گروه‌های جانوری، هنوز به خوبی درک نشده است. رابطه جالب همزیستی، رابطه همزیستی شقایق ماهی با شقایق دریایی است که شقایق دریایی به واسطه دارای بودن بازوهای گزنده، قادر است بسیار از ماهیان را از پای درآورد ولی شقایق ماهی دارای موکوسی بر سطح بدن خود است که آن را از نیش شقایق محافظت می‌کند و هنوز دقیقا مشخص نشده است که این موکوس آیا به واسطه ماهی یا شقایق یا هر دوی این جانوران تولید می‌شود. هنگامی که شقایق ماهی می‌خواهد خود را تازه به شقایق معرفی کند، آغاز به مالش خود به بازوهای نیش زنندهٔ شقایق می‌کند که این پدیده در ابتدا برای ماهی کمی دردناک است ولی با این پدیده، لایه‌ای از موکوس شقایق، بر روی بدن ماهی، مالیده می‌شود. با توجه به اینکه شقایق دریایی چشم و مغز ندارد، طبیعی است که اولین پاسخ آن نیش زدن هر جسم خارجی است و در صورتی که بازوهای شقایق دارای لایه حفاظت کننده نباشد، طبعا اقدام به نیشن زدن بازهای خود خواهد کرد. امّا شقایق بازوهای خود را به واسطه مزه موکوس موجود در بازوها، حس می‌کند و آنها را نیز نمی‌زند. احتمالا شقایق ماهی از این مزیت استفاده می‌کند تا خود را از نیش شقایق محافظت کند. امّا گاهی خود ماهی، موکوسی بر روی بدن خود دارد که بدون مزاحمت وارد شقایق می‌شود. شقایق ماهی، تخم‌های خود را در کنار شقایق می‌گذارد و نوزدان آن نیز به وسیله شقایق، از هجوم دشمنان محافظت می‌شود. البته، پدیده جالب برای شقایق ماهی در ارتباط با همزیست خود آن است که در صورتی که شقایق ماهی احساس کند، دشمنانی ندارد، اقدام به خوردن شقایق می‌کند (شکل ۱۳).

www.takbook.com



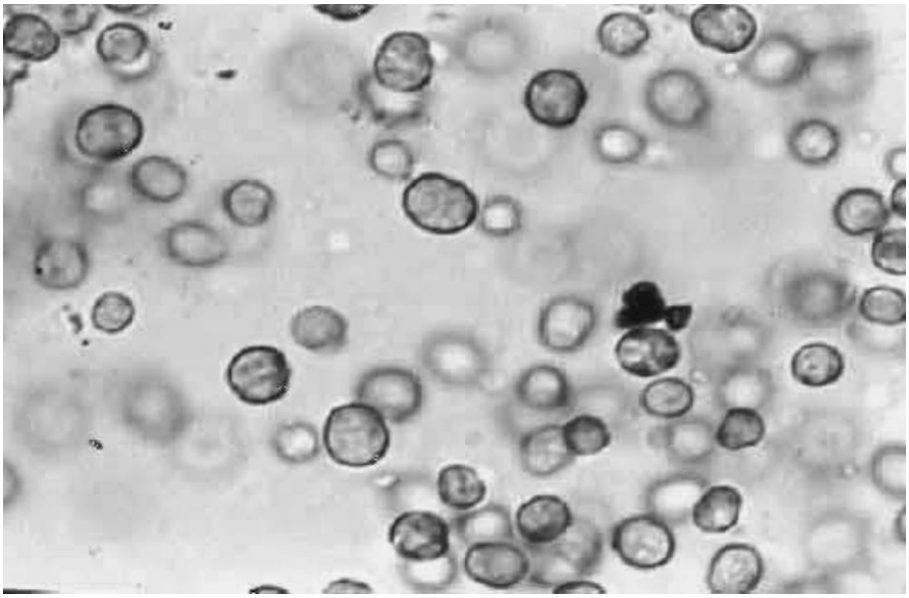
شکل ۱۴: همزیستی شقایق ماهی با شقایق

زوزانتلا (Zooxanthellae): جلبک‌های تک سلولی تاژکدار همزیست با مرجان‌ها

زوزانتلاها، دینوفلاژله‌های تک سلولی هستند که در سلول‌های آندودرمی مرجان‌ها به سر می‌برند. این جلبک‌های تک سلولی، توان فتوسنتز داشته و برای تثبیت کردن کربن نیاز به مواد معدنی، دی اکسید کربن و نور دارند. مواد مغذی معدنی، از مواد متابولیکی دفع شده توسط جانوران، یا به طور مستقیم از دریا، گرفته می‌شود. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد زوزانتلاها، مواد مغذی آلی را نیز می‌توانند از مرجان‌ها بگیرند. زوزانتلاها، مسئول رنگ قهوه‌ای مایل به طلایی در مرجان‌های بیرنگ می‌باشند. این جلبک‌های همزیست، رنگدانه‌های ویژه‌ای شامل دیادینوگزانتین Diadinoxanthin و پردینین Perdinin و همچنین کلروفیل c و a داشته و زرد- قهوه‌ای و یا قهوه‌ای هستند (Birkeland, 1996) (شکل ۱۳). از نظر رده بندی، متعلق به سلسلهٔ Chromalvealata، شاخهٔ Dinoflagellata، ردهٔ Dinophycea و جنس *Symbiodinium* می‌باشند. از این جنس، ۱۱ گونه زیر شناسایی شده است.

Symbiodinium microadriaticum, S. pilosum, S. kawagutii, S. goreaui, S. californium, S. corculorum, S. meandrinae, S. pulchrorum, S. bermudense, S. cariborum, S. muscatine
(Stat *et al.*, 2006)

www.takbook.com

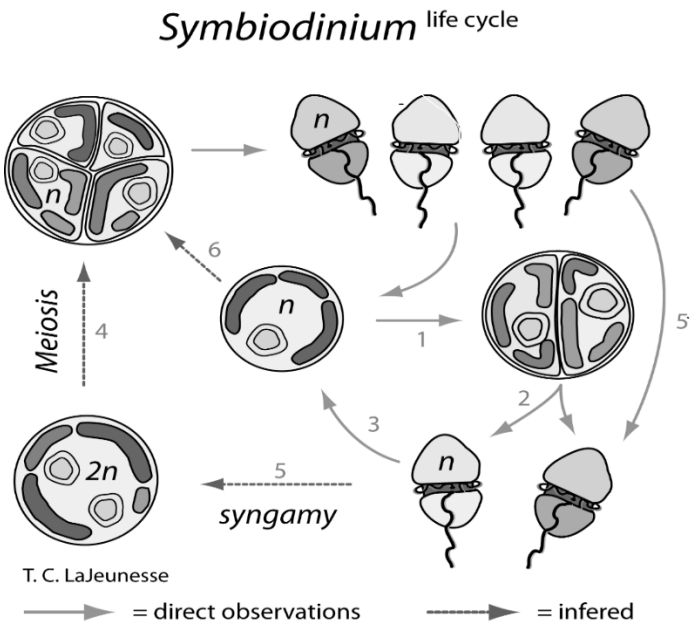


شکل ۱۵: نمایی از زوزانتلا

این جلبک‌ها می‌توانند به طور مستقل از میزبان جانوری خود نیز زندگی کنند. افزون بر این، جلبک‌های موجود در سلول‌های جانوری، در مرحلهٔ کوکسوئید (بدون حرکت و فاقد تاژک) دیده می‌شوند؛ در حالی که در حالت مستقل دارای شنای آزاد و دارای دو تاژک (dinomastigote stage) هستند (Birkeland, 1996). در مرحلهٔ کوکسوئید یا کیستی، اندازه‌ای در حدود ۵ تا ۱۵ میکرومتر داشته و اجزای سیتوپلاسمی یوکاریوت‌ها را دارند. افزون بر آن، کلروپلاست‌های دیسکی شکل محیطی، به صورت نامنظم نیز دارند. (Freudenthal, 1962; Schoenberg and Trench, 1980).در حالت همزیستی با میزبان، به صورت کیستی به سر می‌برند (Santos *et al.*, 2003). در مرحله کیستی، تقسیم سلولی زوزانتلا، به صورت غیرمتحرک انجام می‌شود و کنترل جمعیت زوزانتلاها با روش‌هایی مانند کنترل تقسیم، هضم کردن سلول‌ها و خروج آن‌ها توسط میزبان انجام می‌پذیرد (Jimbo *et al.*, 2000). تولید مثل جنسی هنوز در *Symbiodinium* تایید نشده است (Trench, 1997). امّا شواهد ملکولی نشان می‌دهد که نوترکیبی جنسی در بین جنس‌ها،

www.takbook.com

در حالتی که زندگی آزاد دارند، روی می‌دهد (Goulet and Coffroth, 2003). در تقسیم غیرجنسی، هر کیست می‌تواند ۲ یا ۳ سلول دختر ایجاد کند؛ همچنین می‌تواند به حالت زئوسپوری، با صفحات تکال و تاژک‌های کشیده، تغییر شکل دهد (Fitt and Trench, 1983). تولید مثل غیرجنسی، توسط شکافتن ساده از میان سلول، انجام می‌شود. این پدیده تقسیم دوتایی نامیده می‌شود. در این حالت، زوزانتلا از وسط نصف شده و تمام جمعیت کلنی، دوبرابر می‌شود (Freudenthal, 1962) (شکل ۱۴).



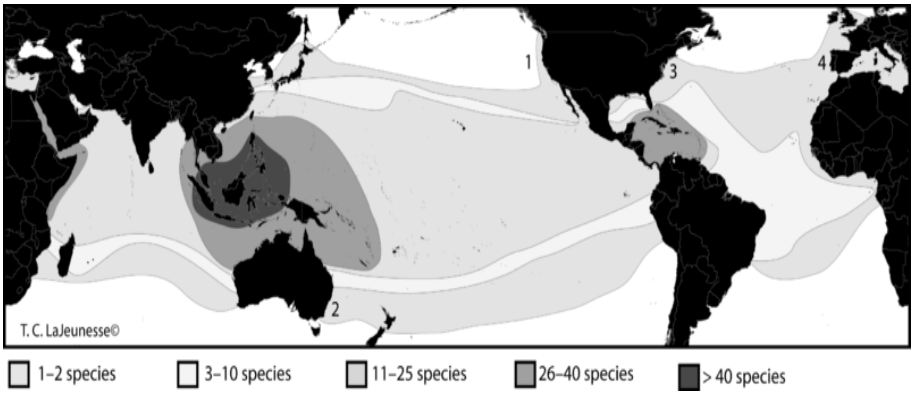
شکل ۱۶: چرخهٔ زندگی زوزانتلا
(Fitt and Trench, 1983)

زوزانتلاها بین گونه‌های میزبان، به دو صورت، عمودی، (از والدین به فرزندان) و افقی (که میزبان آن را از ستون آب جذب می‌کند) انتقال می‌یابد. انتقال افقی، روش رایج انتقال *Symbiodinium* می‌باشد (Schwarz *et al.*, 2002). استراتژی انتقال افقی، ممکن است

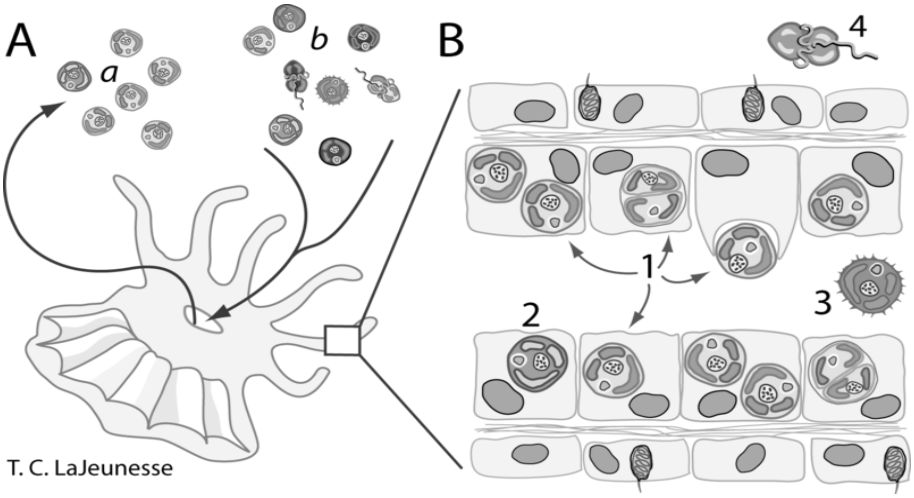
www.takbook.com

تنوع این همزیست‌ها را در درون کلنی‌های مرجان موجب شود (Loh *et al.*, 2001). از جمله عواملی که پراکنش بیو جغرافیایی *Symbiodinium* را تحت تاثیر قرار می‌دهند عبارتند از: تنوع میزبان، اختصاصی بودن رابطهٔ میزبان- همزیست و در دسترس بودن میزبان (Baker and Rowan, 1997). عاملی که به سازگاری بیشتر و اختصاصی شدن ارتباط میزبان- همزیست منجر می‌شود، تنوع *Symbiodinium* ساکن بر روی ریف‌های اقیانوس، در طول و عرض‌های گوناگون جغرافیایی است (Loh *et al.*, 2001). در مناطق جغرافیایی گوناگون، یک میزبان مرجان می‌تواند دربردارندهٔ گونه‌های گوناگونی از *Symbiodinium* باشد (LaJeunesse *et al.*, 2005) (شکل ۱۵). پراکنش *Symbiodinium*در نقاط گوناگونی از ساختارهای مرجانی در جهان، در شکل ۱۶ نشان داده شده است. بسته به نوع میزبان، این نوع پراکنش، متفاوت می‌باشد. سلول میزبان، روزانه توانایی خروج میلیون‌ها سلول همزیست را به محیط اطراف دارد (شکل A و ۱۶). همراه این سازوکار، حجم عظیمی از آب برای تنفس یا دفع مواد زائد، جابجا می‌شود. همانطور که ذکر گردید، مکان‌های اکولوژیکی متفاوتی در میزبان برای همزیستی وجود دارد (شکل B و ۱۶). این مکان‌ها شامل مکان‌هایی هستندکه توسط گونه‌های با فراوانی بیش‌تر اشغال می‌شوند (۱). همچنین مکان‌های مناسب برای گونه‌های فرصت طلب (۲)، گونه‌هایی که در مکان‌های بینابینی زندگی می‌کنند (۳) و گونه‌هایی که به طور اتفاقی، مکانی را اشغال می‌کنند (۴)، محسوب می‌شوند (LaJeunesse *et al.*, 2005).

www.takbook.com



شکل ۱۷: پراکنش جهانی و تنوع جنس *Symbiodinium* مرتبط با مرجانیان



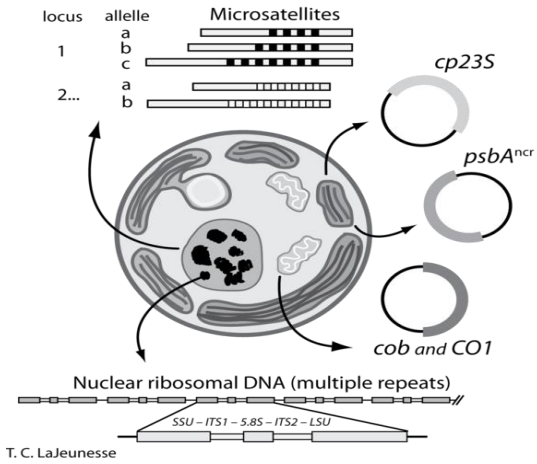
شکل ۱۸: پراکنش *Symbiodinium* در نقاط بافتی متفاوتی از آبسنگ مرجانی

فیلوژنی زوزانتلاها

تاکنون ۹ کلاد گوناگون *Symbiodinium* (A-I) (Stat and Gates 2010) از طریق روش‌های RFLP و آنالیز DNA ریبوزومی زیر واحد کوچک ریبوزوم (SSrDNA) (LaJeunesse, 2001)، آنالیز DNA ریبوزومی زیر واحد بزرگ ریبوزوم (LSU rDNA)،

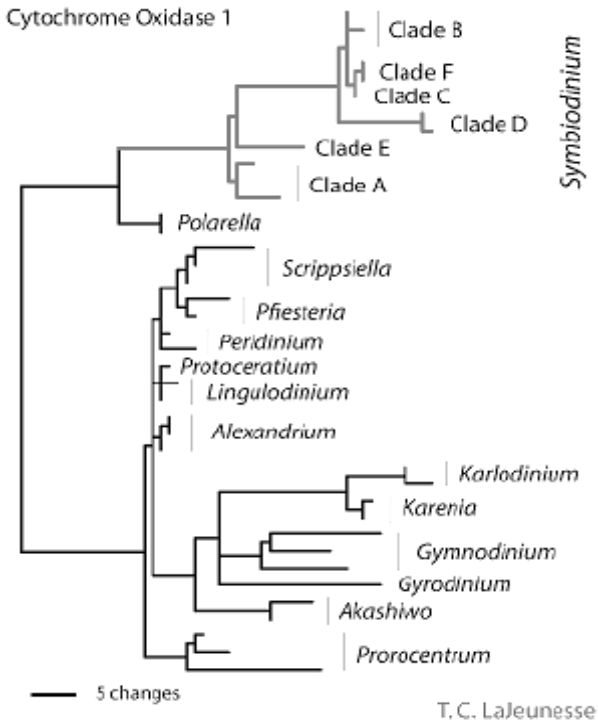
www.takbook.com

نواحی(ITS) (Internal Transcribed Spacer region)(Pochon *et al.*, 2004) و ژن‌های میتوکندریایی DNA ریبوزومی زیر واحد بزرگ و ریبوزوم کلروپلاست (cp23S) rDNA (Santos *et al.*, 2002)، شناسایی شده‌اند. 16Sr RNA و23Sr RNA نیز در حال حاضر به عنوان ملکول‌های مفیدی برای تشخیص فیلوژنی پروکاریوت‌ها، بکار می‌روند. نتایج مربوط به سکانس‌های این نواحی ژنی، سطح دانش فیلوژنی را بسیار بالا برده‌اند. (Ludwig and Klenk, 2001). امروزه، تکنیک‌های ملکولی، تنوع بیشتری را در جنس *Symbiodinium* آشکار کرده‌اند؛ به طوری که در تحقیقی، اعضای هر کلاد به چندین تیپ گوناگون به وسیلهٔ تکنیک DGGE برای نواحی ITS2 تقسیم شده‌اند (LaJeunesse 2001). در سطح جمعیت، کلاد B توسط توالی‌های اختصاصی Microsatellite (که به عنوان یک مارکر ژنتیکی بسیار دقیق به کار می‌رود) شناسایی شده است. بنابراین، در آینده، با استفاده از روش‌های ملکولی، می‌توان تنوع ژنتیکی جنس*Symbiodinium* را بهتر آشکار نمود(Santos *et al.*, 2004) (شکل ۱۷). همچنین با آنالیزهای ملکولی، اختلاف ژنتیکی بین جنس *Symbiodinium* و دیگر اعضای دینوفلاژله Dinoflagellate نمایان شده است (شکل ۱۸).



شکل ۱۹: تنوع ژنتیکی *Symbiodinium* با مارکرهای متفاوت ملکولی

www.takbook.com



شکل ۲۰: رابطهٔ فیلوژنتیکی بین جنس *Symbiodinium* و دیگر *Dinoflagellate* با مارکرهای ملکولی

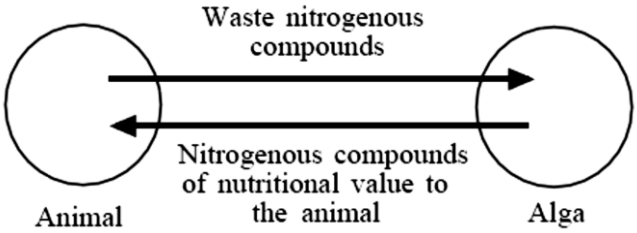
نقش زوزانتلاها در همزیستی با ساختارهای مرجانی

برای سیستم‌های همزیستی دریایی، گونه‌های *Symbiodinium* نقش مهمی در فراهم کردن کربن از طریق فتوسنتز، و باز چرخ نیتروژن، دارا می‌باشند. این فرایندها، موفقیت در همزیستی جلبک- نیدارین را در آب‌های کم عمق و آب‌های فقیر از نظر مواد غذایی موجب می‌شوند و به عنوان یک فاکتور اولیه، جهت افزایش رشد میزبان و حفظ تنوع آن محسوب می‌گردد (Trench, 1971).

مواد بیوشیمیایی آزاد شده توسط *Symbiodinium*، به خوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. افزون بر این، گلیسرول و اسیدهای آلی نیز از سلول‌های *Symbiodinium* به

www.takbook.com

میزبان رها می‌شوند. کربن مشتق شده از جلبک نیز مقدار زیادی از کربن مورد نیاز میزبان را فراهم می‌کند (Muscatine, 1990). چرخهٔ نیتروژن، از لحاظ بیوشیمیایی، یک چرخهٔ پیچیده می‌باشد که شامل یک انتقال دو جانبهٔ مواد مغذی بین میزبان و همزیست است. در ابتدا، ترکیبات نیتروژنی، از مواد دفعی میزبان به سلول‌های جلبک همزیست انتقال می‌یابد و این ترکیبات در جلبک به ترکیبات نیتروژنی مغذی برای میزبان تبدیل می‌شوند و در مرحلهٔ بعد، این ترکیبات مغذی، به میزبان، بازگشت داده می‌شوند (Muscatine, 1990) (شکل۱۹).



شکل ۲۱: ارتباط نیتروژنی در همزیستی جلبک - بی‌مهره (Muscatine, 1990)

به طور کلی، موفقیت اکولوژیکی ساختارهای مرجانی، به همزیستی دو طرفه با زوزانتلاها بستگی دارد (Muscatine *et al.*, 1981). مرجان، مکان زندگی و حفاظت در برابر UV را برای جلبک فراهم می‌کند و جلبک همزیست نیز باعث افزایش ظرفیت دفع مواد متابولیکی، افزایش کلسیفیه شدن، ایجاد منبع مستقیم مواد مغذی، تغلیظ و باز سازی مواد مغذی محدود شامل نیتروژن و فسفات، می‌شود (Birkeland, 1996). جلبک‌های مذکور، باعث افزایش شکل گیری اسکلت سازی در مرجان‌ها می‌گردند؛ به طوری که با انجام فتوسنتز و در نتیجه افزایش pH، تولید بیشتر یون‌های کربنات را برای ته نشینی کربنات کلسیم افزایش می‌دهند و با در میان گرفتن مواد مغذی معدنی (مانند فسفات)، موانع موجود در کریستال شدن $CaCo_3$در مکان‌های کلسیفیکاسیون را بر می‌دارند. از طرفی، انرژی لازم را برای کلسیفیکاسیون فعال، از طریق انجام فتوسنتز فراهم

www.takbook.com

می‌کنند (Birkeland, 1996). زوزانتلاها، تحمل زیادی نسبت به فلزات سنگین دارند و آن‌ها را از آب دریا جمع می‌کنند؛ بنابراین خروج آن‌ها از بافت میزبان، خود نوعی مکانیسم سم زدایی برای مرجان‌ها محسوب می‌شود (Birkeland, 1996). از عوامل محیطی که روی همزیستی میزبان- زوزانتلا اثر دارد می‌توان به عوامل فیزیکی و در دسترس بودن شکار اشاره کرد. از عوامل فیزیکی، شدت نور، دما، اشعه UV، شوری و کدورت، اثر دارند. شکار گرفته شده، روی رشد بافت جانوری و به طور غیرمستقیم، روی رشد زوزانتلاها، به واسطهٔ منبع پتانسیلی مواد مغذی آن‌ها، تاثیر دارد (Birkeland, 1996).

توقف همزیستی جلبک‌های زوزانتلا و مرجان‌ها و پدیدهٔ سفید شدگی

سفید شدگی مرجان‌ها، به دلیل خارج شدن جلبک تک سلولی از بافت مرجان در اثر عوامل تنش زای محیطی همچون کمبود نور خورشید، افزایش میزان اشعه فرابنفش، میزان رسوب گذاری، آلودگی، تغییرات شوری و افزایش درجه حرارت است. این پدیده در صورتی اتفاق می‌افتد که تغییرات دمایی طولانی مدت باشد(Reynolds, 1993) (شکل ۲۰). این امر، سبب یک عدم تعادل در همزیستی می‌گردد که به مرجان‌ها، ظاهری مات و سفید می‌دهد. این پدیده می‌تواند برای میزبان کشنده باشد؛ زیرا میزبان منبع مهم انرژی خود را که توسط زوزانتلا کسب می‌کند، برای مدتی طولانی از دست می‌دهد (Brown, 1997). پس از فرایند ال‌نینو El Nino سال ۱۹۹۸ که منجر به سفید شدگی ساختارهای مرجانی دنیا گردید، این پدیده در آب‌های ایرانی خلیج فارس نیز مشاهده شد (شکری، ۱۳۸۰). در پدیدهٔ سفید شدگی، در کنار مکانیسم خروج زوزانتلا از بافت مرجان، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز حائز اهمیت است. در این راستا، مکانیسم‌های وجود دارد که از آن جمله می‌توان به خروج جلبک از گاسترودرم میزبان، آپوپتوزیس یا نکروز سلول‌های میزبان و به تفکیک سلول‌های میزبان اشاره کرد که در نهایت باعث آزادی زوزانتلا می‌شود. هر کدام از این پدیده‌ها، خود به شدت و طول مدت استرس‌های محیطی، وابسته می‌باشند (Brown, 1997).

www.takbook.com

شکل ۲۲: پدیدهٔ سفید شدگی در مرجان‌ها

تاریخچهٔ مطالعهٔ ملکولی زوزانتلاهای هم‌زیست با ساختارهای مرجانی

شناسایی ملکولی زوزانتلاهای همزیست با نیدارین‌ها، اولین بار توسط پاور Power و رووان Rowan در سال ۱۹۹۱ بر روی گونه‌های ردهٔ آنتوزوآی اقیانوس آرام صورت گرفت و کلادهای A،B و D شناسایی گردیدند. (Rowan and Powers, 1991). در سال ۱۹۹۷، بیکر Baker و همکاران، روی زوزانتلای دو گونه از مرجان‌های شاخه‌ای جنس *Acropora* به روش PCR و RFLP بر روی قطعه زیر واحد بزرگ ریبوزومی 24S RNA مطالعه انجام دادند. در طی این فرایند، کلاد A برای دو گونه در اعماق کم و در عمق بیش‌تر (جایی که نور هم کاهش می‌یابد)، کلاد C_1و C_2 شناسایی شدند. این اختلاف در نوع کلاد را اختلاف در عمق و میزان دسترسی به نور، عنوان نمودند (Baker and Rowan, 1997). در همین سال بیکر و رووان مطالعه‌ای روی تنوع زوزانتلا ی همزیست با ۲۸ گونه از ساختارهای مرجانی در دریای کارائیب و ۱۱ گونه در قسمت شرقی اقیانوس آرام، با روش RFLP بر روی ژن‌های هسته‌ای زیر واحد کوچک (18SrRNA) و زیر واحد بزرگ (24SrRNA) ریبوزومی، انجام دادند. مطالعه نشان دهندهٔ وجود تفاوت قابل توجه در این دو ناحیه بود؛ به طوری که زوزانتلاهای منطقه کارائیب، حامل سه کلاد A,B,C بوده ولی زوزانتلاهای

www.takbook.com

قسمت شرقی اقیانوس آرام فقط حامل کلاد C می‌باشند. این تنوع کم‌تر در قسمت شرقی اقیانوس آرام می‌تواند به دلیل استرس‌های حاکم بر این منطقه، از جمله کدورت و یا ایزوله بودن این منطقه از اقیانوس آرام نسبت به مناطق دیگر باشد (Baker and Rowan, 1997). در سال ۱۹۹۹، Carlos و همکاران، کلاد D را بر روی ساختارهای مرجانی دریای کارائیب شناسایی کردند (Carlos *et al.*, 1999). در سال ۲۰۰۱ لاژونسLajeunesse، برای اولین بار، زوزانتلای کلاد F را در ساختارهای مرجانی هاوایی گزارش کرد (LaJeunesse, 2001). در همین سال، لوهه Loh و همکاران به بررسی تنوع ژنتیکی تاژکدار همزیست با دو گونه از ساختارهای مرجانی *Seriatopora hystrix*و *Acropora longicyathus*، در محدودهٔ گسترده‌ای از غرب اقیانوس آرام، پرداختند. نتایج آنالیز PCR-RFLP بروی قطعهٔ ژنی 18S rRNA و 28S rRNA نشان داد که جنس*Seriatopora* در مالزی حامل کلاد D و در استرالیا و ژاپن حامل C می‌باشد که این تفاوت در نوع کلادها، بدلیل شرایط محیطی متفاوت و یکسان بودن کلادها در استرالیا و ژاپن، بدلیل سازگاری بیش‌تر به شرایط محیطی است. کلاد C در هر سه منطقهٔ استرالیا، مالزی و ژاپن در جنس*Acropora* حضور داشت؛ با این تفاوت که در استرالیا، علاوه بر کلاد C، کلاد A نیز مشاهده شد که این تنوع در کلاد هادر یک منطقه و برای یک جنس، می‌تواند بدلیل نحوهٔ انتقال متفاوت تاژکدار همزیست در این دو جنس باشد؛ به طوری که انتقال درجنس*Seriatopora* به صورت عمودی(از والدین) بوده که در این حالت تنوع کاهش می‌یابد ولی در جنس*Acropora* به صورت افقی(از ستون آب) است که این عامل می‌تواند دلیلی برای تنوع کلاد در زوزانتلای همزیست با جنس*Acropora*، در یک منطقه باشد (Loh *et al.*, 2001). در سال ۲۰۰۳Chen و همکاران، حضور فراوان کلاد D را در مرجان‌های مناطق ساحلی تایوان که تحت تاثیر خشکی بودند، گزارش دادند(Chen *et al.*, 2003). در همین سال سانتوز Santos و همکاران با استفاده از بررسی ناحیهٔ V، بخش بزرگ کلروپلاست (cP23S) تنوع ژنتیکی داینوفلاژلهٔ همزیست با مرجان شاخ گوزنی (*Pseudopterogorgia elisabethae*) را در ۹ ایستگاه در باهامّاس مورد بررسی قرار دادند

www.takbook.com

و کلاد B را گزارش دادند (Santos *et al.*, 2003). در سال۲۰۰۴، بیکر و همکاران، زوزانتلا ی ساختارهای مرجانی دو منطقهٔ خلیج فارس و دریای سرخ را با روش RFLP و با استفاده از قطعهٔ ژنی زیر واحد بزرگ ریبوزوم (LSU)، تعیین کلاد کردند و سه کلاد A,C,D، در دو منطقه با درصدهای متفاوت، شناسایی شد. بدین صورت که کلاد D در خلیج فارس و کلاد C در دریای سرخ، بیش‌ترین درصد را نشان دادند. دلیل این امر، درجه حرارت بالا در خلیج فارس و نیز پدیدهٔ سفید شدگی و مرگ و میر مرجان‌ها به‌دلیل پدیده‌ی ال نینو سال‌های ۱۹۹۸-۱۹۹۷، مطرح گردید (Baker, Lee, *et al.*, 2004). در سال ۲۰۰۴، Pochon و همکاران، زوزانتلاهای حامل کلادهای H و G را بروی فورآمینیفرهای دریای کارائیب و اقیانوس آرام شناسایی کردند (Pochon *et al.*, 2004). زوزانتلاهای همزیست با گونه‌های مرجانی خلیج فارس، در سال ۲۰۰۴، توسط بیکر و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت که نمونه‌های مورد مطالعه عمدتا متعلق به ساختارهای مرجانی جنس‌های *Porites*، *Acropora*، *Favia*، *Platygyra* ، *Seriatopora* و *Pavona* بودند که با کمک پرایمرهای اختصاصی *Symbiodinium*و روش PCR-RFLP، بروی ژن زیر واحد ریبوزوم هسته‌ای (LUD)، کلادهای A, C, D شناسایی شدند. کلاد غالب ساختارهای مرجانی این ناحیه، کلاد D معرفی شد که بدلیل شرایط گرم و نا مساعد خلیج فارس، حضور آن طبیعی به نظر می‌رسد (Baker, Lee, *et al.*, 2004). در همین سال، مطالعه‌ای توسط بارنی‌ها Barneah بروی تنوع زوزانتلا در مرجان‌های نرم دریای سرخ به روش PCR-RFLP، بروی قطعهٔ ژنی 18S DNA انجام شد که به بررسی کلاد همزیست با مرجان‌های نرم میزبان در خلیج الی آل Elial واقع در دریای سرخ پرداخته شد. برای اولین بار دریافتند، میزبان‌هایی که همزیست خود را به صورت افقی از محیط می‌گیرند، کلاد C و آنهایی که عمودی می‌گیرند، کلاد A، دارند (Barneah *et al.*, 2004). در سال ۲۰۰۵، ون اوپن Van Oppen و همکاران به بررسی تنوع زوزانتلا در ۱۱۴ گونه از مرجان‌های نرم آبسنگ‌های سد عظیم استرالیا، اقیانوس آرام شرقی و دریای کارائیب پرداختند که نشان گرهای این بررسی، ناحیهٔ ژنی ITS1(Internal Transcribed Spacer) بود. در نمونه‌های مرجان‌های

www.takbook.com

آبسنگ‌های سد عظیم استرالیا، کلاد C و D فراوان و کلاد A و B با فراوانی کم‌تر مشاهده شد. در نمونه‌های مرجان‌های نرم دریای کارائیب، کلاد B به وفور و کلادC به ندرت حضور داشتند (Van Oppen *et al.*, 2005). در سال ۱۳۸۴، مصطفوی Mostafavi و همکاران مطالعه‌ای را به روی زوزانتلای همزیست با گونهٔ مرجان Acropora، به روش PCR-RFLP و بروی قطعهٔ ژن LSU(rRNA)(Large Subunit Ribosomal RNA gene) در کیش، انجام دادند که منجر به شناسایی کلاد E گردید. مطالعهٔ دیگری در سال ۲۰۰۶، توسط گولت Goulet انجام شد که با مطالعهٔ ۴۳ پژوهش و ۴۴۲ کلنی مرجان‌ها از نقاط گوناگون دنیا، این طور اذعان گردید که فقط حدود ۲۳ درصد از مرجان‌ها هستند که می‌توانند میزبان چندین کلاد متفاوت از جلبک‌های همزیست باشند و در شرایط سخت محیطی هم تغییر کلاد در جلبک‌های همزیست آن‌ها رخ می‌دهد. در حالی که ۷۷ درصد از مرجان‌ها تنها حامل یک کلاد از جلبک همزیست شان بوده که حتی در شرایط تنش زای محیطی هم عوض نمی‌شود و در این شرایط تنها قطع همزیستی و پدیدهٔ سفید شدگی اتفاق می‌افتد (Goulet, 2006). در سال ۲۰۰۷، مصطفوی Mostafavi و همکاران، مطالعه‌ای بروی تنوع زوزانتلا در ساختارهای مرجانی جزیره کیش و لارک انجام دادند و در این مطالعه بر روی ژن RNA ریبوزومی 28S rRNA زوزانتلا صورت گرفت که کلاد غالب در این مناطق، کلاد D گزارش گردید. مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۸، توسط Frade و همکاران روی تاژکدار همزیست با ساختارهای مرجانی جنس *Madracis* در جنوب دریای کارائیب انجام شد. با بررسی قطعهٔ ژنی ITS2 و DNA ریبوزومی هسته‌ای، کلاد غالب B_7 در دو گونهٔ این جنس و در عمق کم و زیاد یافت شد. کلاد B_{13}در اعماق کم‌تر و در یک گونه از این جنس مشاهده گردید و کلاد B_{15} در آب‌های عمیق‌تر و در گونهٔ دیگر این جنس دیده شد. در این مطالعه، نوع میزبان و عمق می‌تواند عاملی برای این تنوع ژنتیکی باشد (Frade *et al.*, 2008). در سال ۲۰۱۰، پوشون Pochon و همکاران، با مطالعه بر روی تاژکدارانی که آزادزی بوده و در اطراف کلنی‌های مرجان زندگی می‌کردند و همچنین تاژکداران همزیست با چندین گونه از ساختارهای مرجانی در آب‌های هاوایی و با استفاده

www.takbook.com

از قطعهٔ ژنی cP23S-HVR کلروپلاست، سه کلاد A,B,C را نشان دادند. به طوری که زیر کلاد A-e1 مربوط به یک نمونه از رسوبات و یک نمونه از محیط آبی، زیر کلاد های B-e1 و C-e2 در نمونه‌های موجود در ستون آب و دو زیر کلاد C-e1 و C-e3، در نمونه‌های موجود در رسوبات و نیز در نمونه‌های موجود در آب مشاهده شدند. نشان داده شد که نمونه‌هایی که به صورت غیرهمزیست زندگی می‌کنند، از تنوع بیش تری برخوردارند (Pochon *et al.*, 2010). در سال ۱۳۸۸، مصطفوی و همکاران، با انجام PCR و بررسی قطعه‌ای از ژن زیر واحد بزرگ ریبوزومی 28S rRNA بروی ۸ گونه از ساختارهای مرجانی غالب در ساحل شرقی جزیرهٔ کیش، کلاد غالب زوزانتلاهای همزیست با این آبسنگ‌ها را D معرفی کردند. همچنین مطالعه‌ای در سال ۱۳۸۹، توسط مصطفوی و همکاران بر روی زوزانتلای همزیست با ساختارهای مرجانی جزیرهٔ هنگام، انجام شد که ژن هدف در این مطالعه، زیر واحد بزرگ ریبوزومی هسته‌ای 28S rRNA(LSU) بود و کلاد غالب D، شناسایی گردید. نمونه برداری از ساختارهای مرجانی در دو ناحیهٔ شمال شرق و غرب اقیانوس هند در سال ۲۰۱۰، توسط لاژونس Lajeunesse و همکاران انجام شد و برای تعیین کلاد مربوط به زوزانتلای همزیست با این ساختارهای مرجانی، از قطعهٔ ژنی ITS2 استفاده شد. در غرب اقیانوس هند، کلاد C و در قسمت شرقی این اقیانوس کلادD شناسایی گردید که دلیل آن هم گرم بودن، کدورت بیش‌تر و تغییرات شدید جزر و مد در قسمت شمال شرق اقیانوس هند می‌باشد (LaJeunesse *et al.*, 2010). در سال ۲۰۱۱، اولیو Olive و پالومبیPalumbi، با نمونه برداری از ۹ گونه مرجان سخت از دو ناحیه با دمای متفاوت در ساحل جنوبی جزیرهٔ Ofu در امریکا و سکانس از قطعهٔ ژنی 23S rDNA کلروپلاستی، به مطالعهٔ کلاد زوزانتلا ی همزیست با این گونه‌های مرجان پرداختند که در منطقه‌ای که دمای کم تری داشت، کلادهای A,C,D مشاهده شد و در منطقهٔ گرم‌تر فقط کلاد D مشاهده گردید. این گونه مطرح گردید که زوزانتلاهای همزیست بر پایهٔ دمای محیط و شرایط محیطی، کلادهای متفاوتی خواهند داشت (Oliver and Palumbi, 2011). در همین سال، شاه حسینی Shahhosseiny و همکاران،

www.takbook.com

با بررسی ژن RNA ریبوزومی *Symbiodinium*-28S، تنوع زوزانتلا ی همزیست با مرجان‌های غالب در اطراف جزیرهٔ هنگام را مورد بررسی قرار دادند و کلاد غالب در این جزیره، کلاد D مشاهده گردید و علت آن مقاوم بودن این کلاد نسبت به استرس محیطی گزارش شد. در سال ۱۳۹۰، مقدم و همکاران، از دو ایستگاه در جزیرهٔ قشم و با استفاده از قطعهٔ ژنی RNA ریبوزومی 23S زیر واحد بزرگ ریبوزوم کلروپلاست (cp23S)، به تعیین کلاد زوزانتلا ی همزیست با چند گونه از شقایق‌های دریایی پرداختند. کلاد غالب C (زیر کلاد C_1) گزارش گردید و دلیل این تفاوت کلاد نسبت به مطالعات قبلی در منطقهٔ خلیج فارس اینگونه عنوان گردید که کلاد C علاوه بر مقاومت نسبت به نور و دمای بالا، از طریق کاهش متابولیسم و افزایش مقاومت فیزیولوژیکی میزبان، باعث پایداری میزبان در مقابل شرایط محیطی می‌شود (Shahhosseiny *et al.*, 2011). مطالعهٔ دیگری که در سال ۲۰۱۱، توسط رحمانی و همکاران در جزیرهٔ فارور و روی زوزانتلا ی همزیست با جنس *Acropora* و با استفاده از قطعهٔ ژنی 28S rDNA صورت پذیرفت، کلاد غالب D را مشابه مطالعات قبلی گزارش داد(Rahmani *et al.*, 2011). طبق مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۲، توسط ژینلی Ginley و همکاران در خلیج کالیفرنیا به روی تنوع ژنتیکی *Symbiodinium* همزیست با مرجان سخت گونهٔ *Pocilliopora* و با استفاده از قطعهٔ ژنی ITS2 انجام شد، نشان دادند که در هنگام پدیدهٔ سفید شدگی، کلاد غالب جلبک همزیست این گونه از مرجان C1b-c (به عنوان کلاد حساس) بوده ولی بعد از پدیدهٔ سفید شدگی، کلاد غالب آن D1 (به عنوان کلاد مقاوم) می‌باشد. عنوان کردند که تغییر کلاد جلبک‌های همزیست با این گونه از مرجان‌ها، قدرت سازش با شرایط سخت محیطی را افزایش می‌دهد (McGinley *et al.*, 2012). بطور کلی، مطالعه‌ای با هدف این که آیا زوزانتلای همزیست با مرجان‌های نواحی شمالی خلیج فارس، نسبت به استرس دمایی مقاوم هستند یا نه، از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱، توسط مصطفوی و همکاران روی قطعهٔ ژنی 28S (nr) DNA، و در سه منطقهٔ لارک، فارور و هندورابی انجام شد. نتیجهٔ این مطالعه به ترتیب غالب بودن کلادهای D، C و A را نشان داد. کلاد غالب D در فارور و هندورابی

www.takbook.com

مشاهده گردید؛ در حالی که کلاد A به صورت غالب در لارک دیده شد که علت آن نزدیکی این جزیره به تنگهٔ هرمز بیان گردید (Mostafavi *et al.*, 2013). مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۳، توسط هوم Hume و همکاران در منطقهٔ ابوظبی (UAE)، بروی چندین گونه از ساختارهای مرجانی، انجام شد. در این پژوهش از قطعهٔ ژنی ITS2 استفاده شد و کلاد غالب در این منطقه نیز بر خلاف مطالعات قبلی انجام شده در خلیج فارس، C_3 گزارش گردید که قادر به تحمل شرایط سخت محیطی می‌باشد (Hume *et al.*, 2013).

تولید مثل در مرجان‌های کربنات کلسیمی

مرجان‌های کربنات کلسیمی به دو روش جنسی[1] و غیرجنسی می‌توانند تولید مثل کنند.

در ابتدا به بررسی روش‌های غیرجنسی[2] تولید مثل در مرجان‌های کربنات کلسیمی پرداخته می‌شود.

الف – تولید غیرجنسی مرجان‌های سخت

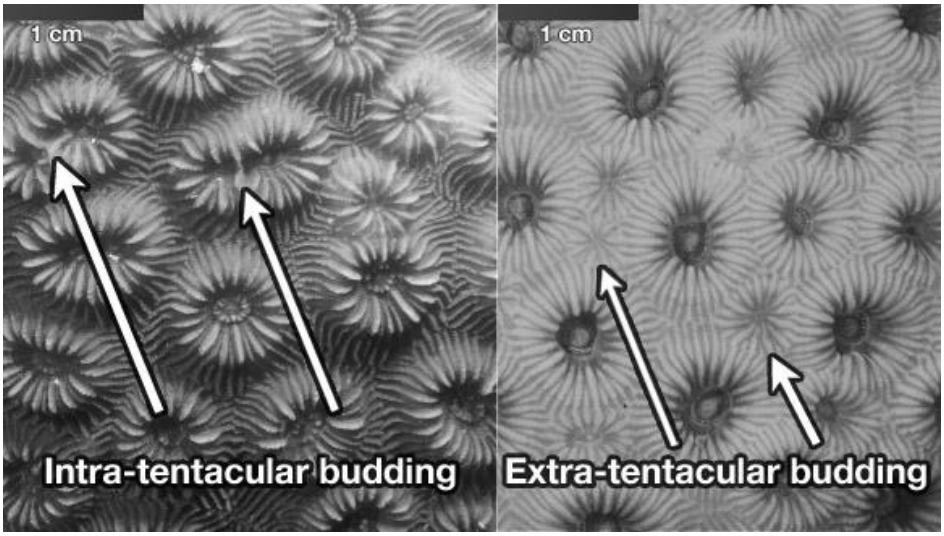
برای بسیاری از گونه‌های مرجان سخت، تولید مثل به روش جنسی، تنها یک بار در یک سال، یا گاهی در چند سال یک بار، رخ می‌دهد. برای این کار، شرایط بسیار مطلوب زیست محیطی نیاز است در حالی که روش تولید مثل و ازدیاد به روش غیرجنسی، به زمان خاصی نیاز ندارد و تقریبا در بسیاری از گونه‌ها در اکثر زمان‌های سال می‌تواند روی دهد. در این روش، مرجان برای ازدیاد خود روش‌های گوناگونی را استفاده می‌کند. اگر پولیپ مرجانی از قسمت دهانه خود به دو قسمت تقسیم شود جوانه زدن درون بازوهای دهانی Intratentacular budding نامیده می‌شود. اگر پولیپ جدیدی بین دو یا چند پولیپ قدیمی تولید شود، به این روش جوانه زدن برون بازوهای دهانی Extratentacular budding می‌گویند. اگر این پولیپ جدید در کنار پولیپ‌های قدیمی باقی بماند به آن فرایند رشد کلونی گفته می‌شود ولی اگر پولیپ از کلونی جدا شود و به صورت مستقل

[1] sexual
[2] asexual

www.takbook.com

اقدام به تشکلیل کلنی نماید، به آن تولید مثل گفته می‌شود. (شکل ۲۱) در حالت کلی، روش‌های غیرجنسی تولید مثل، به روش‌های اشاره شده در زیر انجام می‌پذیرد (Fossa and Nilsen, 1998) که به توضیح تک تک آنها می‌پردازیم.

1) Fragmentation
2) Brooded Planula Larvae
3) Polyp Bail-out
4) Polyp Expulsion
5) Anthocauli
6) Polyp Ball



شکل ۲۳: در شکل روش تولید مثل غیرجنسی به روش intra and extra- tentacular budding مشاهده می‌شود.

تکه تکه شدن Fragmentation

در میان روش‌های اشاره شده، تقسیم دوتایی یا تکه تکه شدن Fragmentation، از روش‌های معمول در اکثر گونه‌های مرجانی(Fossa and Nilsen, 1998)، به خصوص مرجان‌های شاخ گوزنی (Acropora) است. در طبیعت، در شرایط غیرمعمول، امواج و

www.takbook.com

جریان‌های شدید آبی قادرند شاخه‌های مرجان Acropora را بشکنند. این شاخه‌های شکسته شده در صورتی که شرایط محیطی مساعد باشد، قادرند رشد کرده و به کلنی جدیدی تبدیل شوند[۱]. در داخل اکواریوم‌های زینتی و صنعتی، افراد با جداکردن شاخه‌هایی از کلونی مادر، آن را با سیمان‌های مخصوص و چسب‌هایی ویژه به جایگاه‌هایی در بستر آکواریوم متصل می‌کنند که پس از چندی این شاخه‌ها تبدیل به کلونی جدید می‌شوند. این روش، از شیوه‌های متعارف در موناکو و بسیاری از اکواریوم‌های پژوهشی در دنیا است.

تولید تخم و لارو پلانولا Brooded Planula Larvae

دومین استراتژی تولید مثل غیرجنسی در مرجان‌های کربنات کلسیمی، نوعی تقسیم دوتایی در لارو مرجانی است. در ابتدا تصور می‌شد که این روش یک روش تولید مثل جنسی است. امّا پژوهش‌های ژنتیکی نشان دادند که این روش، غیرجنسی است. این روش تولید مثل، بیشتر در گونه‌های *Pocillopora damicornis*، *Tubastrea coccinea* و *Tubastrea diaphana* رخ می‌دهد.(Stoddart 1983)تخم‌هایی که نتیجه تولید به روش جنسی است در نتیجه تقسیم دوتای در داخل خود به دو لارو پلانلا تقسیم می‌شود. معمولاً در بعضی از گونه‌ها، ۱۵ درصد از تخم‌های تولید شده توسط این روش، خود به دو لارو مستقل تبدیل می‌شوند. لاروهای تولید شده در نتیجه این روش، بزرگتر از لاروهای معمول بوده و سریع‌تر به مرجان جوان تبدیل گردیده و در بستر جایگزین می‌شوند.(Benayahu *et al*, 1998)

پرش پولیپی Polyp Bail-out

همانگونه که از نام این روش هویدا است، پولیپ‌ها در نتیجه استرس‌های محیطی یا

---

[۱] یکی از روش‌های متعارف در احیاء و بازسازی آبسنگ‌های مرجانی، استفاده از همین روش برای تکثیر مرجان در محیط است؛ البته استفاده از شاخه‌های جدا شده از مرجان برای تکثیر کلنی جدید جزییات فراوانی دارد که نیاز به دانش فراوان در این مورد است.

www.takbook.com

حتی شکارگران، از کلونی مرجان مادر، جداشده و به پولیپ مرجانی جوان تبدیل می‌شوند. احتمال موفقیت این روش، تنها ۵ درصد است و در بسیاری از موارد در نتیجه وارد آمدن خسارت به کلنی مرجانی، بخش عظم آن تخریب می‌شود و تنها تکه‌های کوچکی از کلنی سالم باقی می‌مانند که ممکن است به کلونی جدید تبدیل شوند.

رانش پولیپی Polyp Expulsion

در این روش، کلنی، پولیپ جدا گانه‌ای تولید می‌کند. این پولیپ حالت کمی برجسته دارد. پولیپ جدید توسط کلونی به بیرون رانده می‌شود و تبدیل به پولیپ مستقلی می‌گردد که می‌تواند کلونی جدیدی ایجاد کند. این روش اصطلاحاً بیرون کردن پولیپ جدید نامیده می‌شود. نکته جالبی که در این روش تولید مثلی وجود دارد این است که این پولیپ بدون بافت است و می‌توان این پدیده را این گونه توصیف نمود که احتمالا کلونی مادر تحت شرایط خاص محیطی، این نوع پولیپ را تولید می‌کند. امّا پژوهش‌ها توسط کرامارسکی-وینتر Kramarsky-Winter در سال ۱۹۹۷، نشان دادند که در آب‌های کم عمق و گرم، این نوع پولیپ تولید شده، دارای قدرت بقای خوبی است و می‌تواند، مولد کلنی جدید شود.

آنتوکولی Anthocauli

مرجان‌های قارچی یک روش جالب غیرجنسی تولید مثلی دارند که آنتوکولی Anthocauli نامیده می‌شود. تحت شرایط استرس محیطی، یا شکارگران که مرجان قارچی تکه تکه شده یا خسارت قابل ملاحضه‌ای دیده است، کلنی تقریبا غیرقابل بازسازی، اقدام به ایجاد جوانه‌های می‌کند که آنتوکولی نامیده می‌شوند. این جوانه‌ها، بر روی کلنی از بین رفته باقی می‌مانند. آنتوکولی عملا یک نسخه مینیاتوری از کلنی مادر است که به وسیله یک ساقه کربنات کلسیمی نازک، متصل به کلنی مادر باقی می‌ماند که می‌تواند بعدا به کلنی تبدیل شود. البته پژوهش‌ها نشان داده‌اند که مرجان‌های قارچی، تلاش می‌کنند تا بخشی که خسارت دیده است را بازسازی کنند امّا در صورتی که این اتفاق

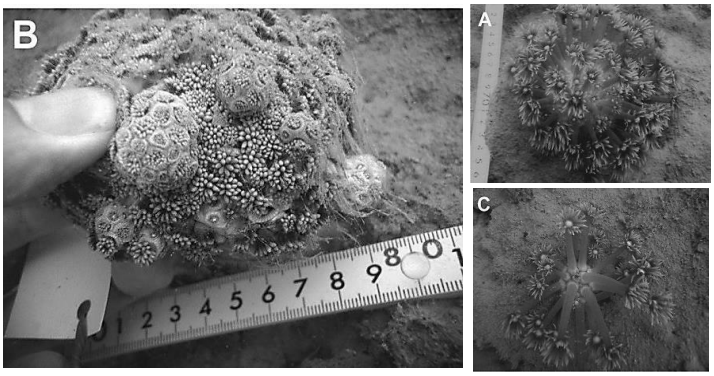
www.takbook.com

نیافتد، مرجان با تولید آنتوکولی بیشتر تلاش می‌کند کلنی‌های جوان بیشتری را برای فزونی در بقا پدید آورد (Kramarsky-Winter and Loya 1996).

توپ پولیپی Polyp ball

در حقیقت، این روش، آخرین روش بوده و احتمالا رایج‌ترین و گسترده‌ترین روش غیرجنسی تولید مثل در مرجان‌های کربنات کلسیمی است (Fossa and Nilsen, 1998).

واژه توپ پولیپی، بیشتر از روش تولید مثلی گونه *Goniopora stokesi* ریشه گرفته است که گونه مرجانی در حالت عادی به شکل گرد است و دارای پولیپ‌هایی که گاهی به چندین سانتی متر می‌رسد. در این روش، همانند روش پیشین، پولیپ‌هایی که حالت مینیاتوری از پولیپ مادر را دارند، در روی کلنی به وجود می‌آیند. تفاوت این روش با روش قبلی در این است که کلنی مادر بدون این که از استرس‌های محیطی تاثیر بپذیرد، اقدام به ایجاد این پولیپ‌های گرد در سطح خود می‌کند که معمولاً به تعداد متعددی بر روی کلنی مادر وجود دارد (Rosen and Taylor 1969). (شکل ۲۲).



شکل ۲۴: تولید مرجان در مرجان *Goniopora stokes* به روشPolyp ball، در روی کلنی مادر پولیپ‌های جدید به راحتی قابل مشاهده است.

www.takbook.com

روش تولید مثل جنسی در مرجان‌های کربنات کلسیمی

روش تولید مثلی که در این بخش بیان می‌شود، اندکی متفاوت از سایر گروه‌های جانوری در کلاس آنتوزوا Anthozoa از قبیل مرجان‌های نرم، شقایق‌ها و سایر گروه‌های جانوری است و فقط ویژهٔ مرجان‌های کربنات کلسیمی می‌باشد.

در حالت کلی، می‌توان گفت مرجان‌های کربنات کلسیمی، چرخه زندگی ساده‌ای دارند. مرحله اول زندگی آنها شامل مرحله لاروی است که به صورت شناور، دوره کوتاهی را در سطح آب سپری می‌کنند و در مرحله پولیپ که به صورت چسبیده به بستر دریا است، بقیه عمر خود را می‌گذارنند. مرحله پولیپ، با رشد بافت پولیپ و تقسیم آن به پولیپ‌های بیشتر، از طریق غیرجنسی و یا ازدیاد به روش تولید مثل جنسی که با تولید گامت‌ها و بارور سازی گامت‌ها و تولید تخم بارور شده و در نهایت تبدیل این تخم به لارو پلانلا شناور (که تمایل دارد در جهت‌هایی به صورت پلانکتونی همراه با جریان آب در نقاط گوناگون پراکنش یابد) توأم می‌باشد. اگر لارو پلانلا، بقا یابد و بتواند در بستر جایگزین شود تبدیل به پولیپ جوان خواهد شد که برای خود پوسته کربنات کلسیمی خواهد ساخت و تبدیل به پولیپ مرجانی می‌شود (Harrison, 2011).

یکی از تفاوت‌های تولید مثل جنسی با غیرجنسی این است که بر اساس مطالعات ژنتیک، نتیجه تولید مثل غیرجنسی، تولید مرجان‌هایی همسان است که زمان بقا و شرایط سلامتی آنها همسان با پولیپ مادر است. در تولید مثل جنسی، در نتیجه ادغام ژنوتیپ[1]های مختلف، ممکن است گونه‌هایی به وجود بیایند که سلامت و یا طول عمر بیشتری را دارند و شانس بقای گونه را بالا می‌برند. البته ممکن است نتیجه عکس نیز دیده شود و در صورت ادغام ژنی با مرجان‌های ضعیف از نظر اکولوژیک، گونه‌هایی کم تحمل در مقابل شرایط محیطی، تولید شوند.

همه مرجان‌های کربنات کلسیمی، به جز مرجان‌های تک جنسی gonochoric[2]، هر

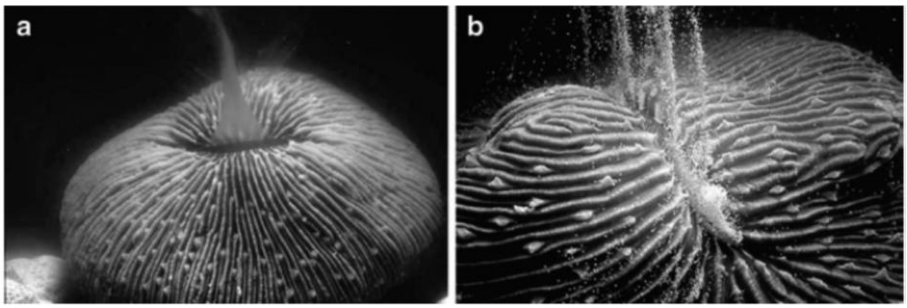
---

[1] Genotype

[2] Gonochoric حالتی است که مرجان تنها یک جنس را دارد، به این معنی که یا نر است یا ماده.

www.takbook.com

دو جنس نر و ماده را در پولیپ و کلونی خود دارند. اصولاً، از دو تکنیک برای تولید مثل پیروی می‌کنند. تکنیک اول، پراکنده کردن گامت‌های ماده و نر در دریا و بارور شدن آنها در آب دریا است. این تکنیک را مرجان‌های تخم افشان Spawners انجام می‌دهند یا اینکه تشکیل تخمک لقاح یافته یا جنین[1] در داخل یک پولیپ توسط گامت‌های نر و ماده انجام می‌شود. لارو پلانلا به داخل آب دریا آزاد می‌شود که اصطلاحا این گروه از مرجان‌ها به تخم نشین Brooders معروف هستند. تخم نشین‌ها قادرند اسپرم نیز به محیط آزاد کنند که این اسپرم در نهایت می‌تواند باعث باروری تخم در داخل پولیپ همان گونه کلونی مرجان شود که به اصطلاح، خود باروری، نامیده می‌شود (Okubo *et al.* 2007)؛ یا باعث باروری تخم در داخل همان گونه ولی در کلونی متفاوت می‌شود (Ayre and Miller 2006). از بین ۴۲۸ گونه مرجانی که وضعیت تولید مثل آنها توسط (Harrison, 2011) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، مشخص شد که بیشتر مرجان‌ها با استفاده از تکنیک تخم افشانی Spawner تولید مثل می‌کنند. از میان این ۴۲۸ گونه، ۳۵۴ گونه (معادل ۸۷/۲ درصد) تخم افشان، ۶۱ گونه (معادل ۱۴/۳ درصد) تخم نشین هستند و ۱۳ گونه (معادل ۳ درصد) قادرند از هر دو روش استفاده کنند.



شکل ۲۵: مرجان‌های قارچی که قادر است هم اسپرم به محیط آزاد کند (شکل a) و هم قادر است تخم به بیرون آزاد کند (شکل b) ولی در کل این گونه از مرجان‌ها دارای جنس‌های جداگانه هستند.

[1] Embryos

www.takbook.com

روش تولید مثل جنسی به چهار روش می‌تواند در مرجان‌های کربنات کلسیمی، تعریف نمود.

1) Hermaphroditic broadcast spawners,
2) Hermaphroditic brooders,
3) Gonochoric broadcast spawners,
4) Gonochoric brooders

هرمافرودیت تخم نشین Hermaphroditic brooders

در این روش همانطور که قبلا بیان شد، تخم لقاح یافته یا لارو پلانلا، در پولیپ مادر تولید می‌شود و امکان ایجاد گونه‌هایی با ویژگی‌های ژنتیکی گوناگون، کم است. ولی این روش می‌تواند منجر به حفاظت ژنتیک گونه‌ای شود. در مطالعه‌ای که بین ۲۰۰ گونه گوناگون مرجانی در آبسنگ‌های مرجانی بزرگ استرالیا (GBR) انجام شد، مشخص گردید که تنها ۱۱ گونه مرجانی قادر به تولید مثل به این روش هستند. شیوهٔ تولید مثل ۱۳۱ گونه مرجان به روش تخم افشان هرمافرودیتی و37 گونه باقی مانده نیز تک جنسی هستند که اقدام به تولید اسپرم و یا تخم می‌کنند(Sumich and Morrissey, 2011). مطالعه Richmond and Hunter در ۱۹۹۰، در بین ۲۱۰ گونه نیز نشان داد که از میان این تعداد، تنها ۱۱ گونه به انجام تولید مثل به این روش، قادر هستند.

تخم افشان هرمافرودیتی Spawners Hermaphroditic broadcast

بر طبق مطالعات(2000) Veron ، در حالت کلی می‌توان گفت تنها حدود ۲۵ درصد از مرجان‌های کربنات کلسیمی تک جنسی(hermatypic) هستند و ۷۵ درصد بقیه هرمافرودیت می‌باشند؛ این به معنای آن است که همزمان دارای دو جنس ماده و نر هستند. در میان مرجان‌های تکی جنسی، ۷۵ درصد آنها تخم افشان هستند؛ به این معنی که با تولید تخم یا اسپرم و انتشار آن به دریا، موجب تولید لارو در دریا می‌شوند و همانطور که گفته شد تخم یا اسپرم منجر به باروری سازی همان پولیپ در کلنی مرجانی یا پولیپ

www.takbook.com

دیگر از همان گونه در کلنی دیگر می‌شود که این لارو در نهایت به مرجان بالغ، همانند مادر، امّا گاهی با تنوع ژنتیکی جدیدتر در دریا می‌شود. این روش تولید مثلی در میان مرجان‌های هرمافرودیت نیز وجود دارد و همانطور که قبلا توضیح داده شد، در روش تخم افشان هرمافرودیتی، اسپرم و تخم به دریا آزاد می‌شود و تخم لقاح یافته و گونه‌ای ویژه در محیط دریا تولید می‌شود.

تخم نشین تک جنسی Gonochoric brooders

همانند مرجان‌های هرمافرودیت، در بین گونه‌هایی که دارای یک جنس هستند نیز این نوع روش تولید مثلی وجود دارد. پولیپ مادر پس از دریافت اسپرم، تخم لقاح یافته را به دریا آزاد می‌کند. باید به این نکته توجه داشت که این روش از لحاظ ژنتیکی می‌تواند احتمالا منجر به تولید تخم‌هایی با تنوع ژنتیکی بالاتر نسبت به مرجان‌های هرمافرودیت شود.

تخم افشان تک جنسی Gonochoric broadcast spawners

تخم و اسپرم در این روش از گونه‌های مرجانی که تک جنسی هستند به دریا آزاد می‌شود و لقاح در داخل آب دریا انجام می‌شود. در این روش، لاروها یا حتی اسپرم و تخم، امکان دارد در مسافت‌های زیاد، همراه جریانات آبی، جابجا شوند و احتمال به وجود آمدن تنوع ژنتیکی جدید در این روش، از سایر روش‌ها بالاتر است.

یکی از یافته‌های تماشایی درباره آبسنگ‌های مرجانی که در سال‌های اخیر کشف شده است، تخم‌ریزی دسته جمعی فصلی مرجان‌ها در آبسنگ‌های بزرگ مرجانی استرالیا می‌باشد. در یکی از شب‌های سال، بین ماه اکتبر تا اوایل دسامبر، تمامی گونه‌های گوناگون مرجان، به صورت یکجا، تخم‌ریزی می‌نمایند. این حادثه فقط بعد از ماه شب چهارده رخ می‌دهد. در یک مکان معین، زمان تخم‌ریزی دسته جمعی را می‌توان پیش بینی نمود. بعد از اینکه این اتفاق در آبسنگ‌های بزرگ مرجانی استرالیا کشف شد، تعداد دیگری از

www.takbook.com

تخم‌ریزی‌های دسته جمعی که در سایر صخرهای مرجانی رخ می‌دهد نیز یافت شد. هیچ‌کس نمی‌داند که چرا مرجان‌ها به صورت یکجا تخم‌ریزی می‌کنند. ممکن است شکارچیان تخم‌ها به قدری سیر شوند که بسیاری از تخم‌ها خورده نشوند. ممکن است امری باشد که در مواجه با جزر و مد انجام می‌دهند. اگرچه تخم‌ریزی دسته جمعی در برخی از ریف‌ها و یا صخره‌ها رخ می‌دهد، امّا در برخی دیگر از موارد روی نمی‌دهد. (Castro & Huber, 2003)

تولید مثل مرجان‌های کربنات کلسیمی در خلیج فارس

متاسفانه در مورد اکولوژی تولید مثل مرجان‌های کربنات کلسیمی در قسمت‌های شمالی در جزایر ایرانی خلیج فارس، مقالات علمی مستند وجود ندارد و تنها اطلاعات پراکنده‌ای توسط نگارندان این کتاب و سایر پژوهشگران، به صورت مشاهدات مستند نشده، در دسترس می‌باشد؛ حال آنکه، این اطلاعات در مورد بخش‌های جنوب خلیج فارس بسیار کامل و قابل توجه می‌باشد. حدود ۳۰ سال از کشف اولین مشاهده تخم افشانی مرجان‌های کربنات کلسیمی در استرالیا می‌گذرد. از آن زمان تاکنون گزارشات زیادی در مورد تخم افشانی و تولید مثل مرجان‌ها در نقاط گوناگون دنیا به چاپ رسیده است. برخلاف اکثر نقاط دنیا، خلیج فارس به دلیل ویژگی‌های ویژه اکولوژیک خود دارای استثناهای زمانی در تخم افشانی مرجان‌ها است. در عربستان سعودی (Fadlallah 1996)،گونه *P.stylophora* بین ماه‌های می‌و ژوئن (که یک افزایش ناگهانی دما در آب‌های این منطقه اتفاق می‌افتد) لارو پلانلا را می‌توان به صورت گسترده در دریا مشاهده کرد. برای گونه *Acropora clathrata* در ماه می۱۹۹۳، در زمانی‌که ماه کامل است بین ساعت ۲۰:30 - 21:30،پدیده تخم افشانی ثبت شده درسواحل این کشور ثبت شده است. در کویت(Harrison 1995) برای گونه‌های *Acropora downingi*و *A. arabensis*، در طول دو روز زمانی که ماه کامل است، پدیده تخم افشانی در ماه می۱۹۹۵ برای اولین بار مشاهده شده است. همچنین برای گونه *Platygyra daedalea* در ژوئن ۱۹۹۵، بعد از ماه

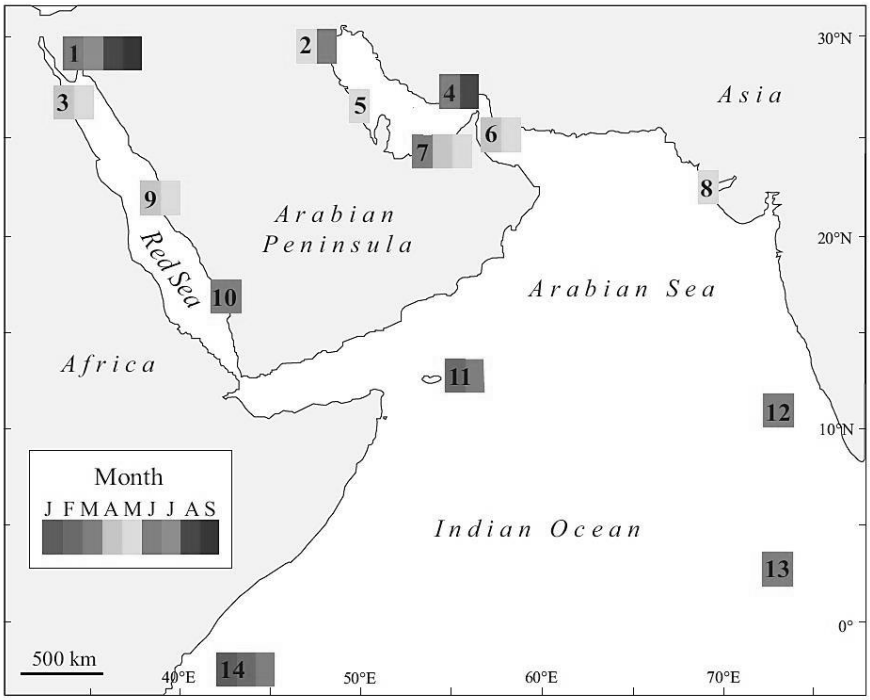
www.takbook.com

کامل، این پدیده ثبت شده است. در مطالعه‌ای که توسط بومن Bauman و همکاران، در بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹، در امّارات متحده عربی در شهر دبی بر روی شش گونه مرجانی

Acropora downingi, A. clathrata, A. valenciennesi,
Cyphastrea microphthalma, Favia pallida, Platygyra daedalea

انجام دادند، مشاهد گردید که اکولوژی تولید مثلی در این گونه‌ها، شباهت زیادی به مرجان‌های اقیانوس هند و آرام دارد. تخم افشانی در این گونه‌ها معمولاً از ماه آوریل شروع می‌شود. دلیل این شروع این است که در این ماه یک افزایش دمایی در خلیج فارس در این منطقه وجود دارد که دمای آب را تا 26.5ºC بالا می‌برد. این پدیده تا ماه می‌ادامه پیدا می‌کند ولی با توجه به نتایج این پژوهش، مشخص گردید که ۶۷ درصد تولید گامت‌ها در ماه اوریل و تنها ۲۱ درصد فعالیت‌های تولید مثلی در ماه می‌اتفاق می‌افتد و می‌توان گفت بیشترین فعالیت‌های تولید مثلی در ماه اوریل در زمانی که ماه کامل است، روی می‌دهد. در مجموع، در بیش از ۷۱ درصد کلنی‌های مرجانی که در بین این شش گونه مورد بررسی قرار گرفتند، فعالیت‌های تولید مثلی در آوریل ۲۰۰۸ و در ۶۳ درصد کلنی‌ها، در سال ۲۰۰۹ مشاهده گردیده است. در بین این گونه‌ها، سه گونه *A. downingi*، *C. microphthalma* و *P.daedalea* دارای تولید مثل به روش تخم افشان هرمافرودیتی هستند(Bauman *et al*, 2011). هولز Howells و همکارانش در سال ۲۰۱۴ نشان دادند، فعالیت‌های تولید مثلی در خلیج فارس و دریای مکران (عمان) می‌تواند از مارچ تا سپتامبر، متغیر باشد که این پدیده بر می‌گردد به ویژگی‌های اکولوژیک خلیج فارس و دریای عمان که افزایش بیشینه دمایی متفاوتی را در طول سال در شمال و جنوب خود تجربه می‌کند (شکل ۲۳، این مطالعه را به خوبی نشان می‌دهد).

www.takbook.com



شکل ۲۶: فعالیت‌های تولید مثلی بخش‌های شمال غربی اقیانوس هند، خلیج فارس، دریای مکران، دریای عرب و دریای سرخ. فعالیت‌های تولید مثلی در این منطقه می‌توان از ژانویه تا سپتامبر متغیر باشد. اسامی مناطق به ترتیب شماره عبارت است از:
1: Eilat , 2: Kuwait, 3: Hurghada, 4: Kish and Larak (pers. comm M. Shokri, M. Moradi), 5: Tarout, 6: Fujairah, 7: Dubai, 8: Gujarat, 9: Thuwal, 10: Farasan, 11: Socotra, 12: Lakshadweep (pers. comm S. Subburaman), 13: Maldives, 14: Mombassa

بر اساس مشاهدات نگارندگان کتاب و رنجبر در جزیرهٔ لارک در سال 7 تیرماه ۱۳۸۷ (June 27, 2008)، توده‌ای از تخم‌های مرجانی مشاهده شد. اینکه چه زمانی این تخم افشانی صورت گرفته، مورد بررسی قرار نگرفته است. در سایر جزایر مانند جزیره کیش و مناطقی مثل چابهار، اطلاعات مشاهده شده غیرمستندی وجود دارد که نمی‌توان به هیچ کدام از این اطلاعات، حتی مشاهدات نگارندگان این نوشتار، استناد علمی کرد. شکل ۲۵ مشاهدات ثبت شده در جزیره لارک را نشان می‌دهد.

www.takbook.com

شکل ۲۷: مشاهدات ثبت شده در جزیره لارک در ۷ تیرماه ۱۳۸۷ توسط مرادی و رنجبر
(عکس: محمد شریف رنجبر)

با وجود مطالعاتی که در جنوب خلیج فارس انجام شده‌اند، تا کنون هیچ مطالعهٔ دقیقی پیرامون روش‌های تولید مثل مرجان‌های خلیج فارس، به ویژه تولید مثل غیرجنسی، انجام نشده است؛ این موضوع می‌تواند زمینه پژوهشی خوبی برای پژوهشگران باشد، چرا که آگاهی از اکولوژی تولید مثل در مرجان‌های خلیج فارس، کمک با ارزشی در حفاظت از مرجان‌ها خواهد کرد.

تنوع گونه مرجان‌های سخت در خلیج فارس

شرایط سخت و ویژه اکولوژیک خلیج فارس و دریای مکران، بر روی بقا و تنوع گونه‌ای مرجان‌ها در این آب‌ها تاثیر فراوانی گذاشته است. با این حال، در مقایسه با بسیاری از نقاط جهان، می‌توان گفت، تنوع گونه‌ای مرجان‌ها در این منطقه قابل توجه است. بر طبق مطالعات ری‌گل Riegl و همکاران در ۲۰۱۲، عربستان سعودی به عنوان منطقه‌ای که بیشترین تنوع گونه‌ای مرجان (۵۰ گونه) را دارد معرفی شده است. امّا این نوشتار بر مبنای مقالات گزارش شده، نشان خواهد داد که ایران دارای بیشترین تنوع گونه مرجان در خلیج فارس است. متاسفانه، یکی از مشکلاتی که در مورد مطالعات

www.takbook.com

وضعیت اکولوژیک مرجان‌های خلیج فارس در جزایر ایرانی، وجود دارد این است که واقعا پژوهش‌های صورت گرفته در سواحل ایرانی بسیار اندک بوده و هنوز شکاف دانشی بسیاری در مقایسه با سواحل جنوبی خلیج فارس احساس می‌شود. این مسئله در سواحل ایرانی در دریای مکران بسیار بیشتر از سایر نقاط خلیج فارس است. اینکه به راستی مرجان‌های خلیج فارس و دریای عمان از لحاظ اکولوژیک و تنوع گونه‌ای، به طور روشن، همانند مطالعاتی که در جنوب خلیج فارس و دریایی عمان صورت گرفته است در چه سطح و درجه‌ای قرار دارند از پرسش‌هایی است که به پژوهش بیشتر و پایش سالانه و منظم نیاز دارد. البته باید اذعان کرد که حفاظت مرجان‌ها در ایران چه از لحاظ قانونی و چه از لحاظ فرهنگی، نیاز به ارتقاء و بهبود کیفی دارد.

بیشتر جزایر ایرانی در خلیج فارس دارای آبسنگ‌های مرجانی هستند. آبسنگ‌های مرجانی در جزایر ایرانی به صورت لکه‌های بزرگ (گاهی به طول‌های بیش از ۲۰ متر) دیده می‌شوند. که در بیش از ۱۷ جزیره و بسیاری از سواحل، دیده می‌شوند. در جزایری مثل لارک، قشم و خارک و خارکو، بیشترین درصد، از لحاظ تنوع و سطح پوشش شامل می‌شوند(Shokri, *et al*, 2000; Moradi *et al*, 2014). بیشتر تنوع مرجانی مربوط به جزایر خارک، خارکو و لارک است. بر مبنای مطالعات مرادی و همکاران (در سال۲۰۱۴) تنها در قسمت‌های غرب و شمال شرقی این جزیره، می‌توان بیش از ۳۱ گونه مرجان را مشاهده کرد. در مطالعه دیگر توسط واجد صمیمی و همکاران (در سال ۲۰۱۳) در ایستگاه‌های کمی متفاوت در جزیره لارک، بیش از ۳۷ گونه مرجان گزارش شده است. با توجه به مطالعات مرادی و همکاران (سال ۲۰۱۴) مشاهده گردید که لکه‌های مرجانی در ابعاد وسیعی در جزیره لارک وجود دارند که هنوز مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند و انتظار ثبت بیش از ۴۰ گونه مرجان تنها در این جزیره، دور از ذهن به نظر نمی‌رسد. فراوانی مرجان‌های آبسنگ ساز در خلیج فارس و دریای عمان، در ژرفایی که به راحتی تحت تاثیر نور است، مشاهده می‌شود. مطالعات رضایی در سال ۱۹۹۵، اینگونه بیان می‌کند که رشد و تنوع مرجان‌های ایران، تنها به ژرفای کمتر از ۱۰ متر محدود می‌شود و بیشتر از

www.takbook.com

این ژرفا، به علت کدورت آب، نور کافی برای رشد مرجان‌ها وجود ندارد. امّا مطالعات جدید توسط مرادی و همکارنش در سال ۲۰۱۴، وجود بیش از ۱۳ گونه مرجانی را به صورت ریف‌های گسترده در ژرفایی بیش از ۱۳ متر در جزایر ناز در بخش جنوب شرقی قشم، به ثبت رسانید. در بخش‌های گوناگونی از جزیره لارک می‌توان لکه‌هایی در ژرفایی بیش از ۱۵ متر را نیز مشاهده کرد. گسترش مرجان‌ها در خلیج فارس، به ۱۵ متر محدود می‌شود و در ژرفای بیش از این، همان‌گونه که رضایی در سال ۱۹۹۵ بیان کرده است، به علت کاهش نفوذ نور، بسیار نادر می‌توان مشاهده کرد. اکثر مرجان‌های مشاهده شده در اطراف جزایر ایرانی خلیج فارس از نوع حاشیه‌ای و توده‌ای یا لکه‌ای می‌باشند. مرجان‌های Porites و Acropora، مهمترین سازندگان آبسنگ در خلیج فارس محسوب شده (Sheppard *et al*, 1992) و بیشترین پوشش مرجانی مشاهده شده مربوط به این دو جنس می‌باشد (Rezai, 1995).

بر طبق گزارشات سازمان اقیانوس شناسی کشور در سال ۲۰۰۴، وسعت آبسنگ‌های مرجانی در سواحل ایرانی به 7050 هکتار می‌رسد که البته این مطالعه نمی‌تواند هم اکنون صادق باشد و نیاز به بررسی مجدد است. با توجه به تخریب‌های صورت گرفته در وسعت پوشش مرجانی در منطقه عسلویه و گزارشات جدید بر اساس مطالعات نگارندگان این نوشتار در جزایری مثل قشم و سواحلی مثل سواحل بوشهر که دارای پوشش مرجانی در نقاط گوناگون از جمله بخش شهری بوده، نیاز است که مطالعات بیشتری در این مورد انجام شود.

در جدول زیر اسامی جزایر ایرانی که دارای پوشش آبسنگ‌های مرجانی هستند را مشاهده می‌کنید.

www.takbook.com

جدول ۱: جزایر مرجانی خلیج فارس

نام منطقه	نوع آبسنگ	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	توضیحات
خارک	حاشیه ای	۲۹° ۱۵′	۵۰° ۱۸′	پایانه نفتی
خارکو	حاشیه ای	۲۹° ۱۹′	۵۰° ۲۰′	پناهگاه حیات وحش
فارسی	حاشیه ای	۲۷° ۵۹′	۵۰° ۱۰′	---------
طاهری	تکه تکه	۲۷° ۳۸′	۵۲° ۳۱′	---------
کیش	حاشیه ای	۲۶° ۳۳′	۵۳° ۵۷′	منطقه آزاد تجاری
لاوان	حاشیه ای	۲۶° ۴۹′	۵۳° ۱۶′	پایانه نفتی
هندورابی	حاشیه ای	۲۶° ۴۰′	۵۳° ۳۸′	---------
فارور	حاشیه ای	۲۶° ۱۷′	۵۴° ۳۱′	منطقه حفاظت شده
بنی فارور	حاشیه ای	۲۶° ۰۷′	۵۴° ۲۶′	---------
شیدور	حاشیه ای	۲۶° ۴۷′	۵۳° ۲۵′	منطقه حفاظت شده
تنب بزرگ	حاشیه ای	۲۶° ۱۶′	۵۵° ۱۷′	---------
تنب کوچک	حاشیه ای	۲۶° ۱۴′	۵۵° ۰۹′	---------
سیری	حاشیه ای	۲۵° ۵۴′	۵۴° ۳۱′	پایانه نفتی
لارک	حاشیه ای	۲۶° ۵۰′	۵۶° ۲۱′	---------
ابوموسی	حاشیه ای	۲۵° ۵۲′	۵۵° ۰۱′	---------
هنگام	حاشیه ای	۲۶° ۴۰′	۵۵° ۵۰′	---------
قشم	حاشیه ای	۲۶° ۴۰′	۵۵° ۴۴′	منطقه آزاد تجاری
هرمز	حاشیه ای	۲۷° ۰۴′	۵۶° ۲۵′	----------

www.takbook.com

در مورد تعداد دقیق گونه‌های مرجانی، نه تنها در خلیج فارس بلکه در تمام نقاط دنیا، چنانچه شناسایی آن‌ها بر اساس ویژگی‌های مرفولوژیک استوار باشد، بسیار دشوار است که بتوان به آن‌ها استناد کرد؛ مگر اینکه این مطالعات از اجماع فراوانی برخوردار باشند و چندین پژوهشگر در مورد گونه‌ای توافق نظر داشته باشند. امّا به دو دلیل، مستندات شناسایی گونه بر پایه ویژگی‌های مرفولوژیک، مطالعات ضعیفی هستند. اول اینکه گونه‌های گوناگون مرجانی، با توجه به ویژگی‌های اکولوژیک منطقه، می‌تواند توأم با رشد ساختمانی متفاوت، در نقاط گوناگون باشد. دوم اینکه شناسایی گونه‌ها بر اساس ویژگی‌های مرفولوژیک، از دیدگاه افراد گوناگون، متفاوت بوده و بسیار دشوار است که در مورد آبسنگ‌های مرجانی، در مورد اکثر گونه‌ها اتفاق نظر بوجود آید. با توجه به اینکه شناسایی بر اساس ژنتیک، پر هزینه و دشوار است، چاره‌ای جز اعتماد اولیه بر پایهٔ ویژگی‌های مرفولوژیک نمی‌باشد و این مطالعات به عنوان مرجع علمی در دنیا، جایگاه خود را هنوز حفظ کرده‌اند. در مطالعه ری‌گل و همکاران (2012b)، حدود 123 گونه مرجانی به عنوان گونه‌های مرجانی خلیج فارس، بر اساس مطالعات علمی پیشین، فهرست شده‌اند؛ حال آنکه بر اساس سایر مطالعات این پژوهشگر (و مکاتبات صورت گرفته با این پژوهشگر) و نیز مطالعات سیل (Sale) و همکاران (2011)، اشاره شده است که تعداد دقیق گونه‌های خلیج فارس بین ۴۰ -۶۰ گونه است و بیشتر شناسایی‌های صورت گرفته با وجود انتشار در مجلات علمی اشتباه بوده و بیانگر تعداد دقیق گونه‌های مرجانی خلیج فارس نمی‌باشند. در اینجا، ما بنا داریم فقط بر پایهٔ مستندات علمی گزارش شده در سواحل ایرانی خلیج فارس، اسامی تعداد گونه‌های گزارش شده را بیان کنیم تا دید دقیقی از تعداد گونه‌ها، بر اساس مقالات منتشر شده، به دست آید. امید است که در آینده، فهرستی دقیق بر پایهٔ مطالعات ژنتیک، منتشر شود. بر اساس مقالات منتشره شده

www.takbook.com

در دسترس[۱]، حدود ۸۴ گونه گوناگون مرجانی از سواحل ایرانی خلیج فارس گزارش شده‌اند که پیش بینی می‌شود با مطالعات جدیدتر و استفاده از منابع اطلاعاتی منتشر نشده، تعداد این گونه‌ها به بیش از ۱۰۰ نیز برسد. حتی در صورت صحیح نبودن این گونه‌ها در ایران، می‌توان با یک مقایسه ساده، این نتیجه را استنباط کرد که بعید نیست ایران بیشترین گونه مرجانی در خلیج فارس و دریای عمان را دارا باشد. چرا که از نظر طول خط ساحل در خلیج فارس، بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. از طرفی، شرایط اکولوژیک زیستی برای مرجان‌ها در مناطق ایرانی خلیج فارس برای زیست مساعدتر از نواحی جنوبی می‌باشد؛ چون که دارای دما و شوری کمتری نسبت به جنوب خلیج فارس است.(Riegl *et al*, 2012a)

[۱] سازمان‌هایی مانند اقیانوس شناسی و سازمان حفاظت محیط زیست گزارش‌هایی متعددی در مورد تعداد گونه‌ها در برخی از مناطق از جمله خارک، خارکو و سایر جزایر ایرانی خلیج فارس دارند که به صورت اطلاعات منتشر نشده نگهداری می‌شوند که متاسفانه ما نتوانستم به این اطلاعات برای اضافه کردن تعداد گونه‌ها در این کتاب دسترسی پیدا کنیم.

www.takbook.com

جدول ۲: گونه‌های گزارش شدهٔ مرجانی در خلیج فارس و دریای عمان در سواحل ایرانی خلیج فارس

1. Saudi Arabia (Sheppard & Sheppard, 1991); 2. Oman Sea (Coles, 1996); 3. Kuwait (Carpenter *et al.*, 1997); 4. Dubai, United Arab Emirates (Riegl, 1999); 5. Kish and Farur Islands, and Nayband Bay, Iran (Fatemi & Shokri, 2001); 6. Kuwait (Benzoni *et al.*, 2006); 7. Larak and Kish Islands, and Nayban Bay, Iran (Maghsoudlou, 2008); 8. Hengam Island, Iran (Nejatkhah *et al.*, 2010); 9. Qeshm Island, Iran (Moradi *et al.*, 2010); 10. Larak Island, Iran (Shojai *et al.*, 2010); 11. Persian Gulf and Oman Sea (Riegl & Purkis, 2012); 12. North Larak Island, Iran (Vajed-Samiei *et al*, 2013). 14, the City of Busher coast, (Moradi *et al*, 2015). A. Qatar, Bahrein, Saudi Arabia, Kuwait (Fadlallah *et al.* (1993), B, Kuwait Hodgson and Carpenter (1995), 15, Chabahar Bay (Amin Rad and Azin, 2013). 16, Qeshm and Lark Islands (Moradi *et al*, 2014).

اسامی گونه‌های مرجان‌های سخت در سواحل ایرانی خلیج فارس	مناطق گزارش شده
Acanthastrea echinata	1, 2, 3, 4, 5, 11, 12, 16
Acanthastrea hillae	1, 15
Acanthastrea maxima	1, 2, 3, 7, 11, 16
Acanthastrea hemprichii	12
A cropora downingi	1, 3, 5, 7, 11, 12, 16
Acropora khayranensis	15
Acropora nasuta	15
Acropora arabensis	2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 16
Acropora clathrata	1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 12, 16
Acropora valida	2, 3, 4, 7, 11, 15, 16
Anacropora forbesi	5
Montipora tuberculosa	1, 11, 16
Montipora spumosa	1, 13, 16
Montipora aequituberculata	1, 2, 5, 11, 12, 15, 16
Montipora c.f. danae	12
Montipora incrassate	10, 16
Montipora sp	12
Barabattoia amicorum	12, 4

www.takbook.com

اسامی گونه‌های مرجان‌های سخت در سواحل ایرانی خلیج فارس	مناطق گزارش شده
Favites pentagona	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, 12, 16
Favites micropentagona	12, 8
Favites chinensis	1, 2, 5, 7, 11, 16
Favites sp.	16
Favites spinosa	7
Favites complanata	15, 1
Favites flexuosa	15
Favites peresi	16
Favia pallida	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11,13, 16
Favia maxima	16
Favia speciosa	12
Favia matthaii	7, 8, 15
Favia sp.	12, 7
Favia veroni	7
Favia favus	1, A, 4, 15
Plesiastrea devantieri	16
Plesiastrea versipora	1, 2, 3, 4, 5, 7, 11, 12, 16
Leptastrea transversa	1, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 16
Leptastrea pruinosa	12
Leptastrea purpurea	12, 15
Platygyra daedalea	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 16
Platygyra acuta	12, 16
Leptoria phrygia	1, 2, 11, 16
Goniopora djiboutiensis	1, 11, 16
Goniopora sp	16
Goniopora columna	12
Goniopora lobata	5
Echinopora gemmacea	1, 2, 11, 16

www.takbook.com

اسامی گونه‌های مرجان‌های سخت در سواحل ایرانی خلیج فارس	مناطق گزارش شده
Echinopora grandicula	12
Echinopora hirsutissima	12
Echinophyllia aspera	12, 5
Pavona diffluens	1, 11, 12, 16
Pavona decussata	12, 11, 7, 6, 3, 1, 16
Pavona sp	12
Pavona frondifera	7
Porites compressa	5, 8, 15
Porites harrisoni	5, 6, 11, 13, 16
Porites lutea	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 16
Porites lobata	12
Porites solida	12, 15
Porites cf. somaliensis	12
Psammocora digitata	16
Psammocora contigua	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 16
Psammocora stellata	12
Psammocora sp	7
Psammocora profundacella	12
Stylophora subseriata	16
Stylophora pistillata	124 , A, 1, B,
Pocillopora damicornis	1, 2, 11, 12, 15, 16
Cyphastrea serailia	1, 2, 3, 4, 7, 11, 16
Cyphastrea chalcidicum	9, 12, 16
Cyphastrea microphthalma	12, 8, 15
Turbinaria peltata	1, 2, 3, 4, 5, 11, 15, 16
Turbinaria reniformis	1, 3, 4, 5, 6, 11, 16
Siderastrea savignyana	5, 8, 13
Pseudosiderastrea tayami	15

www.takbook.com

اسامی گونه‌های مرجان‌های سخت در سواحل ایرانی خلیج فارس	مناطق گزارش شده
Anomastraea irregularis	5, 7
Coscinaraea monile	1, 2, 7, 11, 16
Coscinaraea columna	5, 8
Hydnophora pilosa	12
Symphyllia recta	12
Symphyllia radians	12
Goniastrea australensis	7
Heterocyathus aequicostatus	7
Polycyathus sp	14
Scolymia australis	15

www.takbook.com

منابع

Amin Rad T., Azini M.R., (2013). New and Previous Records of Scleractinian Corals from Chabahar Bay, Sistan & Baluchistan, Iran, Ecopersia, 1(4), 407-418.

Aronson RB., MacIntyre IG., Wapnick CM., O'Neill MW, (2004). Phase shifts, alternative states, and the unprecedented convergence of two reef systems. Ecology 85:1876–1891.

Bauman A.G., Baird A.H., Cavalcante G.H, (2011). Coral reproduction in the world's warmest reefs: southern Persian Gulf (Dubai, United Arab Emirates), Coral Reefs DOI 10.1007/s00338-010-0711-5.

Benayahu, Y., and M. H. Schleyer. 1998. Reproduction in Anthelia glauca (Octocorallia: Xeniidae). II. Transmission of algal symbionts during planular brooding. Mar. Biol. 131. Pp 433–442.

Benzoni F, Pichon M, Alhazeem S, Galli P (2006) The coral reefs of the Northern Arabian Gulf: stability over time in extreme environmental conditions? Proc 10th Int Coral Reef Symp 1:969–975.

Bioscience 21, 34–37.

Bridge, D., Cunningham, W., Schierwater, B., de-Salle, R. and Buss, W. (1992). Class-level relationships in the phylum Cnidaria: evidence from mitochondrial genome structure. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 89: 8750- 8753.

Carpenter K.E., Harrison P.L., Hodgson G., Alsaffar A.H. and Alhazzeem H. (1997) The corals and corals reefs of Kuwait. Kuwait Institute of Scientific Research and Environment Public Authority.

Carpenter KE., Abrar M., Aeby G., Aronson RB., Banks S, et al (2008). One third of reef-building corals face elevated extinction risk from climate change and local impacts. Science 32: 560–563.

Castro P, (2010). Marine Biology, California State Polytechnic University, Pomona Michael E. Huber, Sinclair Knight Merz, Brisbane, Australia, ISBN: 0055624389, pp 207- 309.

Castro P., Huber M. E, (2003). Marine biology. 4th edition. New York: McGraw-Hill Companies, 468 pp.

www.takbook.com

Castro P., Huber M.E. (1997). Marine Biology, Wm. C. Brown Publishers, London. 450pp.

Coles S.L. (1996) Corals of Oman. Thorns, UK: Keech, Samdani and Coles.

DiMichele WA., Behrensmeyer AK., Olszewski TD., Labandeira CC., Pandolfi JM., Wing SL., Bobe R, (2004). Long-term stasis in ecological assemblages: evidence from the fossil record. Ann Rev Ecol Evol Systemat, 35:285–322.

Domínguez-Pérez D., Diaz-Garcia C.M., García-Delgado N., Sierra-Gómez Y., Castañeda O., (2013). Antunes, A. Insights into the toxicological properties of a low molecular weight fraction from Zoanthus sociatus (Cnidaria). Mar. Drugs, 11, 2873–2881.

Fadlallah YH, (1996). Synchronous spawning of Acropora clathrata coral colonies from the western Arabian Gulf (Saudi Arabia). Bull Mar Sci 59:209–216.

Fadlallah YH., Eakin CM., Allen KW., Estudillo RA., Rahim SA., Reaka- Kudla M., Earle SA, (1993). Reef coral distribution and reproduction, community structure and reef health (Qatar, Bahrein, Saudi Arabia, Kuwait). Results of the Mt. Mitchell Cruise, May 1992. Final report of the workshop on scientifi c workshop results RV Mt Mitchell Cruise in ROPME Sea Area, Kuwait, Annex III, pp 1–27.

Fatemi M.R. and Shokri M.R. (2001) Iranian coral reefs status with particular reference to Kish Island, Persian Gulf. International Coral Reef Initiative Indian Ocean Regional Workshop, Mozambique, pp. 26–28.

Fossa S.A., Nilsen A.J., (1998). The modern coral reef aquarium, Vol. 2. Birgit Schmettkamp Verlag, Bornheim, Germany, 479 p.

Gili E., Masse JP., Skelton PW, (1995). Rudists as gregarious sedimentdwellers, not reef-builders, on Cretaceous carbonate platforms. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 118:3–4.

Greenstein BJ., Pandolfi JM, (2008). Escaping the heat: range shifts of reef coral taxa in coastal Western Australia. Global Change Biol 14:513–528.

Harrison PL (2011) Sexual reproduction of scleractinian corals. In: Dubinsky Z, Stambler N (eds) Coral reefs: an ecosystem in transition. Springer Science, Berlin, p 59−85.

Hodgson G., Carpenter K, (1995). Scleractinian corals of Kuwait with description of a new species. Pac Sci 49:227–246.

www.takbook.com

Howells E.J., Abrego D., Vaughan G.O., Burt J.A, (2014). Coral spawning in the Gulf of Oman and relationship to latitudinal variation in spawning season in the northwest Indian Ocean, Scientific Reports, 4: 7484, DOI: 10.1038/srep07484.

Hubbard D. K. (1997). Reefs as dynamic systems. In: BIRKELAND, C. (Ed.) Life and death of coral reefs. New York: Chapman and Hall, p. 43-67.

IPCC, (2014). Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1454 pages.

Johnson KG., Jackson JBC., Budd AF, (2008). Caribbean reef development was independent of coral diversity over 28 million years. Science 319:1521–1523

Kauffman EG., Johnson CC, (1988). The morphological and ecological evolution of Middle and Upper Cretaceous reef-building Rudistids. Palaios 3:194–216.

Kaufman L, (1981).There was biological disturbance on Pleistocene coral reefs. Paleobiology 7:527–532.

Kaveh Samimi-Namin, and Charles Sheppard 2012. The Hermatypic Scleractinian (Hard) Coral Fauna of the Gulf, Coral Reefs of the World 3, DOI 10.1007/978-94-007-3008-3_11. Pp 187-224.

Kiessling W (2001). Paleoclimatic significance of Phanerozoic reefs, Geology. 29:751–754.

Kiessling W, (2005). Habitat effects and sampling bias on Phanerozoic reef distribution. Facies, 51:24–32.

Kiessling W, (2009). Geological and biologic controls on the evolution of reefs. Ann Rev Ecol Evol Systemat 40:173–192.

Kiessling W, (2009). Geological and biologic controls on the evolution of reefs. Ann Rev Ecol Evol Systemat 40:173–192.

Kocurko, M.J. (1993). Eunicella sp., octocorallia from the Red Bluff Formation, lower Oligocene, Mississippi. Tulane Studies in Geology and Paleontology 26:35-40.

Kramarsky-Winter E, Fine M, Loya Y, (1996). Regeneration versus budding in fungiid corals: a trade-off Bernhard M. Riegl, Francesca Benzoni, Mar Ecol Prog Ser, (134): 179-185.

www.takbook.com

Kramarsky-Winter E, Fine M, Loya Y, (1997). Coral polyp expulsion. Nature. 387, 137 doi:10.1038/387137a0.

Lalli C.M., T.R. Parsons. (1995). Biological Oceanography: An Introduction. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann Ltd. pp. 220-233.

Lesser M.P, (2004). Experimental biology of coral reef ecosystems. J. Exp. Biol. Ecol. 300, 217–252.

Maghsoudlou A. (2008) Hard corals of the Iranian coastal waters of the Persian Gulf. Tehran: Iranian National Center for Oceanography Publishers, pp. 1–3.

Montaggioni LF, (2005). History of Indo-Pacific coral reef systems since the last glaciation: development patterns and controlling factors. Earth Sci Rev, 71:1–75.

Moradi M., Janfaza E., Nabipur I, (2015). Coral Reef Destruction in Bushehr's Coastal with Incredible speed in Persian Gulf (the study of hard corals status in Jofreh Port in coast of Busheher as a case study), Coral Reef of Arabia conference, 15-17 February 2015, NYU Abu Dhabi.

Moradi M., Kamrani E., Shokri M.R., Ranjbar M.S. and Askari M. (2010) First record of two hard coral species (Faviidae and Siderastreidae) from Qeshm Island (Persian Gulf, Iran) Nusatara

Moradi M., malekzadeh-viayeh R., Eshaghi-rad J. (2014). Biodiversity of scleractinian corals in the reefs of Qeshm and Larak Islands of the Persian Gulf, in association with environmental variables, Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 94(5), 907–916.

Muscatine L., Goiran C., Land L., Jaubert J., Cuif J-P., Allemand D, (2005). Stable isotopes (d13C and d15N) of organic matrix from coral skeleton. Proc Natl Acad Sci USA 102:1525–1530.

O'Dea A., Jackson JBC., Fortunato H., Smith JT., D'Croz L., Johnson KG., Todd JA, (2007). Environmental change preceded Caribbean extinction by 2 million years. Proc Natl Acad Sci 104:5501–5506.

Pandolfi J.M, (2011). The Paleoecology of Coral Reefs, Coral Reefs, An Ecosystem in Transition, DOI 10.1007/978-94-007-0114-4_2, pp 13-24.

Pandolfi JM, (2007). A new, extinct Pleistocene reef coral from the Montastraea annularis species complex. J Paleontol 81:472–482.

www.takbook.com

Pandolfi JM., Bradbury RH., Sala E., Hughes TP., Bjorndal KA., Cooke RG., McArdle D., McClenachan L., Newman MJH., Paredes G., Warner RR., Jackson JBC, (2003). Global trajectories of the longterm decline of coral reef ecosystems. Science 301:955–958.

Pandolfi JM., Lovelock CE., Budd AF, (2002). Character release following extinction in a Caribbean reef coral species complex. Evolution 53:479–501.

Pandolfi JM., Tudhope A., Burr G, Chappell J., Edinger E., Frey M., Steneck R., Sharma C., Yeates A., Jennions M., Lescinsky H., Newton A, (2006). Mass mortality following disturbance in Holocene coral reefs from Papua New Guinea. Geology 34:949–952.

Precht WF., Aronson RB, (2004). Climate flickers and range shifts of reef corals. Front Ecol Environ, 2:307–314.

Rezai, H., 1995. Observation of some corals in shallow waters of several remote Iranian islands in the Persian Gulf. Abzeeyan, 7: 4-11.

Riegl B, (2001). Inhibition of reef framework by frequent disturbance: examples from the Arabian Gulf, South Africa, and the Cayman Islands. Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 175:79–101.

Riegl B. (1999) Corals in a non-reef setting in the southern Arabian Gulf (Dubai, UAE): fauna and community structure in response to recurring mass mortality. Coral Reefs 18, 63–73.

Riegl B., Benzoni F., amimi-Namin K., Sheppard C, (2012b). The Hermatypic Scleractinian (Hard) Coral Fauna of the Gulf, Coral Reefs of the World 3, DOI 10.1007/978-94-007-3008-3_11.

Riegl B., Purkis J.S., (2012). Coral reef of the Gulf. Adaptation to climatic extremes. Dordrecht: Springer-Verlag, pp. 187–224.

Riegl B., Purkis J.S., (2012a). Coral reef of the Gulf. Adaptation to climatic extremes. Dordrecht: Springer-Verlag, pp. 187–224.

Rosen B.R., Taylor J.D. (1969). Reef coral from Aldabra: new mode of reproduction. Science, N. Y. 166: 119-121.

Ross DJ., Skelton PW, (1993). Rudist formations of the Cretaceous: a palaeoecological, sedimentological and stratigraphical review. In: Wright VP (ed) Sedimentology review, vol 1. Blackwell Science, London, pp 73–91.

Sheppard C.R.C, Price P., Roberts C, (1992). Marine Ecology of the Arabian Region. Academic Press, London, 347 pp

www.takbook.com

Sheppard C.R.C. and Sheppard A.L.S, (1991). Corals and coral communities of Arabia. Fauna of Saudi Arabia 12, 3–170.

Shojae F., Kamrani E., Shokri M.R., Ranjbar M.S., Moradi M. and Hesni M.A. (2010) New records of three hard coral species from north-east of Larak Island (Gulf, Iran). Marine Biodiversity Records 3, e65. doi: http://dx.doi.org/10.1017/S1755267210000515.

Shokri M.R., Haeri-Ardakani O., Sharifi A., Abdoullahi P. and Nazarian M. (2000) Status of coral reefs around Kish Island in the Iranian Persian Gulf. In Proceedings of the International Symposium on the Extent and Impact of Coral Bleaching in the Arabian Region 5–9 February 2000. Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia, pp. 1–14.

Sumich J.L. (1996). An Introduction to the Biology of Marine Life, sixth edition. Dubuque, IA: Wm. C. Brown. pp. 255-269.

Tapanila L, (2004). The earliest Helicosalpinx from Canada and the global expansion of commensalism in Late Ordovician sarcinulid corals (Tabulata). Palaeogeogr Palaeoclimatol Palaeoecol 215:99– 110.

Vajed-Samiei J., Koosha D., Ghezellou P. and Shirvani A, (2013). Some scleractinian corals (Scleractinia: Anthozoa) of Larak Island, Persian Gulf. Zootaxa 36, 101–143.

Vajed-Samiei J., Koosha D., Ghezellou P., Shirvani A., (2013), Some scleractinian corals (Scleractinia: Anthozoa) of Larak Island, Persian Gulf. Zootaxa 36, 101–143.

Veron JEN (2000). Corals of the world, Australian Institute of Marine Science, Townsville, Vol: 1, 2 &3. 1382 pages.

Wallace CC, (1999), Staghorn corals of the world. A revision of the genus Acropora. CSIRO Publications, Collingwood, 421pp.

Wallace CC, (1999). Staghorn corals of the World: a revision of the coral genus Acropora. CSIRO, Collingwood. 438 pages.

Wang, D.Y.-C., Kumar, S., Hedges, S.B. (1999) Divergence time estimates for the early history of animal phyla and the origin of plants, animals and fungi. Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences 266, no. 1415-pp163.

Williams ST., Duda TF, (2008). Did tectonic activity stimulate Oligo- Miocene speciation in the Indo-West Pacific? Evolution, 62:1618–1634.

www.takbook.com

Wood R (1999). Reef evolution, Oxford University Press, Oxford. ISBN: 9780198577843, 432 Pages.

Wood R, (1993). Nutrients, predation and the history of reef-building. Palaios 8:526–543.

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل دوم

بیماری‌های مرجان‌ها

طوبی وارسته

www.takbook.com

www.takbook.com

آبسنگ‌های مرجانی و اهمیت بیماری‌های وابسته به آنها

مرجان‌های آبسنگ ساز، متنوع‌ترین و پرتولیدترین اکوسیستم‌های زمین می‌باشند که حتی به جرات می‌توان گفت که حامی جانوران بی‌شماری هستند که در درمان بیماری‌های حاد انسانی موثر می‌باشند. از طرف دیگر، فعالیت‌های انسانی مانند فزونی در ماهیگیری، تغییرات آب و هوایی، آلودگی زمین و آب‌ها و نابودی زیستگاه‌ها، باعث از بین رفتن این اکوسیستم‌های ارزشمند گردیده‌اند. از این‌رو، شناخت اکوسیستم‌ها ی مرجانی و بیماری‌های وابسته، جهت دریافت اطلاعات بیشتر، برای بقاء آنها ضروری است.

بیماری فرآوردهٔ تعامل بین میزبان، عامل بیماری زا و محیط می‌باشد. میکروب‌ها عامل برخی از بیماری‌ها هستند. عوامل میکروبی شامل: باکتری‌ها، قارچ‌ها، ویروس‌ها و آغازیان می‌باشند. میکروب‌ها، عامل گروهی دیگر از موارد نیز هستند (همانند درجه حرارت، رسوب، استرس، مواد شیمیایی سمی، عدم تعادل مواد مغذی و اشعه ماوراء بنفش). میکروارگانیسم‌های بیماری زا، چرخهٔ زندگی کوتاهی داشته و از طریق روان آب‌ها، لوله‌های مربوط به کشتی‌ها، آبزی پروری، و تغییرات جریان‌های اقیانوسی، به محیط‌های جدید اقیانوسی، وارد می‌شوند. بنابراین، انتظار پدیدار شدن بیماری جدید همیشه وجود خواهد داشت. از سوی دیگر، تحت شرایط خاص زیست محیطی، احتمال ایجاد بیماری افزایش می‌یابد که نتیجهٔ آن مرگ و میر بیشتر خواهد بود.

در طی سه دههٔ گذشته، مرجان‌های آبسنگ‌ساز سراسر جهان، تغییرات بزرگی را در ساختار و عملکرد، چه توسط عوامل طبیعی و چه عوامل بیماری زا، تجربه کرده‌اند (Bellwood *et al.* 2004). بالاترین تهدیدها برای اکوسیستم‌های آبسنگ‌ساز، آلودگی اقیانوس‌ها، ماهیگیری بیش از حد، پدیدهٔ تغییر جهانی آب و هوا و اسیدی شدن اقیانوس‌ها می‌باشند که بروز بیماری‌های عفونی را امکان پذیر می‌نمایند. بیماری‌های عفونی در

www.takbook.com

مرجان‌ها به سرعت افزایش و پراکنده می‌شوند؛ به گونه‌ای که اوایل ۱۹۷۰، بیماری لکه سفید در حجم عظیمی از آبسنگ‌های کارائیب، شیوع یافت.

تاکنون، عوامل زیستی یا غیرزیستی، کاهش بزرگی را در پوشش آبسنگ‌های مرجانی ایجاد کرده‌اند (Mydlarz *et al*, 2008). همچنین در اثر کاهش بافت مرجان، بیماری، تاثیر چشمگیری در سرعت تولید مثل، سرعت رشد، ساختار، تنوع و فراوانی گونه‌های مرجانی، خواهد داشت.(Kim and Harvell, 2004) مطالعات اخیر نشان داده‌اند که انسان‌ها، تنها عوامل بیماری در آبسنگ‌های مرجانی نبوده و برخی گونه‌های فرصت طلب در اثر استرس‌های محیطی (مانند کیفیت پایین آب و گرم شدن آب و هوا)، می‌توانند بیماری را در آبسنگ‌های مرجانی بروز دهند.

(Weil and Jordn-Dahlgren, 2005) به دلیل اینکه آبسنگ‌های مرجانی، قدرت تحمل محدودهٔ پایینی از دما را دارند (۱۸ الی ۳۰ درجه سانتیگراد)، بسیار به استرس دمایی حساس می‌باشند. سفید شدگی مرجان‌ها در اثر از دست دادن زوزانتلا در درجه حرارت بالا، به خوبی شناخته شده است. پدیدهٔ سفید شدگی مرجان‌ها، به صورت جهانی، در طی پدیدهٔ ال نینو (۱۹۹۸) اتفاق افتاد که بیشترین آسیب را به آبسنگ‌های مرجانی وارد نمود. این پدیده با بروز اثر مخرب ال نینو استرالیا (۲۰۰۲) افزایش یافت. در ادامه، سفید شدگی بزرگ دیگری نیز در آبسنگ‌های مرجانی استرالیا، در سال ۲۰۰۵ رخ داد که نتیجهٔ بزرگترین گرم شدگی ۱۰۰ سال اخیر بود. در نتیجهٔ این پدیده، بیماری‌های لکهٔ سفید، باند زرد (Miller *et al*, 2006) و تودهٔ سفید (Muller *et al*, 2008) پدیدار شدند. لایهٔ سطحی موکوس مرجان‌ها شامل میزان مشخصی از باکتری‌ها می‌باشد که به تغییرات محیطی پاسخ می‌دهد. نرمال فلور باکتری‌ها در لایه موکوسی، مرجان‌ها را در برابر پاتوژن‌های بیماری زا حفظ نموده و تغییر در آن باعث بیماری در آبسنگ‌های مرجانی می‌گردد (Ritchie 2006,). از جمله عوامل بر هم زنندهٔ تعادل فلور باکتری‌ها، می‌توان به آبزی پروری و وجود آب توازن اشاره نمود (Harvell *et al*, 2004).

www.takbook.com

بیماری‌های شایع در آبسنگ‌های مرجانی

بیماری‌های آبسنگ‌های مرجانی در طی سال‌های اخیر، به سرعت به مکان‌ها و گونه‌های جدید، پیشرفت نموده‌اند (Aeby 2006). از این رو، شناخت بیماری‌ها و عواملی که باعث بروز بیماری در آبسنگ‌های مرجانی می‌گردند، جهت انجام مدیریت آن‌ها، بسیار حائز اهمیت است. از جمله عوامل موثر در بیماری مرجان‌ها می‌توان به عوامل زیستی و غیرزیستی اشاره نمود. عوامل زیستی شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها، جلبک‌ها، پروتوزوآها و ویروس‌ها بوده و عوامل غیرزیستی نیز عوامل فیزیکی و شیمیایی شامل درجه حرارت بالا، شوری،کدورت، مواد مغذی آب، آلودگی‌ها و اشعه فرابنفش، می‌باشند. از طرف دیگر، عوامل غیرزیستی می‌توانند محرکی برای عوامل زیستی نیز باشند و بیماری آبسنگ‌های مرجانی را گسترش دهند. بیماری‌ها، علاوه بر اثر منفی که بر روی آبسنگ‌های مرجانی دارند، می‌توانند باعث نابودی گونه‌های وابسته به آنها نیز شوند.(Beeden *et al.* 2008)

سفید شدگی (Bleaching)

سفید شدگی مرجان‌ها به دلیل خارج شدن جلبک تک سلولی از بافت مرجان در اثر عوامل تنش زای محیطی، همچون کمبود نور خورشید، افزایش میزان اشعه فرابنفش، میزان رسوب گذاری، آلودگی، تغییرات شوری و افزایش درجه حرارت ایجاد می‌شود. برای روی دادن این پدیده، تغییرات دمایی طولانی مدت نیاز است (Reynolds, 1993). این امر سبب یک عدم تعادل در همزیستی می‌گردد و به مرجان‌ها ظاهری مات و سفید می‌دهد (شکل ۱). این پدیده می‌تواند برای میزبان کشنده باشد؛ زیرا میزبان منبع مهم انرژی خود را توسط زوزانتلا کسب می‌کند و زوزانتلا برای مدتی طولانی از دست می‌رود (Brown, 1997). پس از فرایند ال نینو سال ۱۹۹۸ که منجر به سفید شدگی ساختارهای مرجانی دنیا گردید، این پدیده در آب‌های ایرانی خلیج فارس نیز مشاهده شد (شکری، ۱۳۸۰). این پدیده می‌تواند به شکل لکه‌ای، نقطه‌ای، نواری و یا بطور کامل، در کلونی آبسنگ‌های مرجانی، مشاهده شود.(Beeden *et al.* 2008) در پدیدهٔ سفید شدگی، در

www.takbook.com

کنار مکانیسم خروج زوزانتلا از بافت مرجان، کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی نیز حائز اهمیت است. در این راستا، مکانیسم‌های وجود دارد که از آن جمله می‌توان به خروج جلبک از گاسترودرم میزبان، آپوپتوزیس یا نکروز سلول‌های میزبان و تفکیک سلول‌های میزبان (که در نهایت باعث آزادی زوزانتلا می‌شود)، اشاره نمود. هر کدام از رویدادها، خود به شدت و طول مدت استرس‌های محیطی وابسته می‌باشند.(Brown, 1997)

بیماری نوار زرد (Yellow Band Disease)

این بیماری در ابتدا به صورت لکهٔ زردی شروع شده و به آرامی در طول مرجان پیش می‌رود (پیوست اول، تصویر ۱)؛ به گونه‌ای که پس از آن، اسکلت مرجان‌ها توسط جلبک‌ها پوشیده می‌شود (Cervino *et al.* 2001). این بیماری برای اولین بار در سال ۱۹۹۴ گزارش گردید. بنا بر پژوهش‌های صورت گرفته، این بیماری با افزایش دما شیوع می‌یابد. افزون بر این، بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، چندین باکتری از جنس Vibrio بر جلبک‌های همزیست واقع در پولیپ مرجان اثر کرده و آنها را نابود می‌کنند (Cervino *et al.* 2005, 2008).

بیماری نوار سفید (White Band Disease)

بیماری نوار سفید در مرجان‌های شاخ گوزنی *Acropora* دیده شده است (پیوست اول، تصویر ۲). این بیماری، به صورت نواری سفید رنگ به پهنای ۲ تا ۱۰ سانتی متر دیده می‌شود که در طول کلنی مرجان، به سمت نوک شاخه‌ها، شروع به رشد می‌کند (Raymundo *et al*, ۲۰۰۸.)بیماری نوار سفید، بافت مرجان و پولیپ‌ها را از بین برده و پس از مدتی اسکلت‌های بی‌جان مرجان‌ها باقی می‌مانند که مورد حمله جانوران حفار، از جمله شکم پایان قرار گرفته و سرانجام باعث نابودی و فروپاشی اسکلت آبسنگ‌های مرجانی می‌گردد (Aronson & Precht,۲۰۰۱) . دانشمندان، این بیماری را از لحاظ عامل بیماری به ۲ بیماری مجزا تقسیم می‌کنند؛ بیماری نوار سفید ۱ که احتمالا از طریق باکتری گرم منفی میله‌ای شکل ایجاد می‌شود و بیماری نوار سفید ۲ که توسط باکتری

www.takbook.com

Vibrio charchariae ایجاد می‌شود تمایز این دو نوع بیماری از یکدیگر نیز تا حدودی دشوار می‌باشد (Weil & Hooten,.۲۰۰۸).

بیماری نوار سیاه (Black Band Disease)

نشانهٔ این بیماری، یک لکهٔ قرمز تیره یا سیاه رنگ به پهنای ۱ میلیمتر تا ۵ سانتی متر می‌باشد که در طول کلنی مرجان، با سرعت ۱ تا ۸ میلیمتر در روز، پیشرفت می‌کند (شکل ۴). رنگ سیاه این بیماری به علت وجود رنگدانه‌های فتوسنتزی جلبک‌های سبز آبی یا سیانوباکتری‌ها است. ضخامت این نوار، از ترکیب چندین نوع از این جلبک‌ها می‌باشد. (Weil and Hooten, 2008) این بیماری برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ در دریای کارائیب گزارش شد (Antonius,۱۹۷۳). بیماری نوار سیاه می‌تواند باعث نابودی کلنی مرجان شود ولی در برخی موارد، مرجان‌ها می‌توانند با ترشح موکوس، از پیشروی بیماری جلوگیری کنند. امّا دیگر مرجان توانایی زیست مثل گذشته را نخواهد داشت (Edmunds, ۱۹۹۱). با بالا رفتن دما، احتمال بروز بیماری نیز افزایش می‌یابد(Kuta & Richardson, 2000) (پیوست اول، تصویر ۳).

بیماری نوار قرمز (Red Band Disease)

این بیماری نیز همانند بیماری نوار سیاه، در طول بافت مرجان پیش رفته و به رنگ قرمز تیره می‌باشد (پیوست اول، تصویر ۴). بیماری نوار قرمز، بافتی رشته‌ای داشته و عامل آن نیز گروهی از جلبک‌های سبز آبی هستند که با عامل بیماری نوار سیاه متفاوتند. سرعت این بیماری نسبتا کم بوده و بیشتر در Octocoralها دیده می‌شود (Weil & Hooten, .۲۰۰۸) این بیماری هم به دو نوع قابل مشاهده است که در نوع اول شبیه به بیماری نوار سیاه بوده و در نوع دوم به شکل تور روی کلنی مرجان، خود را نشان می‌دهد.(Richardson, 1992)

www.takbook.com

آسیب ناشی از رسوب (Sediment Damage)

رسوبات و مواد معلق در آب اگر به میزان زیاد باشند به راحتی وارد بافت مرجان‌ها گردیده و باعث خفگی و نابودی مرجان‌ها می‌شوند. در این حالت، رسوبات حتی روی سطح مرجان هم قابل مشاهده می‌باشند (پیوست اول، تصویر ۵) (Beeden *et al*۲۰۰۸)., از طرف دیگر، رسوبات می‌توانند به صورت سدی، از نفوذ نور جلوگیری نموده و فتوسنتز را توسط جلبک‌های همزیست مرجان‌ها کاهش دهند. (Rogers 1990)

رشد غیرطبیعی (Growth Anomaly)

رشد غیرطبیعی در آبسنگ‌های مرجانی، نوع دیگری از بیماری‌ها بوده که معمولا منجر به مرگ نمی‌شود (پیوست اول، تصویر ۶). در برخی از موارد، رشد غیرطبیعی مرجان‌ها، به دلیل جهش ژنتیکی،پروتوزوآها و یا ویروس‌ها می‌باشد که به صورت تغییر در سلول‌های سازنده مرجان‌ها نمایان می‌شود. سلول‌هایی که در این ساختارها وجود دارند، از نظر متابولیکی، فعال‌تر بوده و به سرعت تقسیم می‌شوند. اما در گونه‌ای دیگر، از رشد غیرطبیعی که در اثر فعالیت موجودات حفار یا چسبنده حاصل می‌شود، مرجان به دور موجود زنده رشد کرده و شکلی غیرطبیعی به دست می‌آورد. (Weil & Hooten, 2008)

تغییر رنگ (پاسخ التهابی) Pigmentation

تغییر رنگ در آبسنگ‌های مرجانی می‌تواند به صورت نقطه‌ای، توده‌ای و یا اشکال غیرمنظم دیده شود که در مکان‌های آسیب‌دیدگی مشاهده گردیده و با التهاب نیز همراه می‌باشند (پیوست اول، تصویر ۷). ممکن است این تغییر رنگ در خانواده‌های مختلف مرجان‌ها، متفاوت باشد. عامل این تغییر رنگ، به دلیل آسیب زایی با بیماری‌ها، موجودات حفار، ماهی‌ها، آلودگی‌ها، عوامل فیزیکی و رسوب گذاری می‌باشد. این تغییر رنگ، نوعی پاسخ التهابی محسوب می‌شود.(Beeden *et al*.2008)

www.takbook.com

پوشیده شدن مرجان توسط دیگر موجودات (Overgrowth)

در اغلب موارد، پوشیده شدن مرجان‌ها توسط دیگر موجودات، مانند جلبک‌های سبز - آبی، تونیکات‌ها، اسفنج‌ها،زوآنتیدها و دیگر مرجان‌ها، باعث مرگ کلنی مرجان می‌گردد (پیوست اول، تصویر ۸). معمولاً در تلاقی این موجودات با مرجان‌ها، نشانه‌هایی از استرس مانند تغییر رنگ، ترشح موکوس و سفید شدگی مشاهده می‌شود. (Weil & Hooten, 2008)

پیشینهٔ پژوهش‌ها بر روی بیماری‌های آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس

تاکنون، مطالعات بسیار کمی پیرامون وضعیت بیماری آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس صورت گرفته است. با این حال، بیماری‌های آبسنگ‌های مرجانی خلیج فارس، نادر نبوده و گزارشاتی از شیوع انواع بیماری‌ها وجود دارد.

(Coles 1994; Korrubel and Riegl 1998; Riegl 2002)

بیماری نوار زرد خلیج فارس (Yellow Band Disease)

بیماری نوار زرد، اولین بار توسط کوروبل و ری‌گل Corrubel و Riegl، در سال ۱۹۹۸، در دوبی و نزدیک منطقه‌ی جبل علی Jebel Ali گزارش گردید که تفاوت زیادی را در ظاهر، الگوی پراکنش و حساسیت گونه‌ای با بیماری نوار زرد در مناطق دیگر جهان، مانند اقیانوس آرام و کارائیب دارد. بیماری نوار زرد در خلیج فارس، نارسایی تهاجمی بوده که با سرعت زیادی در جنس *Acropora* و با سرعت کمتر، اما مداوتر، در جنس *Porites* پیش می‌رود. در آبسنگ‌های مرجانی منطقه خلیج فارس، رنگ بافت آسیب دیده با بیماری نوار زرد، زرد روشن، سبز یا قهوه‌ای تیره می‌باشد. میانگین سرعت از بین رفتن بافت مرجان توسط این بیماری ۱ تا ۲ سانتی متر در هفته بوده و در همهٔ فصول وجود دارد. امّا در تابستان بیشترین سرعت پیشروی و تخریب بافت مرجان مشاهده می‌شود (Ballantine *et al.* 2008). در بیماری نوار زرد در خلیج فارس، همانند دیگر مناطق، مرکز

www.takbook.com

منطقهٔ آسیب دیده، با مناطق دیگر آلوده یکی شده و اندازهٔ بزرگ تری را حاصل می‌سازد که در نهایت باعث نابودی مرجان می‌شود. بیماری نوار زرد، نسبتا در خلیج فارس و بیشتر در آب‌های شمالی آن شایع بوده و گونه‌های درگیر با این بیماری در خلیج فارس شامل: *Acropora downingi, A. clathrata, A. pharaonis, A. valida, Porites lutea, P. lobata, P. harrisoni, Turbinaria reniformis, Cyphastrea microphthalma*. می‌باشند (پیوست اول، تصویر ۹ و ۱۰).

بیماری نوار زرد خلیج فارس به صورت نوار زرد رنگ یک یا چند سانتیمتری بوده که بخوبی در جنس *Acropora* مشخص شده است. در جنس *Porites* هم این بیماری می‌تواند به صورت نوار زرد رنگ یا به صورت خال‌های سبز یا زرد بزرگتر در سطح مرجان باشد. به نظر می‌رسد که بیماری نوار زرد در خلیج فارس، مرحله‌ای غیرفعال با نشانه‌هایی قابل مشاهده داشته باشد که باعث می‌شود که نابودی مرجان متوقف شده و حتی ممکن است که شروع به ساختن اسکلت جدید نماید. این مورد معمولا در دو جنس *Porites harrisoni, Porites nodifera* وجود دارد و به ندرت در جنس *Acropora* نیز مشاهده گردیده و منجر به مرگ این جنس می‌شود. پیشرفت این بیماری در جنس Acropora بسیار سریع بوده و بیشتر در فصل تابستان می‌باشد و پس از آلوده کردن مرکز کلنی، به سرعت به نقاط دیگر مرجان پخش می‌شود. در نهایت، کل کلنی تخریب می‌گردد. همچنین، برخورد قسمتی از کلنی بیمار به کلنی مرجان مجاور نیز باعث آلوده شدن کلنی مرجان مجاور و غیرآلوده می‌شود. چهار گروه از جنس *Vibrio*

(V. rotiferianus, V. harveyi, V. alginolyticus and V. proteolyticus)

تاکنون از بافت مرجان‌های آلوده به این بیماری در کارائیب و اقیانوس آرام استخراج شده‌اند. سرونیو Cervino و همکاران، در سال۲۰۰۸، اظهار کردند که این بیماری بر روی اندامک‌های جلبک همزیست مرجان (زوزانتلا) اثر نموده و باعث نابودی رنگدانه‌های فتوسنتزی آن‌ها می‌شود. همچنین، تقسیم سلولی زوزانتلاها را نیز کاهش می‌دهد. اما در حال حاضر، مشخص نیست که آیا بیماری نوار زرد خلیج فارس نیز شرایط مشابهی داشته باشد یا خیر؟

www.takbook.com

بیماری نوار سیاه در خلیج فارس (Black Band Disease)

این بیماری، قدیمی‌ترین بیماری شناخته شده در مرجان‌ها می‌باشد که اولین بار در کارائیب دیده شده (Antonius 1988) و به سرعت در همه جا پخش گردید (Antonius 1985). این بیماری، پراکنش جهانی داشته و از اقیانوس آرام تا هند و خلیج فارس را فراگرفته است. اولین جنس از مرجانی که مورد آسیب این بیماری قرار گرفت *Acropora* بود. بیماری نوار سیاه در خلیج فارس نادر بوده و در سال های۱۹۹۵،۲۰۰۹و ۲۰۱۱ در خلیج فارس مشاهده شد (پیوست اول، تصویر ۱۱). این بیماری به سرعت باعث نابودی جنس *Acropora* می‌شود و در ابتدا در قسمت مرکزی این جنس ظاهر گردیده و به سرعت، مناطق دیگر کلنی را فرا می‌گیرد. این بیماری در خلیج فارس بیشتر در فصل تابستان شیوع داشته و سرعت شیوع آن در زمستان بسیار نادر است (Riegl 2002). در خلیج فارس، گونه‌هایی که متاثر از این بیماری هستند شامل:

Acropora downingi, A. clathrata, A. pharaonis, A. valida , Favia pallida, F. speciosa, Platygyra daedalea, P. lamellina, Cyphastraea microphthalma

می باشند. همانطور که گفته شد این بیماری در فصل تابستان شیوع دارد؛ بطوری که اگر درجه حرارت خلیج فارس از ۲۰ درجه کاهش یابد، بیماری ناپدید می‌شود.

ریچاردسون و کوتا Richardson وKuta در سال ۱۹۹۶ اظهار داشتند که اسکلت مرجانی بعد از آلوده شدن توسط این بیماری، تخریب می‌شود. در خلیج فارس نیز اولین بار این بیماری در سال ۲۰۱۱، در نتیجهٔ رویداد پدیدهٔ سفید شدگی مرجان‌ها، مشاهده شد.

بیماری نوار سفید در خلیج فارس (White Band Disease)

بیماری نوار سفید یا سندرم‌های مرتبط با این بیماری در خلیج فارس، بسیار شایع می‌باشند. این بیماری توسط ری‌گل Riegl در سال ۲۰۰۲ در خلیج فارس و بیشتر در دو جنس *Acropora* spp. و *Porites harrisoni* مشاهده گردید (پیوست اول، تصویر ۱۲).

www.takbook.com

بیماری خط و لکهٔ صورتی در خلیج فارس
(Pink Spots and Pink Line Disease)

این بیماری در پاسخ به استرس فیزیکی و بیماری‌ها حاصل می‌شود (مانند گاز گرفتگی توسط ماهی‌ها، عفونت انگلی و آسیب موجودات حفار). در این بیماری، اشکال غیرعادی به رنگ صورتی، در سطح کلنی مرجان مشاهده می‌شود. در خلیج فارس و به دنبال مرگ و میر آبسنگ‌های مرجانی در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ (که منجر به پیدایش پدیدهٔ کشند قرمز گردید) بیماری لکهٔ صورتی، در مرجان‌های جنس *Porites*، در نواحی جزایر قشم و لارک، شیوع یافت (پیوست اول، تصویر ۱۳) (Samimi-Namin *et al.* 2010).

پدیدهٔ کشند قرمز در خلیج فارس Red Tides (Harmful Algae Blooms)

این پدیده یکی از مواردی است که به شدت باعث نابودی آبسنگ‌های مرجانی می‌شود و معمولا در تابستان، درجه حرارت بالا، سرعت پایین باد، نور و مقدار مواد غذایی مناسب روی می‌دهد (Gilbert *et al.* 2002). جلبک موثر در این بیماری می‌تواند خود سمی بوده و یا موجب افزایش اکسیژن آب شود (پس از ایجاد این پدیده) و در باعث نهایت نابودی ماهی‌ها و آبسنگ‌های مرجانی شودد(Al-Ansi *et al.* 2002). سم تولیدی توسط جلبک می‌تواند باعث نابودی ماهی‌ها گردیده و یا می‌تواند در پوستهٔ صدف انباشته شود (Gilbert *et al.* 2002). دمای سطحی آب در خلیج فارس در حال افزایش می‌باشد (Sheppard and Loughland 2002) که این عامل در افزایش پیدایش این پدیده نقش بسزایی را داشته و سلامت آبسنگ‌های مرجانی را در معرض خطر قرار می‌دهد (Bauman *et al.* 2010). بر پایهٔ پژوهش‌های اخیر، پدیدهٔ کشند قرمز، به سرعت در حال افزایش است (Sheppard *et al.* 2010). در خلیج کویت در سال ۱۹۹۹، این بیماری، گونه‌های *Karenia selliformis* and *Prorocentrum rathymum* را درگیر ساخت که سرانجام منجر به مرگ ماهی‌های بسیاری شد (Al-Yamani *et al.* 2000) همچنین، این بیماری در مناطق فجیره، عجمان، دبی، ابوظبی و آب‌های ایران و عمان نیز گزارش گردیده و

www.takbook.com

آسیب‌های زیادی را وارد آورد(August 2008–May 2009) (پیوست اول، تصویر ۱۴). کشند قرمز در آگوست-سپتامبر ۲۰۰۸ در آب‌های عمان در ناحیهٔ دیبا Dibba (قسمت شمال غربی خلیج عمان)، آغاز گردید و تدریجا به تنگهٔ هرمز و قسمت‌های شمالی خلیج فارس و جنوب غربی آن نیز گسترش یافت. این پدیده موجب تخریب مرجان جنس *Porites* گردید. سه ماه بعد از پدیدهٔ کشند قرمز، ۹۰ درصد بافت مرجان جنس *Porites* از بین رفت. از آنجا که افزایش مواد غذایی، باعث افزایش جلبک‌های موثر در پیدایش این پدیده می‌شود، اگر میزان مواد مغذی کنترل گردد، کمک شایانی در حفظ این اکوسیستم‌ها خواهد نمود(Samimi-Namin *et al.* 2010). به شکل چکیده، در بخش‌های پیشین، به اثرات کشند قرمز در خلیج فارس اشاره شد. امّا با توجه به آلودگی‌های وسیع انسانی در خلیج فارس و تبادلات آب توزان توسط کشتی‌های حمل و نقل نفت (که در بخش مدیریت زیست محیطی خلیج فارس، بیان گردید)، پیش بینی آینده نه چندان خوشایند، بر اساس فعالیت‌های انسانی، دور از دسترس نخواهد بود. بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که لزوم اتخاذ قوانین اجرایی صحیح، نقش به سزایی در حفاظت از خلیج فارس خواهد داشت.

www.takbook.com

منابع

شکری. م.ر، فاطمی. س. م. ر.۱۳۸۰. بررسی ساختارهای مرجانی جزیرۀ فارور. نشریه اقیانوس شناسی، سال سوم، شمارگان ۶ و ۷، صفحات ۱۵ تا ۲۴.

Aeby, G.S. (2006) Outbreak of coral disease in the northwestern Hawaiian islands. Coral Reefs 24:481

Al-Yamani F, Al-Ghunaim DV, Subba Rao N, Khan M, Al-Ghool M,Muruppel S, Al-Qatma, Luis M (2000) Fish kills, red tides, and

Kuwait's marine environment. Kuwait Institute for Scientifi c Research, Kuwait

Al-Ansi MA, Abdel-Moati MAR, Al-Ansari IS (2002) Causes of fish mortality along the Qatari Waters Arabian Gulf. Int J Environ Stud 59:59–71.

Aronson, R. B., Precht, W. F. (2001) White-band disease and the changing face of Caribbean coral reefs.

Hydrobiologia 460:25-38

Antonius A (1985) Coral diseases in the Indo-Pacifi c: a fi rst record. PSZNI: Mar Ecol 6:197–218.

Antonius A (1988) Distribution and dynamics of coral diseases in the Eastern Red Sea. Proc 6th Int Coral Reef Symp 2: 293–299.

Antonius, A. (1973) New observations on coral destruction in reefs. 10th Meeting of the Association of Island Marine Laboratories of the Caribbean, University of Puerto Rico, Mayaguez, p3.

Coles SL (1994) Extensive coral disease outbreak at Fahl Island, Gulf of Oman, Indian Ocean. Coral Reefs 13:242.

Coral Disease Handbook, Guidelines for Assessment, Monitoring & Management. Laurie J. Raymundo, Courtney S. Couch, Andrew W. Bruckner, C. Drew Harvell, Thierry M. Work, Ernesto Weil, Cheryl M. Woodley, Eric Jordan-Dahlgren, Bette L. Willis, Yui Sato, Greta S. Aeby. 2008.

Bellwood, D.R., T.P. Hughes, C. Folke, and M. Nystrom. (2004). Confronting the coral reef crisis. Nature 429 (6994):827-833.

Brown, B. 1997. Coral bleaching: causes and consequences. Coral Reefs, 16(1): S129-S138.

Edmunds, P.J. (1991) Extent and effect of black band disease on a Caribbean reef. Coral Reefs 10:161-165

Kuta, K. G., Richardson, L. L. (2002) Ecological aspects of black band disease of corals: relationships

www.takbook.com

between disease incidence and environmental factor. Coral Reefs 21:393-398

Hughes, T.P., A.H. Baird, D.R. Bellwood, M. Card, S.R. Connolly, C. Folke, R.K. Grosberg, O. Hoegh-Guldberg, J.B.C. Jackson, J.A. Kleypas, J. Lough, P. Marshall, M. Nystrom, S.R. Palumbi, J.M. Pandolfi, B. Rosen, and J. Roughgarden. (2003). Climate change, human impacts, and the resilience of coral reefs. Science 301 (5635):929-933.

Green, E. and A.W. Bruckner. (2000). The significance of coral disease epizootiology for coral reef conservation. Biological Conservation 96 (3):347-361.

Richardson, L.L. and R.R. Aronson. (2002). Infectious diseases of reef corals. Proceedings of the Ninth International Coral Reef Symposium, Bali 2:1225-1230.

Mydlarz, L.D., S.F. Holthouse, E.C. Peters, and C.D. Harvell. (2008). Cellular responses in sea fan corals: Granular amoebocytes react to pathogen and climate stressors. PLoS One 3 (3):e1811.

Hughes, T.P. (1994). Catastrophes, phase shifts, and large scale degradation of a Caribbean coral reef. Science 265 (5178):1547-1551.

Kim, K. and C.D. Harvell. (2004). The rise and fall of a six-year coral-fungal epizootic. American Naturalist 164 (5):S52-S63.

Harvell, C.D., R. Aronson, N. Baron, J. Connell, A. Dobson, S. Ellner, L. Gerber, K. Kim, A. Kuris, H. McCallum, K. Lafferty, B. McKay, J. Porter, M. Pascual, G. Smith, K. Sutherland, and

J. Ward. (2004). The rising tide of ocean diseases: unsolved problems and research priorities. Frontiers in Ecology and the Environment 2 (7):375-382.

Muller, E.M., C.S. Rogers, A.S. Spitzak, and R. van Woesik. (2008). Bleaching increases likelihood of disease on Acropora palmata (Lamark) in Hawksnest Bay, St John, US Virgin Islands. Coral Reefs 27 (1):191-195.

Lafferty, K.D., J.W. Porter, and S.E. Ford. (2004). Are diseases increasing in the ocean? Annual Review of Ecology Evolution and Systematics 35:31-54.

Miller, J., R. Waara, E. Muller, and C.S. Rogers. (2006). Coral bleaching and disease combine to cause extensive mortality on reefs in the US Virgin Islands. Coral Reefs 25 (3):418.

Ritchie, K.B. (2006). Regulation of microbial populations by coral surface mucus and mucus-associated bacteria. Marine Ecology-Progress Series 322:1-14.

Sutherland, K. P., Porter, J. W., Torres, C. (2004) Disease and immunity in Caribbean and Indo-Pacific zooxanthellate corals. Mar Ecol Prog Ser 266:273-302.

Kushmaro, A., Banin, E., Loya, Y., Stackerbrandt, E., Rosenberg, E. (2001) Vibrio shiloi sp. nov., the causative agent of bleaching of the coral Oculina patigonica. Int J Syst Evol Microbiol 51:1383-1388.

www.takbook.com

Beeden, R., Willis, B. L., Raymundo, L. J., Page, C. P., Weil, E. (2008) Underwater Cards for Assessing Coral Health on Indo-Pacific Reefs. CRTR Program, Centre for Marine Studies, Gerhmann Building, The University of Queensland, St Lucia, Qld 4072, Australia. 26p.

Cervino, J. M., Goreau, T. J., Nagelkerken, I., Smith, G. W., Hayes, R. (2001) Yellow band and dark spot syndromes in Caribbean corals: distribution, rate of spread, cytology, and effects on abundance and division rate of zooxanthellae. Hydrobiologia 460:53-63.

Cervino, J. M., Littler, M., Littler, D., Polson, S. W., Goreau, T. J., Brooks, B., Smith, G. W. (2005) Identification of microbes associated with coralline lethal algal disease and its relationship to glacial ice melt (global warming). Phytopathology 95:6.

Riegl, B. (2002) Effects of the 1996 and 1998 positive sea-surface temperature anomalies on corals, coral diseases and fish in the Arabian Gulf (Dubai, UAE). Marine Biology 140:29-40.

Richardson, L. L. (1992) Red band disease: A new cyanobacterial infestation of corals. Proc. 10th Ann.Amer. Acad. Underw. Sci. 153-160.

Raymundo, L. J., Couch, C. S., Harvell, C. D. (2008) Coral Disease Handbook: Guidelines for Assessment, Monitoring & Management. CRTR Program, Centre for Marine Studies, Gerhmann Building, The University of Queensland, St Lucia, Qld 4072, Australia. 124 p.

Rogers, C. S. (1990) Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. MEPS 62:185-202.

Weil, E., Hooten, A. J. (2008) Underwater Cards for Assessing Coral Health on Caribbean Reefs. CRTR Program, Centre for Marine Studies, Gerhmann Building, The University of Queensland, St Lucia, Qld 4072, Australia. 28p.

Sheppard C, Loughland R (2002) Coral mortality and recovery in response to increasing temperature in the southern Arabian Gulf. Aquat Ecosyst Health Manag 5:395–402

Bauman AG, Burt JA, Feary DA, Marquis E, Usseglio P (2010) Tropical harmful algal blooms: An emerging threat to coralk reef communities? Mar Pollut Bull 60:2117–2122.

Foster KA, Foster G, Tourenq C, Shurique MK (2011) Shifts in coral community structures following cyclone and red tide disturbances within the Gulf of Oman (United Arab Emirates). Mar Biol 158:955–968.

Ballantine DL, Appeldoorn RS, Yoshioka P, Weil E, Armstrong R, Garcia JR, Otero E, Pagan F, Sherman C, Hernandez-Delgado E,

Bruckner A, Lilyestrom C (2008) Biology and ecology of Puerto Rican Coral Reefs. In: Riegl Dodge (ed) Coral reefs of the USA, vol 1, Coral reefs of the world. Springer, Dordrecht, pp 375–406

www.takbook.com

Bruckner AW, Bruckner RJ (2006a) Impact of yellow-band disease (YBD) on Montastraea annularis (species complex) populations on remote reefs off Mona Island, Puerto Rico. Dis Aquat Org 69:67–73.

Sheppard CRC, Al-Hoseine M, Al-Jamali F, Al-Yamani F, Baldwin R, Bishop J, Benzoni F, Dutrieux E, Dulvy NK, Durvasula SRV, Jones DA, Loughland R, Medio D, Nithyanandan M, Pilling GM, Polikarpov I, Price ARG, Purkis S, Riegl B, Saburova M,Samimi-Namin K, Taylor O, Wilson S, Zainal K (2010) The Gulf: a young sea in decline. Mar Pollut Bull 60:13–38.

Cervino JM, Thompson FL, Gomez-Gil B et al (2008) The Vibrio coregroup induces yellow band disease in Caribbean and Indo-Pacifi creef-building corals. J Appl Microbiol 105:1658–1671.

Raymundo LJ, Couch CS, Harvell D et al (2008) Coral disease handbook: guidelines for assessment, monitoring, management. University of Queensland, St. Lucia, 121pp.

Willis BL, Page CA, Dinsdale EA (2004) Coral disease on the Great Barrier Reef. In: Rosenberg E, Loya Y (eds) Coral health and diseases. Springer, Berlin, pp 69–104.

Ravindran J, Raghukumar C (2002) Pink line syndrome (PLS) in the scleractinian coral Porites lutea. Coral Reefs 21:252.

Ravindran J, Raghukumar C, Raghukumar S (2001) Fungi in Porites lutea: association with healthy and diseased corals. Dis Aquat Org. 47:219–228

Samimi-Namin K, Risk MJ, Hoeksema BW, Zohari Z, Rezai H (2010) Coral mortality and serpulid infestations associated with red tide in the Persian Gulf. Coral Reefs 29:509.

Gilbert PM, Landsberg JH, Evans JJ, Al-Sarawi MA, Faraj M, Al-Jarallah MA, Haywood A, Ibrahem S, Klesius P, Powell C, Shoemaker C (2002) A fi sh kill of massive proportion in Kuwait Bay, Arabian Gulf 2001: the roles of bacterial disease, harmful algae and eutrophication. Harmful Algae 1:215–231.

Korrubel J, Riegl B (1998) A new coral disease from the Arabian Gulf. Coral Reefs 17(1):35.

Kuta KG, Richardson LL (1996) Abundance and distribution of black band disease on coral reefs in the northern Florida Keys. Coral Reefs 15:219–223.

Reynolds, R. 1993. Physical oceanography of the Gulf, Strait of Hormuz, and the Gulf of Oman—Results from the Mt Mitchell expedition. Marine Pollution Bulletin, 27: 35-59.

http://coral.aoml.noaa.gov

www.takbook.com

www.takbook.com

فصل سوم

مرجان‌های شناسایی شدهٔ خلیج فارس

مهدی مرادی

www.takbook.com

www.takbook.com

۱) *Acanthastrea hillae*

این گونه از خانواده Mussidae می‌باشد که گزارشی از آن در سایر نقاط خلیج فارس وجود ندارد و تنها گزارش ثبت شده از آن توسط امین راد و آذین(۲۰۱۳) در خلیج چابهار ثبت شده است. این گونه، تشکیل کلنی‌های کوچک می‌دهد ولی گاهی قطر کلنی به یک و نیم متر نیز می‌رسد. کورالیت، دارای سپتاهای مشترک با کورالیت همسایه است. شکل رشد کورالیت گاهی طوری است که تشکیل دره‌هایی بر روی سطح کلنی می‌دهد یا ممکن است کورالیت دارای دو مرکز در میان خود باشد. کورالیت‌ها بزرگند و گاهی به بیش از دو سانتی متر می‌رسند (پیوست دوم، تصویر ۱).

به رنگ‌های قرمز، کرم یا قهوه‌ای دیده می‌شود که می‌تواند دارای رنگ‌های متفاوت در دهانه پولیت یا دیواره سپتاها باشد.

۲) *Acanthastrea echinata*

کلنی به صورت پوششی تا توده‌ای دیده می‌شود. دارای بافت گوشتی است. کورالیت‌هایی به قطر بیش از یک سانتی متر دارد. دیواره‌های کورالیت، ضخیم، نوک تیز و دندانه دار است. کلنی در این گونه می‌تواند اشکال گوناگون داشته باشد. در مورد پراکنش گونه‌ها در خلیج فارس رجوع شود به جدول ۳ (پیوست دوم، تصویر ۲).

رنگ: معمولاً دارای رنگ‌های قهوه‌ای تا سبز است که در ایستگاه‌های مطالعه شده، به رنگ سبز، بیشتر مشاهده می‌گردد.

۳) *Acanthastrea maxima*

این گونه، نسبت به همجنس پیشین خود دارای کورالیت‌های بزرگ‌تری است که

www.takbook.com

گاهی به بیش از ۵ سانتی متر می‌رسد. بین گونه‌های مرجانی خلیج فارس، بزرگترین کورالیت را به خود اختصاص می‌دهد. دارای بافت گوشتی است و می‌تواند به اشکال گوناگون دیده شود (پیوست دوم، تصویر ۳).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های سبز، خاکستری و قهوه‌ای دیده می‌شود.

۴) *Acanthastrea hemprichii*

این گونه از گونه‌هایی نیست که بتوان آن را به راحتی پیدا کرد. با این حال، دارای گسترهٔ وسیعی از پراکنش است و می‌توان آن را در اقیانوس هند و آرام، استرالیا، خلیج عدن، دریای سرخ، استرالیا و بسیاری از نواحی دیگر یافت کرد.[۱] همانند هم جنس‌های خود، دارای کورالیت‌های بزرگ با قطر گاهی یک سانتی متر و بافت گوشتی است. این گونه، تنها در لارک توسط (Vajed-Samiei, 2013) گزارش شده است. دارای رنگ‌های سبز و قهوه‌ای می‌باشد (پیوست دوم، تصویر ۴).

۵) *Acropora khayranensis*

این گونه جز گونه‌هایی است که جدیداً از کشورهای ایران، عمارت متحده عربی و عمان گزارش شده است(iucnredlist.org) (2008). پیش از این با عنوان *A. valenciennesi*شناخته می‌شد. اطلاعات کمی در مورد این گونه وجود دارد. کلنی ممکن است به بیش از دو متر برسد. شاخه‌های کلنی به سمت بالا رشد می‌کنند و کورالیت‌ها جهت مشخصی ندارند و در ابعاد گوناگون می‌توانند رشد کنند.

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای، آبی یا حتی سبز می‌توان مشاهده کرد.

---

[۱] برای مطالعه بیشتر رجوع کنید به وب سایت www.iucnredlist.org و کتاب Veron, 2000

www.takbook.com

۶) *Acropora downingi*

این گونه از خانواده Acroporidae می‌باشد. مرجان‌های جنس Acropora به مرجان‌های شاخ گوزنی معروف هستند. Acropora جنسی است که در اکثر نقاط خلیج فارس می‌توان آن را یافت. با این حال، به دلیل حساسیت این جنس در مقابل آلاینده‌های زیست محیطی شاید بتوان گفت جز اولین گونه‌هایی است که با تغییر شرایط زیست محیطی دچار نابودی گسترده می‌شود. پدیده‌هایی چون کشند سرخ، افزایش دمای خلیج فارس در سالهای اخیر و فعالیت‌های انسانی، درصد عظیمی از اجتماعات این جنس را نابود کرده است و اکنون مشکل بتوان کلنی‌های کاملا سالم را به ویژه در شمال خلیج فارس در سواحل ایرانی، یافت نمود (پیوست دوم، تصویر ۵).

گونه *A. downingi* دارای کورالیت‌هایی کوچک به قطر کمتر از یک میلی متر است که به صورت عمود بر شاخه‌های کلنی مشاهده می‌شوند. کورالیت، دارای لبه‌های تیز و شکننده است. گاهی با کلنی‌هایی به قطر بیشتر از دو متر، به صورت شعاعی با شاخه‌های به هم تنیده، دیده می‌شود. همه شاخه‌ها به یک شاخه قطور مرکزی اتصال دارند. شاخه‌ها ممکن است در قسمت انتهایی خود کمی به سمت بالا رشد کنند. در کل، کلنی این گونه، به صورت صفحه‌ای افقی، دیده می‌شود.

رنگ: قهوه‌ای و خاکستری مایل به سبز با لبه‌های کم رنگ

زیستگاه: در عمق (۶-۳ متر) مشاهده می‌شوند ولی در جزایر ناز به صورت بسیار نادر در سال ۱۳۸۷ در عمق ۱۰ متر نیز مشاهده شده است (Moradi *et al*, 2014).

۷) *Acropora nasuta*

در این گونه، کلنی به صورت شاخه‌هایی رشد می‌کند که حالت یک گل به کلنی می‌دهد. کورالیت در این گونه دراز و مانند لوله‌ای کشیده شده است که دیواره دهانه کورالیت دارای قطر بیشتری است. کورالیت‌های شعاعی، به صورت منظم و قابل تشخیص، چیده شده‌اند (پیوست دوم، تصویر ۶).

www.takbook.com

رنگ: این گونه می‌تواند به رنگ‌های کرم، قهوه‌ای کم رنگ با شاخه‌های صورتی رنگ دیده شود.

۸) *Acropora arabensis*

فرم رشد کلنی‌های این گونه با دیگر گونه‌های مرجان‌های شاخ گوزنی متفاوت است. در این گونه معمولاً شاخه‌های کلنی به صورت بالارونده رشد می‌کنند و تقریبا در بیشتر مناطق، کلنی حالت صفحه مانند ندارد (البته این نوع رشد به هیچ وقت مطلق نیست. در بعضی مناطق، کلنی‌های این گونه، بسیار شبیه به مرجان *A. downingi* است). بر خلاف مرجان *A. downingi*، شاخه‌ها به چندین شاخه دیگر تقسیم می‌شوند. کورالیت‌ها، معمولاً دارای لبه‌های درشت بوده و فاصله کورالیت‌ها با یکدیگر کم و نظم ویژه‌ای از نظر فاصله بین کورالیت‌ها دیده نمی‌شود. گونه بومی خلیج فارس است، در بیشتر نقاط در عمق بین ۲-۵ متر مشاهده می‌شود (پیوست دوم، تصویر ۷).

رنگ: قهوه‌ای یا خاکستری با لبه‌های کم رنگ، مشاهده شده‌اند.

۹) *Acropora valida*

کلنی در این گونه همانند ***A arabensis.*** دارای حالت رو به بالا دارد ولی دارای فرم کاملا متفاوتی در شکل کورالیت‌ها است. کورالیت‌ها در این گونه لبه‌های بسیار درشت‌تر از ***A.arabensis*** دارد کورالیت‌ها به صورت بسیار پرتراکم در سطح شاخه‌های کلنی وجود دارند. ولی برخلاف ***A.arabensis***، فاصله بین کورالیت‌ها یک نظم ویژه وجود دارد که فقط با مقایسه این دو گونه مرجان می‌توان آن را تشخیص داد. کلنی در جزیرهٔ لارک با قطر زیر نیم متر و کلنی کوچکتر، نسبت به سایر کلنی‌ها، دیده می‌شود (پیوست دوم، تصویر ۸).

رنگ: کرم، قهوه‌ای یا زرد دیده می‌شوند.

www.takbook.com

۱۰) *Acropora clathrat*

کورالیت در این گونه بسیار شبیه به *Acropora valida* است. البته این نظری نیست که همه پژوهشگران مرجان بر پایهٔ روش‌های مرفولوژیک بر آن در خلیج فارس توافق نظر داشته باشند. بعضی از پژوهشگران مانند (Rigel *et al*., 2012) این گونه را شبیه به *A. downingi* می‌داند. کلنی در این گونه دارای رشد گسترده بوده و گاهی به پهنای دو متر و بیشتر می‌توان کلنی‌های مشاهده کرد. کلنی معمولاً به صورت افقی رشد می‌کند. ولی شاخه‌ها در میانه و کناره کلنی، در بیشتر اوقات به صورت حالت بالارونده، رشد می‌کنند. کورالیت‌ها به صورت لبه درشت به شکلی که به صورت فرو رفته است در شاخه مشاهده می‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۹).

رنگ: قهوه‌ای، خاکستری و سبز که اغلب با کناره‌های کمرنگ دیده می‌شوند.

۱۱) *Anacropora forbesi*

این گونه توسط (Fatemi & Shokri, 2001)، به عنوان تنها مشاهده ثبت شده، در جزیرهٔ فارور گزارش شده است. جز خانواده مرجان‌های Acropora می‌باشد ولی از نظر شکل رشد و کلنی، تا حدود زیادی، متفاوت از سایر مرجان‌ها شاخ گوزنی است. در خلیج عدن و در دریای سرخ مشاهده شده است. در سایر نقاط خلیج فارس گزارشی از مشاهده این گونه ثبت نشده است. و به نظر می‌رسد تنها مشاهده ثبت شده در خلیج فارس از سواحل ایران باشد. کلنی این گونه دارای شاخه‌های نازک‌تر و شکننده‌تر (معمولاً داری قطر کمتر از یک سانتی‌متر) از مرجان‌های شاخ گوزنی است. کورالیت‌ها، حالت فرورفته در شاخه را دارند و فاصله در بین کورالیت‌ها زیاد است. تراکم فضایی که در مرجان‌های شاخ گوزنی وجود دارد در این گونه دیده نمی‌شود. قطر کورالیت‌ها کمتر از یک میلی متر و بسیار کوچک‌تر از مرجان‌های شاخ گوزنی است (پیوست دوم، تصویر ۱۰).

رنگ: بیشتر به رنگ‌های قهوه‌ای رنگ پریده و شاخه‌هایی که در انتها به رنگ سفید است، دیده می‌شود.

www.takbook.com

۱۲) *Montipora tuberculosa*

جنس Montipora از نظر شکل رشد، حالت ثابتی ندارد. آنها می‌توانند به شکل شاخه‌ای، پوششی و حتی توده‌ای رشد کنند. پولیپ‌ها درMontipora بسیار کوچک (کمتر از یک میلی متر قطر) است. با وجود اینکه پولیپ‌ها در روز فعالند، بسیار سخت بتوان پولیپ را در روز، در محیط مشاهده کرد (برخلاف سایر مرجان‌ها که می‌توان پولیپ را به راحتی در طی روز تشخیص داد). coenosteum[۱] در این جنس‌ها به صورت مشبک بوده و می‌توانند خارهای برآمده‌ای را دارا باشند. جنس Montipora در خلیج فارس در دو دهه اخیر دارای کاهش جمعیتی زیادی شده است و عوامل انسانی و گرمایش سطح آب خلیج فارس، عامل تهدید کننده برای این جنس محسوب می‌شود (Rigel *et al* 2012).

گونه *Montipora tuberculosa* دارای کلنی‌هایی است که به صورت نیمه توده‌ای همراه با حالتی شبیه به برگ رشد می‌کنند (البته این نوع رشد به هیچ وجه مطلق نیست و این گونه می‌تواند به اشکال دیگری نیز یافت شود). کورلیت‌ها در این گونه بسیار کوچک می‌باشند. بعضی از کورالیت‌ها، حالت برآمده و بعضی حالت تورفته را دارند. همه کورالیت‌ها توسط خارهایی احاطه شده‌اند. این خارها در سرتاسر فضای coenosteum گسترش دارند؛ ولی اطراف کورالیت‌ها دارای تراکم بیشتری می‌باشند (پیوست دوم، تصویر ۱۱).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای تیره یا سبز ورشن، ممکن است دیده شود.

۱۳) *Montipora spumosa*

در این گونه، کلنی می‌تواند به اشکال پوششی برگ مانند یا حتی به صورت ستونی، رشد کند. یک ویژگی که این گونه را از لحاظ شکل کلنی از سایر گونه‌ها متمایز می‌سازد، این است که اشکال ستونی مانند در بستر خود یک صفحه پهنی را دارند که شاخه‌ها بر روی آن می‌رویند. به نظر می‌رسد که در این گونه، ابتدا یک صفحه پوششی به شکل برگ

---

[۱] coenosteum فضای بین کورالیت هاست که معمولا کورالیت‌ها توسط شبکه‌هایی در این فضا به هم متصل هستند.

www.takbook.com

گسترش می‌یابد و شاخه‌ها بر فراز این صفحه تشکیل می‌یابند. کورالیت‌ها کاملا در داخل بافت کلنی مرجان فرو رفته است و حالت مشبک coenosteum داشته که حتی در زیر آب نیز قابل مشاهده‌اند؛ چون که زوائد پرزدار متعدد و پرتراکمی coenosteum را پوشانده‌اند که تشخیص کورالیت در میان این شبکه پرتراکم، کمی سخت به نظر می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۱۲).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای یکنواخت با لکه‌های سفید یا کرم و حتی آبی، با حاشیه کم رنگ، در قسمت برگی شکل کلنی، دیده می‌شود.

۱۴) *Montipora aequituberculata*

کلنی در این گونه ترکیبی از اشکال پهن برگی شکل است که این اشکال حالت همپوشانی نسبت به همدیگر را دارند. این اشکال، گاهی دارای پیچ خوردگی می‌شوند و به حالت لوله‌ای در می‌آیند. کورالیت‌ها در این گونه می‌توانند به صورت فرورفته و نیز برآمده، در سطح کلنی، دیده شوند و همانند سایر هم جنس‌های خود، این گونه دارای زوائد پرزی پرتراکم در coenosteum هستند که کورالیت را در خود احاطه کرده است (پیوست دوم، تصویر ۱۳).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای یکنواخت یا کرم و یا آبی نیز دیده می‌شود.

۱۵) *Montipora c.f. danae*

کلنی در این گونه یا به شکل اشکال ستونی یا به شکل پهن، شبیه برگ‌های غول پیکر، دیده می‌شود. در گزارش ثبت شده توسط (Vajed-Samiei, 2013)، به عنوان تنها گزارش ثبت شده از این گونه، به اشکال ستونی مانند نامنظم دیده می‌شوند. کورالیت، خصوصیاتی همانند گونه‌های توضیح داده شده را دارد (حالت فرورفته) (پیوست دوم، تصویر ۱۴).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای یا بنفش و گاهی ترکیبی از این دو رنگ همراه با خال‌های سفید دیده می‌شود.

www.takbook.com

۱۶) *Montipora incrassate*

کلنی در این گونه دارای صفحات پهن به همراه اشکالی همچون ستون یا حباب‌های گرد بر سطح اجزا برگی شکل، دیده می‌شود. شکل کورالیت، کمی متفاوت از سایر گونه‌ها است. کورالیت در درون شبکه مشبکی که دارای پرزهای بزرگ است، قرار دارد. این شکل مشبک، حالت منظم تری به خود گرفته است. پرزهایی که در ورودی کورالیت‌ها قرار دارند گاهی به نظر می‌رسند که دارای یک اتصال بین همدیگر هستند. کورالیت‌ها توسط تیغه‌هایی از جنس پرز، از هم جدا شده‌اند (پیوست دوم، تصویر ۱۵).

رنگ: این گونه به رنگ‌های قهوه‌ای یا ارغوانی دیده می‌شود.

۱۷) *Barabattoia amicorum*

خانواده Faviidae دارای بیشترین تنوع گونه‌ای مرجان در خلیج فارس بوده و در بسیاری از مناطق مرجانی، سطح وسیعی از پوشش مرجانی را به خود اختصاص می‌دهد.

گونه *Barabattoia amicorum* در امّارت متحده عربی توسط ری‌گل Regel در سال ۱۹۹۹، برای اولین بار، از خلیج فارس، گزارش شده است. این نویسنده در آخرین مقاله خود پیرامون گونه‌های خلیج فارس در ۲۰۱۲، وجود این گونه را توام با آب‌هام، معرفی می‌نماید. در ایران، این گونه توسط (Vajed-Samiei, 2013) در جزیره لارک ثبت شده است. دارای کلنی‌های توده‌ای ولی در اندازه‌های کوچک کمتر از ۳۰ سانتی متر یافت می‌شود. کورالیت بزرگ و گاهی قطر داخلی آن بیشتر از ۵ میلی متر است. دیواره‌های کورالیت در سطح خارجی، ضخیم است. سپت‌ها در کورالیت به خوبی مشخص است و تا خارج از کورالیت ادامه پیدا می‌کنند. این گونه مرجان دارای روش تولید مثلی جوانه زدن بیرون بازوهای دهانی Extratentacular budding است (پیوست دوم، تصویر ۱۶).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای زرد و کرم دیده می‌شود.

www.takbook.com

۱۸) *Favites pentagona*

کلنی در این گونه می‌تواند به صورت نیمه توده‌ای تا پوششی دیده شود. در بعضی از کلنی‌ها، اشکالی همانند ستون‌های کوچک در سطح کلنی ممکن است دیده شود. خود کلنی به شکل ستونی نیز رشد می‌کند. معمولاً کلنی دارای رشد وسیعی می‌شود و گاهی ممکن است به بیش از یک متر برسد. معمولاً تعداد سپتا در کورالیت، کمتر از سایر هم جنس‌های خود است (پیوست دوم، تصویر ۱۷).

رنگ: اغلب به رنگ روشن هستند، امّا به رنگ قهوه‌ای یا قرمز، معمولاً با منفذ دهانی سبزرنگ نیز دیده شده‌اند.

۱۹) *Favites peresi*

این گونه تنها توسط Moradi et al (2014) از جزیره لارک گزارش شده است. در مناطق دیگر خلیج فارس، گزارشی از مشاهده این گونه ثبت نشده است. کلنی در اندازه‌ای کوچک رشد می‌کند. کلنی‌ها در جزیره لارک، عمدا زیر ۳۰ سانتی متر مشاهده شده‌اند. کلنی می‌تواند به صورت توده‌ای و گاهی پوششی رشد کند. قطر کورالیت گاهی بین ۱-۲ سانتی متر، متغیر است. دیواره کورالیت در این گونه تیز است و داری عمق زیادی می‌باشد. با این حال، سپتاها کوچک هستند و به صورت کشیده دیده نمی‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۱۸).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای تیره تا روشن با دهانه رنگی متفاوت دیده می‌شود.

۲۰) *Favites flexuosa*

این گونه فقط در سواحل دریای عمان در خلیج چابهار توسط امین راد و آذین(۲۰۱۳) گزارش شده است و مستند ثبت شده‌ای از آن در بخش‌های دیگر خلیج فارس و دریای عمان وجود ندارد. کلنی، به صورت نیم کره یا صاف رشد می‌کند. کورالیت‌ها به صورت زاویه دار و عمیق دیده می‌شوند. سپتاها بزرگ و برجسته به صورت دندانه دار هستند. قطر

www.takbook.com

کورالیت‌ها ممکن است به بیش از یک سانتی متر برسند (پیوست دوم، تصویر ۱۹).

رنگ: این مرجان دارای تنوع وسیعی در رنگ است ولی معمولاً دهانه پولیپ همیشه دارای رنگ متفاوت از کلنی است.

۲۱) *Favites micropentagona*

این گونه تنها در سواحل شمالی خلیج فارس گزارش شده است و مستند ثبت شده‌ای از آن در بخش‌های جنوبی خلیج فارس وجود ندارد. کلنی می‌تواند به صورت توده‌ای و پوششی وجود داشته باشد. کورالیت می‌تواند بین ۳-۴ میلی‌متر قطر داشته باشد. در گزارشات ثبت شده از ایران، این ویژگی‌های مرفولوژیک که بر مبنای کتاب ورون در این نوشتار آورده شده است، با ویژگی‌های ظاهری گونه‌های ثبت شده، هم خوانی ندارد (پیوست دوم، تصویر ۲۰).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای روشن با دهانه‌ای به رنگ سبز یا تیره، می‌تواند وجود داشته باشد.

۲۲) *Favites chinensis*

این گونه به شکل توده‌ای و گرد یافت می‌شود. کورالیت‌ها به صورت کم عمق، زاویه دار با دیواره‌ای نازک دیده می‌شوند. کورالیت‌ها دارای نظم ویژه‌ای هستند و به صورت ابعاد چند ضلعی در سطح مرجان با هم ردیف شده‌اند. قطر کورالیت‌ها ممکن است به یک سانتی متر یا بیشتر هم برسد. در خلیج فارس، معمولاً قطر کورالیت‌ها کمتر از یک سانتی متر است (پیوست دوم، تصویر ۲۱).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های زرد یا سبز متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند.

۲۳) *Favites spinosa*

این گونه تنها توسط (Maghsoudlou, 2008) از سواحل ایران گزارش شده است

www.takbook.com

ولی در سواحل جنوبی خلیج فارس نیز مشاهده شده است. کلنی کوچک ولی به صورت حالت توده‌ای گرد، رشد می‌کند. کورالیت عمیق و دارای سپتاهای زاویه دار است. سپتاها در دو نوع متفاوت به صورت عمود بر کورالیت و یکی در میان در شکل متفاوت وجود دارند. قطر کورالیت، معمولاً به ۳-۵ میلی‌متر، می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۲۲).

رنگ: در این گونه، معمولاً سپتاها در کورالیت به رنگ سفید و مرکز کورالیت به رنگ تیره، دیده می‌شوند.

۲۴) *Favia pallida*

این گونه دارای پراکنش وسیعی است و در بسیاری از نقاط خلیج فارس و دنیا می‌توان آن را یافت. کلنی دارای شکل توده‌ای بوده و کورالیت‌ها به صورت گرد می‌باشند. درآبهای کم عمق، کورالیت‌ها دارای فضای بیشتری در مرجان نسبت به گونه مشابه خود در آب‌های عمیق می‌باشند. دیواره کورالیت‌ها دارای فضای زیاد با همسایه خود است؛ البته این فضا نظم ویژه‌ای ندارد. کورالیت‌ها دارای قطر ۵ تا ۱۰ میلیمتر می‌باشند (پیوست دوم، تصویر ۲۳).

رنگ: به رنگ زرد کم رنگ و کرم یا سبز با روزنه سبز یا قهوه‌ای تیره دیده می‌شوند.

۲۵) *Favia maxima*

این گونه دارای کلنی کوچک ولی دارای کورالیت‌های بسیار بزرگ بوده که گاهی قطر کورالیت‌ها به سه سانتی متر نیز می‌توانند برسند. کورالیت‌ها دارای دیواره‌ای هستند که به خوبی در سطح داخلی و خارجی توسعه یافته‌اند. این دیواره‌ها در مرکز کورالیت به شکل یک تاج در می‌آیند که به راحتی قابل مشاهده هستند (پیوست دوم، تصویر ۲۴).

رنگ: کورالیت‌ها به شکل قهوه‌ای یا زرد بوده که دهانه مرکزی به رنگ سبز تیره یا سفید رنگ را دارند.

www.takbook.com

۲۶) *Favia speciosa*

این گونه دارای کلنی توده‌ای می‌باشد. کورالیت‌ها در این گونه دارای شکل فشرده نسبت به هم و گرد می‌باشند. همانند *Favia pallida* کورالیت‌ها درآب‌های کم عمق، فضای بیشتری در سطح مرجان، نسبت به گونه مشابه خود در آب‌های عمیق، دارا می‌باشند. دیواره‌های کورالیت به تعداد زیاد، نازک و منظم دیده می‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۲۵).

رنگ: خاکستری کم رنگ، سبز و قهوه‌ای دیده می‌شوند.

۲۷) *Favia matthaii*

کلنی در این گونه نیز به صورت توده‌ای و گرد دیده می‌شود ولی ممکن است به صورت پوششی نیز مشاهده شود. کورالیت‌ها در این مرجان به صورت گرد و دارای قطر بزرگی بوده و گاهی بزرگ‌تر از ۱۵ میلیمتر ولی معمولاً بین ۹-۱۵ میلی‌متر می‌باشند. سپتاها در کورالیت دارای اندازه بزرگ و مشخص بوده که در انتها به قسمت تاجی شکل ختم می‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۲۶).

رنگ: به رنگ‌های سبز و قهوه‌ای دیده می‌شوند.

۲۸) *Favia veroni*

کلنی این گونه نیز به صورت توده‌ای دیده می‌شود. کورالیت‌ها کاملا در هم قفل شده‌اند؛ البته گاهی کورالیت‌ها به صورت نامنظم در کناره یکدیگر نیز مشاهده می‌شوند. قطر کورالیت‌ها می‌تواند بیش از یک سانتی متر نیز باشند (پیوست دوم، تصویر ۲۷).

رنگ: معمولاً در این گونه، کورالیت به رنگ قهوه‌ای تیره یا قرمز با مرکزی به رنگ سفید دیده می‌شود.

www.takbook.com

۲۹) *Plesiastrea devantieri*

کلنی به صورت صاف به قطر ۱/۵متر یا بیشتر دیده می‌شود. کورالیت‌ها به صورت منظم به قطر ۵-۳ میلیمتر با دیواره‌های مشخص دیده می‌شوند. دیواره‌ها در کورالیت در دو ردیف ۸-۶ تایی به صورت بیرون زده از کورالیت، دیده می‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۲۸).

رنگ: قرمز تا نارنجی، معمولاً با مراکز سبزدیده می‌شوند.

۳۰) *Plesiastrea versipora*

این گونه بسیار شبیه *Plesiastrea devantieri* است و گاهی تشخیص این دو گونه از هم بسیار دشوار است. همانند گونه هم سان خود، کلنی صاف بوده که گاهی طول قطر کلنی در این گونه به سه متر (در عرض‌های جغرافیایی بالاتر) می‌رسد. البته در نواحی استوایی، قطر کلنی کمتر است. در خلیج فارس در جزایر لارک، این گونه در کلنی‌های کوچک‌تر از ۵۰ سانتی متر، مشاهده گردید. کورالیت‌ها معمولاًبه قطر ۴-۲ میلیمتر دیده می‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۲۹).

رنگ: به رنگ‌های زرد، کرم، سبز و قهوه‌ای دیده می‌شوند.

۳۱) *Leptastrea transversa*

کلنی در این گونه به صورت پهن تا پوششی دیده می‌شود. کورالیت‌ها به صورت سریوید[۱] در کنار هم واقع شده‌اند ولی سپتاها در درون کورالیت دارای نظم و فاصله بوده و به هیچ وجه حالت فشرده ندارند. قطر کورالیت‌ها تنها به چند میلی‌متر می‌رسند (پیوست دوم، تصویر ۳۰).

رنگ: معمولاً خاکستری و سبز یا زرد با لبه‌های تیره، مشاهده شده‌اند.

---

[۱] cerioid corallites, کورالیت‌های سرئید به حالتی گفته می‌شود که مرجان دارای دیواره مشترک با سایر کورالیت‌های همسایه باشد.

www.takbook.com

۳۲) *Leptastrea pruinosa*

این گونه فقط توسط (Vajed-Samiei, 2013) در سواحل جزیره لارک ثبت و مشاهده شده است و در سایر نقاط خلیج فارس گزارشی از ثبت این گونه وجود ندارد. کلنی در این گونه تنها به صورت پوششی بر روی مرجان‌های مرده یا بسترهای سخت می‌روید. این گونه نیز دارای کورالیت‌های سرئید است. با وجود کوچک بودن کورالیت (قطر معمولاً ۱-۲ میلیمتر)، سپتاها با دانه‌هایی بر سطح خود مشخص هستند. در این گونه، تانتاکول‌ها در طول روز افراشته شده و به تغذیه مرجان کمک می‌کنند (پیوست دوم، تصویر ۳۱).

رنگ: معمولاً به شکل قهوه‌ای شکلاتی یا صورتی یا سبز با دهانه سفید یا کرم مشخص است.

۳۳) *Leptastrea purpurea*

بسیار شبیه *Leptastrea pruinosa* است و تشخیص این دو گونه، گاهی مشکل است. کلنی نیز تنها به صورت پوششی دیده می‌شود. دارای کورالیت‌های سرئید بوده که اندازه کورالیت‌ها در یک کلنی می‌تواند بسیار متفاوت باشد (بین ۶-۳ میلی متر). سپتاهای کورالیت‌های همسایه کاملا در هم قفل شده‌اند. سپتاها به صورت یک در میان در کورالیت دارای اندازه‌های گوناگونی می‌باشند. اندازه کورالیت‌ها همانند *Leptastrea pruinosa*، می‌تواند بسیار متغیر باشد (پیوست دوم، تصویر ۳۲).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های زرد کم رنگ، یا مایل به سبز یا کرم با کناره‌های تیره دیده می‌شود.

۳۴) *Platygyra daedalea*

تشخیص این گونه حتی در زیر آب بسیار راحت‌تر از سایر گونه‌های دیگر است زیرا دارای شکل منحصر به فردی است. این گونه غالبا در بسیاری از نقاط خلیج فارس یافت

www.takbook.com

می‌شود و دارای پراکنش وسیعی در جهان است. کلنی به صورت توده‌ای یا پوششی، در اندازه‌های بزرگ، می‌تواند رشد کند. گاهی می‌توان کلنی را در اندازه‌هایی بزرگتر از ۲ متر مشاهده کرد. طرز رشد کورالیت‌ها و سپتاها در این گونه طوری است که از قرار گیری کورالیت‌ها در کنار هم شکلی همانند شیارهای به هم پیوستهٔ پیچ و خم دار، بر روی کلنی، بوجود می‌آید (پیوست دوم، تصویر ۳۳).

رنگ: بخش دیواره شیارهای کلنی این گونه به رنگ‌های قهوه‌ای روشن یا تیره و در بخش عمیق، این شیارها به رنگ‌های کرم یا سفید دیده می‌شوند.

۳۵) *Platygyra acuta*

این گونه فقط توسط (Vajed-Samiei *et al*, 2013) در جزیره لارک مشاهده شده است و در سایر نقاط خلیج فارس گزارشی از آن ثبت نشده است. بسیار شبیه *Platygyra daedalea* است. همانند گونه همسان خود دارای رشد توده‌ای بوده و طرز قرار گیری سپتاها، شیارهایی شبیه دره را در طول کلنی به وجود آورده‌اند (پیوست دوم، تصویر ۳۴).

رنگ: دیوارهٔ کورالیت در این گونه به رنگ قهوه‌ای یا خاکستری است که در قسمتی کم رنگ به نظر می‌رسد. با شیارهایی که سبز رنگ است، مشاهده می‌شود.

۳۶) *Leptoria Phrygia*

کلنی در این گونه به صورت توده‌ای یا نیمه توده‌ای دیده می‌شود. گاهی شکل رشد کلنی در این گونه به گونه‌ای است که تشکیل اشکال تیغه مانند یا ستون مانند را می‌دهد. همانند *P. acuta* و *P. daedalea* شکل رشد سپت‌ها طوری است که حالت دره مانند در سطح کلنی دیده می‌شود. در این گونه، در مقایسه با گونه‌های پیشین، سپتاها دارای اندازهٔ همسانی نسبت به یکدیگر هستند (پیوست دوم، تصویر ۳۵).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای، کرم، سبز با دره‌ها و دیواره‌های متفاوت، از نظر رنگ دیده می‌شوند.

www.takbook.com

۳۷) *Cyphastrea serailia*

کلنی در این گونه به صورت توده‌ای دیده می‌شود؛ امّا می‌تواند به صورت سطوح صاف یا حالت پشته مانند خود را نشان دهد. در این گونه، ۱۲ سپتای اولیه و ۱۲ سپتای ثانویه، با اندازه کوچک‌تر، به صورت یک در میان، در داخل کورالیت، وجود دارد (پیوست دوم، تصویر ۳۶).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های خاکستری لکه لکه، با رنگ‌های قهوه‌ای یا کرم دیده می‌شود.

۳۸) *Cyphastrea microphthalma*

کلنی در این گونه به صورت توده‌ای که تبدیل به بخش‌های پهن مانند کوچک می‌شود، مشاهده می‌شود. کورالیت‌ها، بلند و مخروطی هستند و از سطح کلنی به حالت بیرون زده، دیده می‌شوند. کلنی تا جایی که می‌تواند، برای استفاده بیشتر، از نور فشرده می‌شود؛ یا تا جایی که می‌تواند بسته به نور، به حالت پوششی رشد می‌کند تا در معرض بیشتر تماس با نور قرار گیرد. معمولاً دارای ۱۰ سپتای اولیه با سپتاهای ثانویه در کورالیت است (پیوست دوم، تصویر ۳۷).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای کرم یا سبز یا سایر رنگ‌های دیگر دیده می‌شوند. سپتاها به رنگ سفید، در تمامی اشکال وجود دارند.

۳۹) *Cyphastrea chalcidicum*

کلنی در این گونه به صورت توده‌ای یا پوششی است که رشد ستونی نیز ممکن است داشته باشد. کورالیت‌ها معمولاً به صورت مخروطی با سپت‌هایی که حتی در زیر آب نیز مشخص است، دیده می‌شوند، کورالیت‌ها دارای فضای کافی با کورالیت‌های همسایه خود هستند. همانند *C. serailia*، دارای ۱۲ سپتای اولیه و ۱۲ سپتای ثانویه هستند. قطر کورالیت معمولاً کمی بیشتر از یک میلی‌متر است (پیوست دوم، تصویر ۳۸).

www.takbook.com

رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای، یک دست سبز یا کرم با سپتاهای رنگی در کورالیت‌ها، دیده می‌شود.

۴۰) *Goniastrea australensis*

این گونه فقط توسط Maghsoudlou (2008) از خلیج فارس گزارش شده است و در مناطق دیگر، گزارشی از این گونه وجود ندارد. کلنی به صورت نیمه توده‌ای و پوششی دیده می‌شود. همانند *P.acuta* و *daedalea.P* شکل رشد سپتاها طوری است که حالت دره مانند دارند. در گونه *daedalea.P* سپتاها در اشکال دره مانند، حالت تیزتری دارند. در *P.acuta* و *G. australensis* سپتاها ضخیم‌تر به نظر می‌رسند. در *P. acuta* سپتاها بیشترین قطر را به خود اختصاص داده‌اند. با همانندی‌های فراوان، تشخیص آنها بسیار دشوار به نظر می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۳۹).

رنگ: رنگ بسیار متغیر است ولی معمولاً به صورت خاکستری یا قهوه‌ای با دره‌های روشن‌تر مشاهده می‌شود.

۴۱) *Echinopora gemmacea*

کلنی در این گونه به شکل برگی و پهن، گاهی به اشکال شاخه مانند نیز دیده می‌شود. کورالیت‌ها به قطر 3.5-4.5 میلی متر دیده می‌شوند. پلی فرم لوپ (یا زوائد تاجی شکل)، به خوبی توسعه پیدا نکرده‌اند. سپتاهای اولیه در این گونه همیشه ضخیم و بیرون زده به نظر می‌رسند (پیوست دوم، تصویر ۴۰).

رنگ: معمولاً این گونه به خاکستری، گاهی به رنگ سیاه، و حتی سبز نیز دیده می‌شود.

۴۲) *Echinopora grandicula*

این گونه توسط (Vajed-Samiei *et al*, 2013) فقط در جزیره لارک گزارش شده

www.takbook.com

است و در مناطق دیگر خلیج فارس، گزارشی در دست نیست. قطر کلنی در این گونه گاهی به بیشتر از چندین متر نیز می‌رسد. در این گونه، زوائد تاجی مانند یا پالیفرم لپ به خوبی توسعه یافته است (پیوست دوم، تصویر ۴۱).

رنگ: این گونه به رنگ‌های کهربایی، قهوه‌ای کم رنگ یا تیره متمایل به سبز دیده می‌شود.

۴۳) *Echinopora hirsutissima*

این گونه توسط (Vajed-Samiei *et al*, 2013) فقط در جزیره لارک گزارش شده است و در مناطق دیگر خلیج فارس گزارشی در دست نیست. کلنی به صورت نیمه توده‌ای یا پوششی دیده می‌شود. کورالیت‌ها 7-4 میلیمتر قطر دارند و دارای ضخامت زیاد در سپتاها هستند که کاملا در زیر آب، کورالیت‌های بیرون زده با سپتاها مشخص است. فضای بین کورالیت، با زوائد خار مانند، پوشیده شده است (پیوست دوم، تصویر ۴۲).

رنگ: به رنگ‌های سبز، قهوه‌ای با سپتاهای کم رنگ دیده می‌شود.

۴۴) *Goniopora djiboutiensis*

این گونه مرجان از خانواده Poritidae است. اعضاء این خانواده در اقیانوس هند و آرام، از مرجان‌های بسیار مهم منطقه بشمار می‌روند و از دوره ائوسن تا کنون بخش مهمی از مرجان‌های آبسنگ ساز در اجتماع ریف را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات جدیدتر نشان داده است که حتی از دوره کرتاسه نیز این خانواده بخش اعظمی از مرجان‌های آبسنگ ساز را تشکیل می‌داده اند(Riegl *et al*, 2012). در بین خانواده Poritidae، دو گونه از مرجان‌ها دارای مقاومت بیشتری در مقابل شرایط سخت محیطی هستند مانند *Porites harrisoni* و *P. compressa*. این گونه‌ها در خلیج فارس در بیشتر سواحل، چه در بخش جنوبی، و چه در بخش شمالی، سهم عمده‌ای را دارند و بخش مهمی از ریف‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. در مناطقی مثل جزیره قشم (Moradi *et al*, 2014) و خلیج

www.takbook.com

نایبند، این خانواده بیش از پنجاه درصد سهم توده مرجانی را در ریف به خود اختصاص می‌دهند (مشاهدات نگارندگان کتاب) (پیوست دوم، تصویر ۴۳).

در گونه *Goniopora djiboutiensis*، کلنی به صورت توده‌ای و اکثرا نیمه گرد دیده می‌شود. کورالیت‌ها به صورت گرد با دیواره‌های ضخیم با شش پالیفرم لپ[۱] دایمی دیده می‌شوند. قطر کورالیت‌ها گاهی به ۲ میلیمتر می‌رسد. پولیپ‌ها کاملا به حالت فشرده در کنار هم قرار دارند. ویژگی که در مرجان‌های جنس *Goniopora* وجود دارد این است که این جنس دارای تانتاکول‌های دراز و افراشته است. در روز و نیز در شب، حالت افراشته دارند و در اولین نگاه در زیر آب، شبیه توده‌ای از شقایق، به نظر می‌رسند.

رنگ: به صورت کاملا یک‌دست به رنگ‌های آبی، سبز و قهوه‌ای با خال‌های سفید رنگ دیده می‌شوند.

۴۵) *Goniopora columna*

این گونه فقط توسط (Vajed-Samiei *et al*, 2013) از جزیره لارک گزارش شده و در مناطق دیگر خلیج فارس گزارشی از این گونه وجود ندارد. کلنی در این گونه به صورت ستون‌های کوتاه دیده می‌شود. کورالیت این گونه، در قسمت‌های بالایی، اجزا ستون مانند دارای سپتاهای نازک‌تر و حالت نامنظم تر، در مقایسه با سایر کورالیت‌های موجود در بخش‌های دیگر کلنی، از خود نشان می‌دهد. در کل، کورالیت‌ها در این گونه، دارای سپتاهای متراکم‌تر و کوتاه تری هستند. همانند همه جنس‌های Goniopora، این گونه نیز تانتاکول‌های دراز و افراشته، در تمام مدت دارند (پیوست دوم، تصویر ۴۴).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای، سبز یا زرد دیده می‌شوند. دهانه کورالیت‌ها معمولاً به رنگ سفید، دیده می‌شود. البته پولیپ می‌تواند به رنگ‌های گوناگون دیده شود.

---

[۱] paliform lobes تیغه‌های عمودی هستند که در حاشیه داخلی دیواره کورالیت مرجان رشد می‌کنند معمولا طرز قرار گیری این اجزاء طوری است که شبیه تاج در داخل کورالیت مرجان دیده می‌شوند این اجزا نقش مهمی در شناسایی جنس Goniopora دارد.

www.takbook.com

۴۶) *Goniopora lobata*

این گونه فقط توسط Fatemi & Shokri (2001) گزارش شده است و در سایر نقاط خلیج‌فارس گزارشی از این گونه به ثبت نرسیده است. کلنی در این گونه معمولاً به شکل نیم کره یا ستون‌های گرد کوتاه دیده می‌شود. کورالیت‌ها معمولاً به حالت منظم‌تر و دارای زاویه هستند. دارای پولیپ‌های افراشته می‌باشد (پیوست دوم، تصویر ۴۵).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای، سبز یا زرد دیده می‌شود.

۴۷) *Porites compressa*

از نکات جالب توجه پیرامون این گونه این است که می‌توان آن را به صورت لکه‌های بزرگ یافت کرد. در بعضی از مناطق مانند جزیره قشم، می‌توان لکه‌هایی از این گونه را تا طول ۴۰ تا ۶۰ متر مشاهده کرد. البته ذکر این نکته لازم است که صحت وجود *Porites compressa*، مورد بحث بسیاری از اندیشمندان این علم در گسترهٔ خلیج فارس است. بسیاری، این گونه را *P. harrisoni* می‌نامند و معتقدند *P. compressa* در خلیج فارس اصلا وجود ندارد. به هر حال، این کتاب سعی کرده است بر مبنای مستندات گزارش شده، به بررسی گونه‌های موجود بپردازد و همانطور که در اول کتاب در بخش گونه‌های مرجانی در خلیج فارس ذکر شده است، صحت وجود یا عدم وجود قطعی گونه‌ها به مطالعات ژنتیک بستگی دارد و مطالعات مرفولوژیکی، استناد چندان محکمی نیستند.

این گونه می‌تواند به صورت توده‌ای و حتی شاخه‌ای نیز رشد کند. نحوه رشد کلنی، حتی نحوه رشد کورالیت، تحت تاثیر متغیرهای محیطی، می‌تواند بسیار متفاوت باشد. این مسئله از مشکلاتی است که در شناسایی بر مبنای مشخصات مرفولوژیک، تاثیر می‌گذارد (پیوست دوم، تصویر ۴۶).

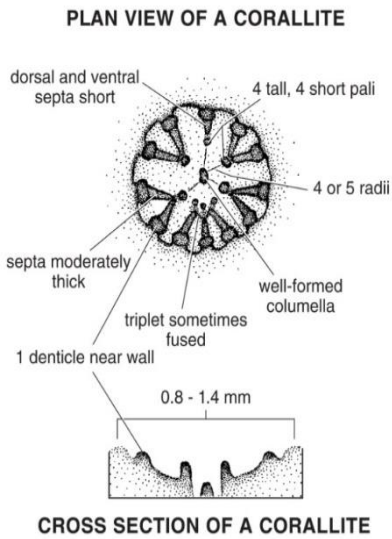
رنگ: بیشتر به رنگ‌های خاکستری تا قهوه‌ای تیره، دیده می‌شود.

www.takbook.com

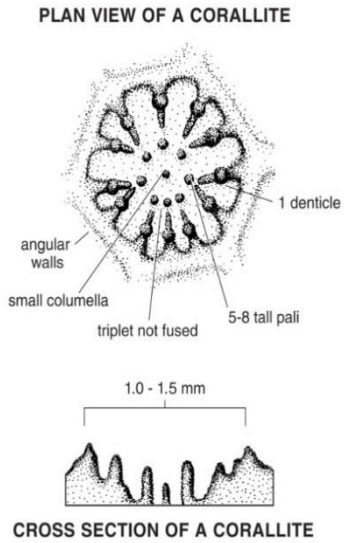
۴۸) *Porites harrisoni*

قطر کلنی در این گونه به کمتر از یک متر می‌رسد. در جزیره لارک می‌توان لکه‌هایی از آن را در اندازه‌های کمتر از ۵۰ سانتی متر مشاهده کرد. شکل رشد آنها دارای تنوع زیادی است. می‌تواند از حالت شاخه‌ای یا توده‌ای شکل، رشد کند. اندازه کورالیت به ندرت به دو میلی متر می‌رسند. شکل ویژه سپتاها در این گونه و سایر جنس‌های Porites، می‌تواند به شناسایی مرفولوژیک آنها کمک کند (پیوست دوم، تصویر ۴۷).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای تیره، صورتی، حتی آبی دیده می‌شود.



نحوه قرارگیری سپتاها
در *Porites compressa*



نحوه قرارگیری سپتاها
در *Porites harrisoni*

۴۹) *Porites lobata*

قطر کلنی در این گونه گاهی به بالای ۴ متر می‌رسد و به شکل‌های نیمه کره‌ای (حالتی شبیه به کلاه) رشد می‌کند. معمولاً رشد این گونه به گونه‌ای است که کلنی را

www.takbook.com

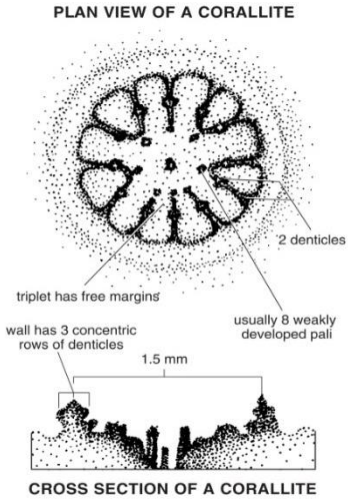
شبیه به میکرواتول می‌کند. در بیشتر نقاط جزومدی که در معرض تماس با بیرون آب هستند می‌توان این گونه را به راحتی مشاهده کرد. در بخش‌های شمال شرقی لارک، لکه‌های این گونه را در حالی که در هنگام جزر و مد، خارج از آب قرار می‌گیرند، می‌توان مشاهده کرد. با این حال، تنها گزارشی که مستند بر وجود این گونه در خلیج فارس است، مطالعات Vajed-Samiei et al (2013) است (پیوست دوم، تصویر ۴۸).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های کرم، قهوه‌ای کم رنگ، آبی یا حتی سبز دیده می‌شود.

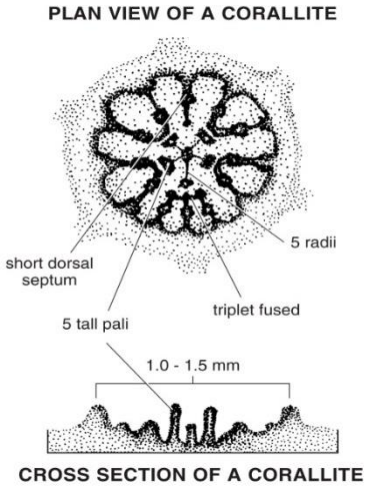
۵۰) *Porites lutea*

اجماع نظر زیادی وجود دارد که لکه‌های بسیار بزرگ جنس *Porites*، در اکثر نقاط خلیج فارس، از این گونه است (رجوع کنید به جدول شماره ۱). با این حال، طبق مراجع مربوط به کلید شناسایی، تفاوت زیادی از نظر مرفولوژیک، در شکل کلنی و کورالیت این گونه با *Porites compressa* وجود دارد. بر طبق مطالعات نگارندگان این نوشتار، حداقل در بخش جزایر ایرانی خلیج فارس، لکه‌های مرجان Porites شباهت چندانی به این گونه ندارند و بیشتر شبیه به*Porites compressa* هستند. با این وجود می‌توان لکه‌های مستقل یک متری و یا کمتر را شبیه به *Porites lutea*، در بسیاری از نقاط جزیره لارک مشاهده کرد (پیوست دوم، تصویر ۴۹).

www.takbook.com



شکل کورالیت
در *Porites lobata*



شکل کورالیت
در *Porites lutea*

۵۱) *Porites solida*

این گونه دارای کلنی‌های توده‌ای (معمولاً به شکل نیم کره) است که ممکن است چندین متر پهنا داشته باشند. معمولاً، سطح کلنی صاف حالت‌های پشته پشته که در سایر گونه‌ها مشاهده می‌شود، فاقد می‌باشد. کورالیت‌ها کمی بزرگ‌تر از سایر گونه‌ها بوده و به راحتی زیر آب قابل مشاهده می‌باشند (پیوست دوم، تصویر ۵۰).

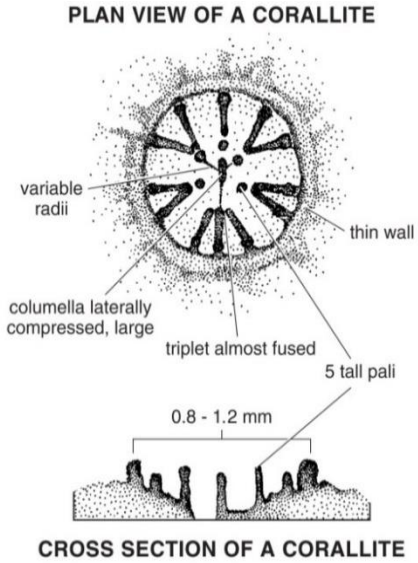
رنگ: معمولاً به رنگ‌های قهوه‌ای یا سبز مایل به زرد دیده می‌شود.

۵۲) *Porites somaliensis*

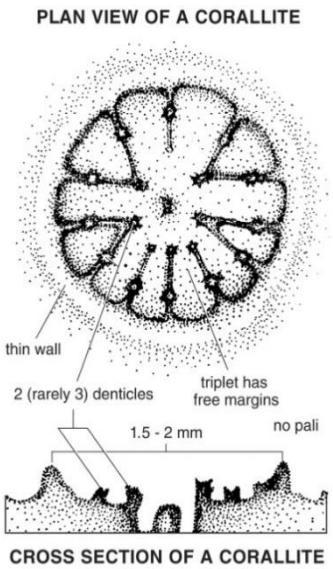
تنها مطالعه‌ای که به وجود این گونه در خلیج فارس اشاره کرده است، مطالعات Vajed-Samiei et al (2013) است. در این گونه نیز کلنی به صورت توده‌ای با پهنای چندین متر دیده می‌شود (پیوست دوم، تصویر ۵۱).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای روشن دیده می‌شود.

www.takbook.com



شکل کورالیت
در *Porites somaliensis*



شکل کورالیت
در *Porites solida*

۵۳) *Stylophora pistillata*

این گونه از خانواده Pocilloporidae است. خانواده Pocilloporidae دارای فروانی بسیاری در اقیانوس هند می‌باشد. امّا در خلیج فارس، مرجان‌های این خانواده به نسبت کمیاب می‌باشند. مرجان گونه *Stylophora pistillata* دارای پراکنش گسترده‌ای در جهان است. در خلیج فارس نیز این گونه در مقایسه با سایر گونه‌های خانواده Pocilloporidae، پراکنش غالب تری دارد (پیوست دوم، تصویر ۵۲).

در این گونه، کلنی به صورت شاخه‌ای دیده می‌شود. امّا برخلاف مرجان‌های شاخ گوزنی، شاخه‌ها در انتها پهن می‌شوند. کورالیت به صورت فررفته در شاخه مرجان است و معمولاً دارای زوائدی شبیه درپوش بوده که در دورتادور کورالیت وجود دارند. معمولاً کورالیت دارای شش سپتای اولیه و شش سپتای ثانویه می‌باشد. این گونه با گونه *Stylophora subseriata* شباهت بسیاری دارد. قطر کورالیت کمتر از یک میلیمتر است.

www.takbook.com

رنگ: به رنگ‌های کرم یکدست، صورتی یا حتی آبی یا سبز دیده می‌شود.

۵۴) *Stylophora subseriata*

تنها مطالعه‌ای که به وجود این گونه در خلیج فارس اشاره کرده است، مطالعات شجاعی و همکاران(۲۰۱۰) است که از جزیره لارک گزارش شده است. کلنی دارای ضخامت کمتری در ساقه‌ها نسبت به *S. pistillata* (معمولاً به قطر کمتر از ۵ میلی متر) بوده و دارای شاخه‌هایی است که به سمت بالا، به صورت نامنظم، رشد می‌کنند. اغلب، فاقد نوک تیز در انتهای شاخه‌ها هستند. کورالیت‌ها به صورت برجسته دیده می‌شوند ولی فاقد زوائد پوششی می‌باشند. شش سپتای اولیه و شش سپتای ثانویه دارند. اغلب تانتاکول‌ها در طول روز افراشته هستند (پیوست دوم، تصویر ۵۳).

رنگ: به رنگ‌های کرم تا صورتی یکدست دیده می‌شوند.

۵۵) *Pocillopora damicornis*

کلنی در این گونه بسیار بزرگ می‌شود و ممکن است به چندین متر برسد. بر روی کلنی، زوائدی مثل زگیل وجود دارد که گاهی دارای اندازه بزرگی می‌شوند. تشخیص آنها از شاخه‌ها دشوار می‌گردد. ساختار کلنی‌ها به گونه‌ای است که در مقابل امواج مقاومت بیشتری دارند (پیوست دوم، تصویر ۵۴).

رنگ: معمولاً، به رنگ‌های قهوه‌ای کم رنگ یا صورتی دیده می‌شوند.

۵۶) *Turbinaria peltata*

این گونه مرجان از خانواده Dendrophylliidae است. اغلب، کلنی در این گونه به صورت برگ‌های پهنی رشد می‌کند. گاهی این برگ‌ها با هم تداخل ایجاد می‌کنند. گاهی این گونه می‌تواند به شکل ستون‌هایی نیز رشد کند که در خلیج فارس بیشتر به حالت پهن و بشقابی شکل می‌توان آن را مشاهده کرد. گاهی تا چندین متر می‌تواند رشد کند؛

www.takbook.com

البته در خلیج‌فارس احتمالا به ندرت بتوان کلنی این مرجان را بیش از ۳۰ سانتی متر مشاهده کرد. کورالیت‌ها به شکل لوله‌هایی فرورفته در مرجان با قطر ۶ میلی متر دیده می‌شوند. پولیپ‌ها بزرگ هستند و در زیر آب نیز قابل تشخیص هستند و تانتاکول‌ها در طول روز نیز افراشته هستند (پیوست دوم، تصویر ۵۵).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای تا خاکستری دیده می‌شود.

۵۷) *Turbinaria reniformis*

در این گونه نیز کلنی به شکل پهن، شبیه برگ، رشد می‌کند که گاهی این برگ‌ها طوری کنار هم چیدمان می‌شوند که شکلی همانند یک کلم بزرگ، به کلنی می‌دهند. کورالیت‌ها دارای فضای بیشتری نسبت به هم هستند و دیواره کورالیت‌ها ضخیم و کورالیت‌ها به حالت فرورفته در کلنی وجود دارند. قطر کورالیت‌ها به قطر ۲/۵ میلی‌متر هستند (پیوست دوم، تصویر ۵۶).

رنگ: به رنگ‌های زرد مایل به سبز با کنارهای کم رنگ در کلنی دیده می‌شوند.

۵۸) *Siderastrea savignyana*

این گونه از خانواده Siderastreidae است. کلنی به صورت پوششی دیده می‌شود و گاهی قطر کلنی می‌تواند به یک متر برسد. کورالیت‌ها به صورت چند ضلعی به ۲-۴ میلیمتر دیده می‌شوند. کورالیت‌ها دارای ۳۰ تا ۳۵ سپتا بوده و گاهی میان حدود ۱۰ الی ۱۵ عدد از سپتاها، می‌تواند به ستون محوری که در میان کورالیت وجود دارد، متصل شود (پیوست دوم، تصویر ۵۷).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای تیره با مرکز تیره در کورالیت و دیواره‌های سفید دیده می‌شود.

www.takbook.com

۵۹) *Coscinaraea monile*

کلنی در این گونه معمولاً به صورت پوششی یا گنبدی دیده می‌شود. کورالیت دارای سپتاهای بزرگ است که باعث می‌شود قطر آن به بیشتر از ۷ میلی متر برسد. چیدمان سپتاها طوری است که حالت دره مانند بر روی کلنی تشکیل می‌دهند (پیوست دوم، تصویر ۵۸).

رنگ: معمولاً، به رنگ خاکستری ولی گاهی قهوه‌ای مایل به زرد یا قهوه‌ای لکه لکه، دیده می‌شود.

۶۰) *Coscinaraea columna*

کلنی به صورت پوششی یا توده‌ای دیده می‌شود که گاهی می‌تواند به صورت پشته‌های کوچک نیز رشد کند. دارای کورالیت‌هایی به قطر یک سانتی متری است. سپتاها در کورالیت گاهی بهم متصل می‌شوند. کلنی، دره مانند دیده می‌شود (پیوست دوم، تصویر ۵۹).

رنگ: معمولاً به رنگ‌های خاکستری یا قهوه‌ای و یا زرد روشن نیز دیده می‌شود.

۶۱) *Anomastraea irregularis*

کلنی به صورت نیمه توده‌ای یا صاف دیده می‌شود. کورالیت‌ها دارای دیواره مشترک با کورالیت‌های همسایه هستند که این حالت گاهی شکل دره مانند به آنها می‌دهد. سپتاها در کورالیت‌ها، نازک بوده و حاشیه‌های نامشخص با بقیه کورالیت‌ها دارد. تانتاکول‌ها در طول روز افراشته هستند (پیوست دوم، تصویر ۶۰).

رنگ: به رنگ‌های کرم، آبی مایل به خاکستری دیده می‌شود. پولیپ‌ها، به رنگ قهوه‌ای یا تیره مشخص‌اند.

۶۲) *Psammocora digitata*

این گونه فقط توسط شجاعی و همکاران(۲۰۱۰) در جزیره لارک گزارش شده است و در مناطق دیگر خلیج فارس گزارشی از مشاهده این گونه وجود ندارد. کلنی، ترکیبی از

www.takbook.com

اشکال بشقابی و ستونی شکل است. کورالیت کم عمق و کوچک بوده و چیدمان سپتاها به گونه‌ای است که کورالیت شبیه گلبرگ به نظر می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۶۱).

رنگ: به رنگ‌های صورتی یا خاکستری و حتی قهوه‌ای دیده می‌شود.

۶۳) *Psammocora contigua*

در این گونه، شکل کلنی می‌تواند ترکیبی از اشکال پهن برگی، ستونی، شاخه‌های پهن و اشکال بادکنکی مانند باشد. گاهی اشکال بادکنکی و گرد، زندگی آزاد و مستقل از کلنی را انتخاب می‌کنند. کوالیت نیز حالت گلبرگی شکل، به دلیل اتصال سپتاها بهم دیگر، از خود نشان می‌دهد (پیوست دوم، تصویر ۶۲).

رنگ: به رنگ‌های خاکستری و قهوه‌ای کم رنگ دیده می‌شود.

۶۴) *Psammocora stellata*

این گونه فقط توسط (Vajed-Samiei *et al*, 2013) در خلیج فارس گزارش شده است و در مناطق دیگر خلیج فارس، گزارشی از این گونه وجود ندارد. کلنی به صورت توده‌ای و شاخه‌ای با پایه پوششی دیده می‌شود. شکل سپتاها به گونه‌ای است که حالت گلبرگی شکل کورالیت به خوبی مشخص است (پیوست دوم، تصویر ۶۳).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای، خاکستری و ارغوانی دیده می‌شود.

۶۵) *Pseudosiderastrea tayami*

این گونه فقط توسط امین راد و آذین(۲۰۱۳) در خلیج چابهار گزارش شده است و در مناطق دیگر خلیج فارس گزارشی از این گونه وجود ندارد. کلنی می‌تواند به صورت پوششی یا حالت تپه مانند کوچک، رشد نماید. معمولاً، به ندرت بالاتر از ۱۶ سانتی می‌رسد. کورالیت‌ها به صورت زاویه دار و دارای دیواره مشترک با کورالیت همسایه است و قطر کورالیت به ۳-۶ میلی متر می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۶۴).

www.takbook.com

رنگ: به رنگ‌های خاکستری کم رنگ با دیواره‌های سفید رنگ در کورالیت دیده می‌شود.

۶۶) *Psammocora profundacella*

این گونه فقط توسط (Vajed-Samiei *et al*, 2013) در خلیج فارس گزارش شده است و در مناطق دیگر خلیج فارس گزارشی از این گونه وجود ندارد. کلنی به صورت توده‌ای یا پهن برگی شکل دیده می‌شود. کورالیت‌ها، طوری چیدمان شده‌اند که شبیه دره‌های کوچک در سطح کلنی دیده می‌شوند (پیوست دوم، تصویر ۶۵).

رنگ: به رنگ‌های خاکستری یکدست یا کرم و حتی قهوه‌ای دیده می‌شود. کورالیت‌ها با مرکز تیره مشخص‌اند.

۶۷) *Hydnophora pilosa*

این گونه از خانواده Merulinidae است که تنها گزارش ثبت شده از خلیج فارس از مشاهده این گونه، مربوط به (Vajed-Samiei *et al*, 2013) است. تشکیل دو نوع متفاوت از کلنی را می‌دهد. در کلنی‌های کوچک، بیشتر به صورت پوششی، برگی یا نیمه توده‌ای با ستون‌هایی کوچک دیده می‌شود ولی در کلنی‌های بزرگ، بیشتر به شکل نیم کره با شاخه‌های به هم فشرده شده، مشاهده می‌گردد. کورالیت‌ها دارای سپتاهای مشترک با کورالیت‌های همسایه می‌باشند. حالت دره مانند در سطح کلنی به دلیل شکل ویژه کورالیت‌ها، به خوبی مشخص است. تانتاکول‌ها در این گونه، چه در شب، چه در روز، کشیده هستند (پیوست دوم، تصویر ۶۶).

رنگ: پولیپ‌ها به رنگ‌های قهوه‌ای، تیره یا آبی دیده می‌شوند و تانتاکول‌ها به رنگ سفید، مشخص هستند.

www.takbook.com

۶۸) *Symphyllia recta*

این گونه، از خانواده Mussidae می‌باشد و تنها گزارش ثبت شده از مشاهده آن در خلیج فارس مربوط به گزارش (Vajed-Samiei *et al*, 2013) است، در سایر نقاط خلیج فارس، گزارشی از این گونه وجود ندارد. کلنی در این گونه، به اشکال نیم کره تا پهن دیده می‌شود. شکل قرار گیری سپتاها در کورالیت منجر به ایجاد دره‌هایی به پهنای ۱۲-۱۵ میلی متر شده است. دیواره گوشتی پولیپ، یک ظاهر گوشتی ضخیم دارد (پیوست دوم، تصویر ۶۷).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای، خاکستری یا سبز با دره‌های رنگی متفاوت دیده می‌شود.

۶۹) *Symphyllia radians*

تنها گزارش ثبت شده از مشاهده این گونه در خلیج فارس مربوط به گزارش (Vajed-Samiei *et al*, 2013) است و در سایر نقاط خلیج فارس، گزارشی از این گونه وجود ندارد. از نظر ظاهری و شکل کلنی، این گونه بسیار شبیه به *S. recta* است و شاید تنها تفاوت مهم، در اندازهٔ دره‌های موجود در آن باشد که پهنای دره‌ها در این گونه به ۲۰-۲۵ میلی متر می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۶۸).

رنگ: کلنی به رنگ‌های سرخ، خاکستری یا حتی سبز با دره‌های متفاوت از نظر رنگی دیده می‌شود.

۷۰) *Heterocyathus aequicostatus*

این گونه از خانواده Caryophylliidae است. تنها مشاهده ثبت شده از آن مربوط به مطالعه (Maghsoudlou, 2008) است و در سایر نقاط خلیج فارس موردی از مشاهده این گونه ثبت نشده است. ویژگی‌های آن کاملا متفاوت از تمام گونه‌های توضیح داده شده است. گاهی دارای زوزانتلا است و در پاره‌ای از زمان‌ها فاقد زوزانتلا است. پولیپ دارای زندگی آزاد بوده و تشکیل کلنی نمی‌دهد. آنها یک رابطه غذایی با کرم *Aspidosiphon*

www.takbook.com

corallicola دارند. تانتاکول‌ها فقط در طول شب افراشته هستند. این گونه فقط یک کورالیت دارد. اندازه کل توده مرجانی به یک سانتی متر می‌رسد (پیوست دوم، تصویر ۶۹).

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای کم رنگ با دهانه متمایل به سبز دیده می‌شود.

۷۱) *Pavona diffluens*

این گونه از خانواده Agariciidae است. کلنی به شکل توده‌ای دیده می‌شود. کورالیت‌ها در این گونه عمیق می‌باشند. سپتاها کاملا مشترک با کورالیت‌های همسایه بوده و سپتاهای برآمده، کاملا از سطح کلنی، مشخص می‌باشند (پیوست دوم، تصویر ۷۰).

رنگ: به رنگ قهوه‌ای مایل به خاکستری دیده می‌شود.

۷۲) *Pavona frondifera*

تنها مشاهده ثبت شده از این گونه به مطالعه (Maghsoudlou, 2008) مربوط می‌باشد و در سایر نقاط خلیج فارس موردی از مشاهده این گونه ثبت نشده است. کلنی به صورت برگ‌های کوچک پهن که به صورت پیچشی و نامنظم در کنار هم وجود دارند، دیده می‌شود. این برگ‌ها معمولاً دارای یک تقارن شعاعی می‌باشند. کورالیت‌ها با دره‌های کم عمق، به موزات حاشیه برگ‌ها قرار گرفته‌اند (پیوست دوم، تصویر ۷۱).

رنگ: معمولاً قهوه‌ای تیره یا کم رنگ دیده می‌شود.

۷۳) *Pavona decussata*

کلنی به اشکال پهن و توده‌ای برگی شکل، دیده می‌شود. حالت تقارن و نظمی که در *P. frondifera* وجود دارد، در بخش‌های برگی شکل کلنی، در این گونه دیده نمی‌شود. کورالیت‌ها به صورت نامنظم ولی عمیق و گاهی به موازات حاشیه بخش‌های برگی شکل یا به صورت شعاعی قرار می‌گیرند (پیوست دوم، تصویر ۷۲).

www.takbook.com

رنگ: به رنگ‌های قهوه‌ای کرم و یا زرد متمایل به سبز دیده می‌شود.

www.takbook.com

فصل چهارم

کاربرد مرجان‌ها در مهندسی بافت

دکتر ایرج نبی‌پور

www.takbook.com

www.takbook.com

مهندسی بافت

مهندسی بافت یک علم میان‌رشته‌ای است که از گسترهٔ توسعه مواد زیستی، تکامل یافته است و به ترکیب داربست‌ها، سلول‌ها و ملکول‌های فعال زیستی در قالب بافت‌های عملکردی، می‌پردازد. هدف مهندسی بافت از هم‌گذاری این اجزاء عملکردی به گونه‌ای است که آن‌ها بتوانند بافت‌های آسیب دیده و یا یک عضو را به صورت کامل به حالت نخستین بازگردانده، یا پا برجا کرده و یا اینکه بهبود ببخشند. مهندسی بافت پوست و غضروف از نمونه‌هایی هستند که هم اکنون مورد تأیید FDA آمریکا قرار گرفته‌اند(۱).

رهیافت‌های کنونی برای ترمیم استخوان‌های آسیب دیده و تغییریافته، به ویژه در تروما و یا تخریب استخوان‌ها، استفاده از پیوند بافت خودی(autograft) و یا پیوند بافت غیرخودی(allograft) است. پیوند بافت خودی، استاندارد طلایی برای ترمیم استخوان در شرایط بالینی است زیرا این شیوه توان القاء استخوانی(Osteoinductive) را دارا بوده و فاقد خطر انتقال بیماری می‌باشد امّا نقطه ضعف آن، نیاز به وجود انجام جراحی ثانویه، محدودیت‌های فرد اهداءکننده، و بیماری‌زایی مکان اهداء می‌باشد. هر چند که پیوند بافت غیرخودی شیوه‌ای جایگزین است امّا رّد ایمنی و خطر انتقال بیماری، از محدودیت‌های عمدهٔ این رهیافت می‌باشند. پدیداری مهندسی بافت و دانش نوین پزشکی بازآفرینشی، راه توسعه بافت پیوندی زنده را برای ترمیم استخوان هموار نموده است. در این رهیافت، گونه‌های ویژه‌ای از سلول‌ها، فاکتورهای رشد(Growth Factors) و داربست‌های پرمنفذ سه بعدی، به تنهایی و یا در ترکیب با یکدیگر، به کار برده می‌شوند(۲).

در رهیافت مهندسی بافت، برخلاف رهیافت کاربرد مواد زیستی(Biomaterial)، ما نیاز به درک اصول شکل‌گیری و بازآفرینش بافت‌ها داریم تا بتوانیم بافت‌های عملکردی

www.takbook.com

جدیدی را القاء نماییم. معنای این هدف، فراتر از کاشت اجزاء منفرد جدید است. پژوهشگران، امید دارند که با ترکیب دانش فیزیک، شیمی، مهندسی، علوم مواد، بیولوژی و پزشکی در شیوه‌ای یکپارچه، به این هدف دست یابند.

برای مثال، ببینیم که برای رشد یک استخوان جدید به چه چیزهایی نیاز داریم؟ از منظر بیولوژیک، ما به سلول‌ها، ماتریکس خارج سلولی، ارتباطات میان سلولی، برهم کنش‌های ماتریکس-سلول و عوامل رشد نیاز داریم. با این وجود، این اجزاء گفته شده، همهٔ آن چیزهایی را که برای مهندسی بافت استخوان نیاز دارد فراهم نمی‌آورند. استخوان دارای سیمایی سه بعدی است و سلول‌ها در شرایط آزمایشگاهی به شیوه‌ای سه بعدی رشد نمی‌کنند و بنابراین می‌بایست از یک ساختار سه بعدی (یک داربست) استفاده کرد که ساختار استخوان را تقلید نموده تا بر این اساس بتوان بافت جدید را در شیوه‌ای سه بعدی، رشد داد. برای به دست آوردن نتیجهٔ رضایت بخش، این اجزاء سه گانه را بایستی به گونه‌ای فضایی و زمانی سامان داد(۳).

داربست‌ها

هدف عمده در طراحی داربست‌ها آن است که ساختارهایی تولید شوند تا بتوان ریز محیط زیست واقعی که ماتریکس خارج سلولی از خود نشان می‌دهد را خلق کنند. از این رو، این ساختارها، بایستی ترکیبی از ویژگی‌های بیوفیزیکی، بیومکانیکی و بیوشیمیایی را که فعالیت‌های تکثیر، تمایز و بقاء سلول‌ها را هدایت می‌نمایند از خود نمایان دهند. یک ماده زیستی ایده آل برای کاربردهای بالینی می‌بایست ملزوماتی را از خود بیان دارد. نخست آنکه ویژگی‌های زیست پذیری و زیست تجزیه پذیری مورد نیاز بوده که این ویژگی‌ها اجازهٔ جاگزینی داربست را با پروتئین‌هایی که توسط سلول‌های فرد گیرنده و یا سلول‌های کاشت شده، سنتز و ترشح می‌شوند را می‌دهند. افزون بر این، مواد می‌بایست از دیدگاه بالینی نیز گیرا و پذیرا باشند تا پاسخ ایمنی و التهابی به حداقل رسیده و از آسیب بافتی بیشتر جلوگیری شود. همچنین، محصولات تخریبی سلولی برای دیگر

www.takbook.com

سلول‌ها توکسیک هستند و بسیار مهم است که مواد داربست‌ها اجازه دهند که ماکروفاژهای میزبان بتوانند به داربست آمده و مواد آوار سلولی را برداشت کنند. در نهایت، تولید، خالص سازی و فرآوری مواد مورد استفاده در داربست‌ها را باید بتوان به سادگی، در مقیاس‌های معین، به انجام رساند(۴).

داربست‌ها، نقش مهمی را در فرآهم آوردن ماتریکس خارج سلولی حمایت کننده که بر روی آن سلول‌های میزبان یا سلول‌های کاشت شده بتوانند فعالیت طبیعی، رشد و تمایز خود را به انجام رسانند، ایفا می‌نمایند. سه دسته مواد زیست تجزیه پذیر وجود دارند که به صورت گسترده مورد مطالعه قرار گرفته‌اند و در بالین استفاده شده‌اند. این سه دسته شامل پلی مرها، سرامیک‌ها و فلزات هستند. تاکنون، پلی مرهای زیست تجزیه پذیر مانند پلی(اسید لاکتیک) (PLA)، پلی (اسید گلیکولیک) (PGA) و کو پلی مرهای آنها، پلی (لاکتاید-کو-گلیکولیک) (PLGA) و نیز سرامیک‌هایی مانند هیدروکسی آپاتیت، مورد توجه فراوان جهت ساخت داربست برای مصارف ترمیم اسکلتی-عضلانی، قرار گرفته‌اند (۲و۵).

داربست، نقش ماتریکس موقتی را برای تکثیر و نهشت ماتریکس خارج سلولی و در نتیجه رشد درون زاد استخوان، بازی می‌کند تا در نهایت بافت استخوانی جدید به صورت کامل به حال اول خود باز گردد و بازآفرینش شود. افزون بر این، داربست‌ها نیز به عنوان یک قالب برای عروق زایی بافت جدید عمل می‌کنند و همچنین به شکل فعال در فرایند بازآفرینش از طریق آزادسازی فاکتورهای تمایز و رشد موجود در ساختار خود، مشارکت می‌نمایند. بر این اساس، داربست‌ها در مهندسی بافت، جزء ضروری بوده و برای اینکه این نقش حیاتی خود را ایفا نمایند می‌بایست ویژگی‌های مناسبی نیز دارا باشند که به پاره‌ای از این ویژگی‌های داربست‌های استخوانی اشاره می‌کنیم:

نخستین ویژگی پس از زیست پذیری و زیست تجزیه پذیری، وجود ویژگی پرمنفذی(Porosity) است. داربست باید دارای منفذ باز و هندسهٔ به هم پیوسته در ساختار پر از منفذ با نسبت سطح به حجم گسترده بوده که اجازهٔ رشد درونی سلول را فراهم

www.takbook.com

آورده و انتشار سلولی را به صورت دقیق در سرتاسر ساختار منفذدار امکان‌پذیر کرده و بتواند رگ زایی جدید را از بافت پیرامونی تسهیل نماید. افزون بر این، داربست‌ها باید توان اجازهٔ رشد به درون(in growth) شبکهٔ مویرگی را فراهم آورند. دومین ویژگی دیگر اندازهٔ منفذ است که در مهندسی بافت استخوانی، اندازهٔ منفذ باید بین ۲۰۰ تا ۹۰۰ میکرومتر باشد. امّا هولی و همکاران، مفهومی دیگر را بنیان گذاشتند. آنها بر این باور هستند که ساختار استخوانی زمانی شکل می‌گیرد که ما یک ماتریکس موقتی سه بعدی با ساختار پرمنفذ با منافذ بزرگ به هم پیوسته با اندازهٔ ۱/۲ تا ۲ میلی متر داشته باشیم(۶). هر چند که با این رهیافت ما مزیت داشتن سطح به حجم بالایی را داریم که می‌تواند رشد به درون سلول‌ها، بافت و عروق خونی را تسهیل نماید ولی بر ویژگی‌های مکانیکی آن اثر ژرفی می‌گذارد و نمی‌توان از این داربست در مکان‌هایی که نیاز به مکانیک بالایی دارند، استفاده نمود.

ویژگی دیگر، خصوصیات سطحی است. خصوصیات سطحی، چه شیمیایی و چه توپوگرافیک، می‌توانند اتصال سلولی و تکثیر آن‌ها را کنترل و بر آن‌ها اثر گذارند. خصوصیات شیمیایی به توانایی سلول‌ها به چسبیدن به مواد و نیز به برهم کنش‌های پروتئین با مواد بستگی دارند. خصوصیات توپوگرافی را می‌توان در مفهوم رسانش استخوانی(Osteoconduction) جستجو نمود. رسانش استخوانی، فرایندی است که سلول‌های زایای استخوان Osteogenic به سطح داربست از طریق لخته فیبرینی (که درست هنگام کاشت مواد روی می‌دهد) مهاجرت می‌کنند. این مهاجرت سلول‌های زایندهٔ استخوان از طریق لخته موجب توکشیدگی ماتریکس فیبرینی موقتی می‌شود. از این قرار، بسیار حائز اهمیت است که ماتریکس فیبرینی به داربست محکم چسبیده باشد زیرا زمانی که سلول‌های زایندهٔ سلول آغاز به مهاجرت می‌نمایند، فیبرین می‌تواند از داربست به دلیل فشردگی زخم، جدا شود. پیش از این نشان داده شده بود که یک سطح خشن تر، به نسبت یک سطح صاف، بهتر می‌تواند ماتریکس فیبرینی را در خود نگه دارد و در نتیجه مهاجرت سلول‌های زایندهٔ استخوان را به سطح مواد تسهیل نماید.

www.takbook.com

ویژگی مهم دیگر وجود فرایند القایی استخوانی (Osteoinduction) است. پدیدهٔ القایی استخوانی، فرایندی است که توسط آن سلول‌های مزانشیمی و سلول‌های دودمانی استخوانی(Osteoprogenitor) به مکان جوش خوردن استخوان فراخوانده شده و در مسیرهای تمایز استخوان زایی تحریک می‌شوند. در زمانی که بخشی از استخوان که باید بازساخت شود بزرگ باشد، این پدیدهٔ طبیعی القایی استخوان همراه با وجود داربست زیست تجزیه پذیر، ممکن است کفایت نکند و از این رو، داربست خود نیز می‌بایست دارای توان القایی استخوان باشد(۳). به صورت چکیده، داربست‌های کنونی خود ممکن است منبعی از سلول‌های دودمانی باشند که به ویژگی زایش استخوانی(Osteogenesis) مشهور است و ممکن است ساخت سلول‌های دودمانی استخوانی را از بافت‌های پیرامونی القا نمایند (پدیدهٔ القایی استخوانی) و یا چارچوب مناسبی را برای رشد به درون سلول‌های استخوانی و عروقی مهیا نمایند (پدیدهٔ رسانش استخوانی) (۷).

سلول‌ها

لازمهٔ اساسی برای سلول‌ها در مهندسی بافت آن است که سلول‌ها باید بتوانند خود را در بافت مورد نظر یکپارچه ساخته و آغاز به ترشح فاکتورهای رشد و سیتوکین‌هایی نمایند تا برنامهٔ بازآفرینش بافت درونی را فعال سازند. نخستین رهیافت در تکنیک‌های مهندسی بافت بر پایهٔ سلول، کاربرد سلول‌های دودمانی (Progenitor) بومی است.

کاربرد سلول‌های بنیادی جنینی یا بالغ، به عنوان منابع نوید دهنده برای دریافت مقادیر مورد نیاز تیپ‌های سلولی مورد نظر، خود را نشان داده است. سلول‌ها بنیادی جنینی، سلول‌های پرتوان (Pluripotent) هستند که می‌توانند به هر لاین سلولی تمایز یابند ولی کاربرد آن‌ها به دلایل مورد بحث اخلاقی و پتانسیل آنها برای تولید تراتوما، بسیار محدود شده است. از سوی دیگر، سلول‌های بنیادی بالغ، سلول‌های با توان چندگانه (Multipotent) هستند و از این رو توانایی محدودتری را برای تمایز (به نسبت سلول‌های بنیادی جنینی) دارند. با این وجود، آن‌ها بر پاره‌ای از مسائل توأم با سلول‌های بنیادی

www.takbook.com

جنینی غالب آمده و برای مهندسی بافت بسیار مناسب‌تر هستند. برای مثال، سلول‌های بنیادی بالغ و بافت‌های با منشاء آن‌ها اینگونه تصور می‌شود که شانس پس زدن کمتری را بعد از پیوند دارند. پژوهش‌ها بر روی سلول‌های بنیادی بالغ، با شتاب، رو به پیشرفت است و این سلول‌ها از بافت‌های گوناگون مانند مغز استخوان، ماهیچه، بافت چربی و بند ناف جدا شده‌اند (۴).

منبع جایگزین دیگر سلول در مهندسی بافت، به کارگیری سلول‌های بنیادی پرتوان القاء شده (iPSCs) است. در نوامبر ۲۰۰۷ میلادی، یک تیم ژاپنی تحت هدایت شینیا یاماناکا و یک تیم آمریکایی به سرپرستی جیمز تامپسون، گزارش کردند که به صورت موفقیت آمیزی، سلول‌های بنیادی شبه جنینی را از سلول‌های پوست انسان بالغ آفریده‌اند و آن را سلول‌های بنیادی پرتوان القاء شده، نامیدند. نتایج آن‌ها در مجلات سلول و ساینس (به ترتیب) به چاپ رسید و دروازهٔ انقلاب در پژوهش‌های پزشکی بازآفرینشی را گشایش نمودند(۸).

در اصل، iPSCs، سلول‌های سوماتیکی هستند که توسط مجموعه‌ای از فاکتورهای بیان ژنی تعریف شده، به حالت پرتوان، برنامه ریزی شده‌اند. مزیت‌های برجستهٔ این سلول‌ها، داشتن ویژگی خودی (Autologous)، ظرفیت تمایز، نیرومندی و سادگی برنامه ریزی آن‌ها است. امّا مانع سد راه در به کارگیری گستردهٔ آن‌ها در بخش بالینی، نبود شناخت کامل از مکانیسم‌های ملکولی در زمینهٔ باز برنامه نویسی آن‌ها است (۴). در مهندسی بافت به سلول‌های بنیادی مزانشیمی (MSC)[1] که در مغز استخوان ساکن هستند، توجه بسیار زیادی شده است(۳). این سلول‌ها دارای توان چندگانه بوده و هدف فاکتورهای رشد مانند (BMP)[2] قرار می‌گیرند.

سلول‌های بنیادی مزانشیمی به صورت موفقیت آمیزی از موش، رات، خرگوش، سگ و انسان جدا شده‌اند و می‌توان آن‌ها را به آسانی در شرایط آزمایشگاهی کشت و تکثیر

[1] Mesenchymal Stem Cells
[2] Bone Morphogenetic Proteins (BMP)

www.takbook.com

داد. این سلول‌ها دارای ظرفیت تمایز به سلول‌های استئوبلاست را در بعضی از شرایط از خود نشان می‌دهند. پتانسیل استئوژنیک سلول‌های بنیادی مزانشیمی، با ساخت استخوان پس از پیوند در شرایط in vivo، تعریف شده است. برای مثال، با ترکیب MSC با یک داربست سرامیکی کلسیم فسفات دو فازی، پژوهشگران توانستند، بهبودی نقص قابل ملاحظهٔ بال استخوان ایلیاک بزغاله را در شرایط آزمایشگاهی مشاهده نمایند(۹).

فاکتورهای رشد

فاکتورهای رشد، سیتوکین‌هایی هستند که توسط بسیاری از تیپ‌های سلولی ترشح می‌شوند و به عنوان ملکول‌های پیام رسان نقش ایفا می‌کنند. اتصال یک فاکتور رشد به گیرندهٔ آن، موجب آغاز پیام رسانی درون سلولی می‌شود که خود ایجاد رویدادهای گوناگونی همچون ارتقاء یا پیشگیری از اتصال سلولی، تکثیر، مهاجرت و تمایز توسط کاهش ساخت یا افزایش ساخت پروتئین‌ها، دیگر فاکتورهای رشد و گیرنده‌ها می‌کند. از این رو، فاکتورهای رشد، ملکول‌هایی ضروری برای ساخت بافت بوده و نقش حیاتی را در مهندسی بافت به عهده دارند. مانند دیگر بافت‌ها، استخوان، دارای فاکتورهای رشد فراوانی می‌باشد مانند BMP، TGF-B، FGFs، IGF I/II و PDGF که این فاکتورهای رشد به صورت واقع بینانه‌ای در مهندسی بافت استخوانی معرفی شده‌اند (۳). از همه معروف‌تر BMPs هستند که به عنوان عوامل درمانی در افزایش ترمیم استخوانی مطرح شده‌اند. هنگامی که BMPs به گیرندهٔ سلول هدف اتصال می‌یابند، یک سامانه رسانش پیامی درون سلولی، فعال می‌شود که تولید پاسخ ویژه‌ای را پس از رسیدن به هسته از خود نشان می‌دهد. rhBMP-2، نقش مهمی را در رشد سلولی و در تحریک تمایز سلول‌های مزانشیمی، به سوی لاین استئوکوندروبلاستی، بازی می‌کند. این فاکتور رشد، خواص القایی استخوانی نیرومندی را دارا است. در یک مجموعه از مطالعات پیش بالینی، کارآیی rhBMP-2 در ترمیم نقص استخوانی، مورد ارزیابی قرار گرفت(۹).

www.takbook.com

فاکتورهای رشد به عنوان ملکول‌های پیام دهنده در مهندسی بافت را می‌توان به محیط کشت، به صورت فاکتورهای محلول، اضافه کرد و یا آن‌ها را به صورت بر هم کنش‌های کووالانتی و غیرکووالانتی، به داربست اتصال داد. در شرایط طبیعی، این ملکول‌های زیستی، به سرعت توسط آنزیم‌های ترشح شدهٔ سلولی، غیرفعال و مورد تجزیه قرار می‌گیرند و از این رو دارای نیمه عمر کمی هستند. بنابراین، برای کاربرد بالینی، اتصال فاکتورهای رشد به ماتریکس به حفاظت آن‌ها از تخریب کمک می‌نماید. در نتیجه، آزادسازی کنترل شدهٔ فاکتورهای رشد گوناگون از داربست‌ها، این اجازه را می‌دهد که یک شرایط تجدید شونده دائم ایجاد شده و در این شرایط، این ملکول‌ها بتوانند بازآفرینی و ساخت بافت‌ها را هدایت نمایند(۴).

نقش مرجان‌ها در مهندسی بافت استخوان

درمان تأخیر در جوش خوردن (Union)، ناجور جوش خوردن (Malunion) و عدم جوش خوردن استخوان‌ها در ارتوپدی، یک چالش بزرگ است و در بسیاری از موارد نیاز است که از اقدامات جانبی مانند پیوند استخوان یا جایگزین پیوند استخوان استفاده کرد. هر چند که پیوند استخوان اتولوگ به عنوان استاندارد طلایی در تحریک ترمیم و بازآفرینش استخوان مطرح است ولی دسترسی به آن محدود بوده و اعمال لازم برای کشت مواد نیز با عوارضی توأم می‌باشند؛ از این رو، جایگزین‌های پیوند استخوان در ارتوپدی نقش بسیار برجسته‌ای را ایفا می‌کنند(۱۰).

بسیاری از مواد زیستی با منشاء دریایی به عنوان جایگزین پیوند استخوان مطرح شده‌اند؛ مانند مرجان‌ها، کیتوزان، اسکلت اسفنج‌ها و غیره. شیروف (Chiroff) و همکاران وی برای نخستین بار پی بردند که مرجان‌ها (که از بی‌مهرگان هستند) اسکلتی دارند که از لحاظ ساختار همانند استخوان کورتیکال و همچنین استخوان اسفنجی می‌باشد(۱۳). این ساختار با منافذ متعدد و به هم پیوسته معمولاً از کربنات کلسیم، به صورت کلسیت(Calcite) و آراگونیت(Aragonite) ساخته شده است که این مواد چیزی به جز

www.takbook.com

اشکال کریستالی کربنات کلسیم و مواد سیلیکاتی نمی‌باشند. در کاربردهای زیست پزشکی، کلسیت و آراگونیت مرجانی به صورت موفقیت آمیزی برای جایگزینی استخوان‌های شکسته بکار برده شده‌اند. زیرا این مواد توان ساخت اتصال‌های شیمیایی قوی با بافت‌های نرم و استخوان را دارند(۱۲).

اسکلت مرجان‌ها همراه با ساختار منفذدار بسیار به هم پیوسته‌ای که دارند، آن‌ها را بسیار مناسب جهت ساخت داربست‌های مهندسی بافت نموده است. اکثر مرجان‌هایی که تا کنون برای این منظور مورد پژوهش قرار گرفته‌اند دارای منافذی به اندازهٔ بین ۱۰۰ میکرومتر تا ۵۰۰ میکرومتر قطر با درجه بسیار بالای پیوستگی(Connectivity) می‌باشند(۱۳). در حقیقت، این ویژگی‌ها نشان داده شده‌اند که برای بازآفرینش بافت استخوانی مهم هستند. افزون بر ریزساختار، ویژگی‌های دیگر نیز نقش کلیدی را در کارآمدی این مواد زیستی بازی می‌کنند(مانند ترکیب ریزساختار و خصوصیات مکانیکی). از این دیدگاه، گزارش شده است که اسکلت‌های کربنات کلسیمی با منشاء دریا(مانند مرجان ها) برای بسیاری از کاربردها در ترمیم بافت استخوانی (به دلیل نرخ بالای از هم پاشیدگی و ثبات ساختاری فقیر) مناسب نیستند. برای مثال، کینتیک جذب مرجان‌ها به نسبت هیدروکسی آپاتیت، تندتر است. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، تبدیل اسکلت کربنات کلسیمی سخت به ساختارهای با ثبات‌تر مانند فسفات‌های کلسیمی مطرح شده اند(۱۴). ترکیبات کلسیمی فسفری مانند هیدروکسی آپاتیت نقش مهمی را در گسترهٔ زیست پزشکی، به دلیل مشابهت‌های فراوان آن‌ها با اجزاء معدنی استخوان‌ها، بازی می‌کنند(۱۴).

هیدروکسی آپاتیت مرجانی نیز که به عنوان یک مادهٔ جایگزین پیوند استخوان با ویژگی رسانش استخوانی(Osteoconductive) محسوب می‌شود، از تبدیل هیدروترمال اسکلت کربنات کلسیمی مرجان به هیدروکسی آپاتیت در حضور فسفات آمونیوم، با نگهداشت ساختار منفذی اولیهٔ آن که مشابه استخوان است، تولید می‌شود. مطالعات گوناگون بر روی نمونه‌های انسانی و جانوری نشانگر آن بوده است که هیدروکسی آپاتیت

www.takbook.com

مرجانی از دیدگاه ایمنولوژیک خنثی بوده و به دلیل عدم وجود پروتئین‌ها در مرجان‌های فرآوری شده، فاقد توان ایجاد التهاب است. همچنین به عنوان یک پرکننده در نقایص استخوانی در مکان‌های با تحمل بار کم، به صورت ایمن به کار برده می‌شود؛ هر چند که از دیدگاه مکانیکی ضعیف است(۱۵).

به صورت عمومی، بازجذب (Resorption) فسفات کلسیم به آهستگی صورت گرفته و هیدروکسی آپاتیت (به عنوان شایع‌ترین مادهٔ پیوند استخوانی صناعی به کار برده شده) نیز در مکان کاشت برای چندین سال پا برجا می‌ماند. این در حالی است که میزان بازجذبی داربست‌های مرجانی بسیار مطلوب بوده و یکی از مزیت‌های آن‌ها (به عنوان یک جایگزین مناسب به نسبت سرامیک‌های دیگر مانند هیدروکسی آپاتیت) در مهندسی بافت می‌باشد. زیرا یکی از مسائل سرامیک‌های فسفات کلسیمی در بالین، نرخ بازجذبی نسبتاً پایین آن‌ها است. در هر صورت، یکی از اهداف در پژوهش‌های مهندسی بافت آن است که داربستی تولید شود که با همان سرعتی که استخوان جدید ساخته می‌شود، برداشته شود. بدین سان، داربست نقش حمایت کننده را و نه بازدارنده، خواهد داشت(۱۳).

همانگونه که اشاره شد، جایگزین دیگر برای کاربرد مستقیم مرجان به عنوان داربست، تبدیل اسکلت‌های کربنات کلسیمی مرجانی به هیدروکسی آپاتیت است که به نام هیدروکسی آپاتیت مرجانی مشهور است. شیوه‌های آماده سازی گوناگونی شامل روش هیدروترمال برای ساخت هیدروکسی آپاتیت به کار برده می‌شود. روش هیدروترمال، نخستین بار، برای ساخت هیدروکسی آپاتیت، مستقیماً از مرجان‌ها در سال ۱۹۷۴ توسط روی و لینهان پایه گذاشته شد و جایگزینی کامل آرگونیت توسط مواد فسفاتیک تحت حرارت ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۰۳MPa با کاربرد فرایند هیدروترمال انجام شد. این فرایند این اشکال را داشت که پدیدهٔ هیدروترمال می‌بایست در درجه حرارت نسبتاً بالا و تحت فشار بسیار بالا، صورت می‌گرفت(۱۶).

در سال ۱۹۹۶، سیواکومار و همکاران وی، هیدروکسی آپاتیت را از مرجان با به

www.takbook.com

کارگیری درجه حرارت ۹۰۰ درجه سانتی گراد به دست آوردند؛ به صورتی که تمام مواد ارگانیک برداشت شد و فازهای کربناتی نیز تجزیه گردید. مرجان پیش حرارت دیده شده (کربنات کلسیم) با واکنش تبادل شیمیایی با فسفات دی آمونیوم تحت شرایط هیدروترمال به هیدروکسی آپاتیت تبدیل شد و پودر هیدروکسی آپاتیت مرجانی خالص، با فازهای آرگونیتی و همچنین کلسیتی به دست آمد(۱۷). پژوهش‌های گوناگون در سال‌های متوالی، توسعه تجاری از مرجان‌ها را برای ترمیم استخوان میسر نمود. این محصولات (مانند Pro-Osteon ™ 200R و Pro-Osteon ™ 500R) تا حدی تبدیلی بوده و بنابراین یک پوسته بیرونی هیدروکسی آپاتیتی(۲تا۵ میکرومتر کلفتی) با یک هستهٔ آراگونیتی را دارا هستند. پوسته هیدروکسی آپاتیتی بیرونی، سرعت بازجذب را کاهش داده و هستهٔ درونی بیشتر محلول نیز با تغییرات با سرعت پایین که مشخصهٔ جایگزین‌های استخوانی سرامیکی (مانند هیدروکسی آپاتیت) است، مقابله می‌نماید. امّا در عمل به نظر می‌رسد که داربست هیدروکسی آپاتیتی مرجانی، توانایی کمی را برای بازجذب دارد. برای مثال، سرعت بازجذب هیدروکسی آپاتیت مرجانی در مدل جانوری (سگ) نشانگر آن بود که در مکان‌های با استخوان اسفنجی، نرخ بازجذب آن ۲ تا ۵ درصد در سال است و در کاربرد نقایص استخوان‌های کورتیکال ۲۵ درصد است که در مقایسه با نرخ ۶۵ درصد در طی دو هفته برای پیوند مرجان طبیعی، بسیار چشمگیر است. به نظر می‌رسد که عدم توانایی بازجذب هیدروکسی آپاتیت مرجانی در ماهیت ساختار بسیار کریستالی پوشش هیدروکسی آپاتیت آن است که کمتر محلول است. از این رو، گرچه، Pro-Osteon ™ می‌تواند ساخت استخوان را هدایت نماید ولی نشان داده شده است که جایگزین پیوند استخوان مناسبی بوده که کاربردهای متنوعی را دارد؛ ولی باید این را نیز متذکر شد که می‌بایست آن را به صورت یک مادهٔ زیستی با سرعت جذب آهسته و یا حتی یک مادهٔ زیستی مانا قلمداد کرد و از این رو سرعت بازجذب آن در خط میانهٔ میان مرجان و فسفات کلسیم جای نمی‌گیرد(۱۳).

www.takbook.com

همانند دیگر جایگزین‌های استخوان کربنات کلسیم صناعی، مرجان‌ها نیز دارای توان محدودی در عرصهٔ القاء استخوانی(Osteoinductive) هستند و فقط با افزودن سلول‌های استئوژنیک به ساختار مرجانی است که ساخت استخوان را به صورت اکتوپیک می‌توان مشاهده نمود. از این رو، بسیاری از مطالعات، توان مرجان‌ها را برای حمایت از ترمیم استخوانی با کاربرد فاکتورهای رشد استئوژنیک و یا سلول‌ها برای فزونی در ظرفیت توان القاء استخوانی داربست، تحت بررسی قرار داده‌اند که در ادامهٔ این نوشتار به نتایج هر کدامیک از این بخش‌ها در حیوانات آزمایشگاهی و نمونه‌های انسانی می‌پردازیم. مسلماً، داربست‌های مرجانی توأمان با سلول‌های استئوژنیک، نوید دهندهٔ درمان‌های بر پایهٔ سلولی بوده که از کاربرد سرامیک‌های فسفات کلسیمی بسیار برتر می‌باشند(۱۳).

گونه‌های مرجان‌های Porites و Goniopora که به خانوادهٔ Poratidae وابسته هستند برای ساخت جایگزین‌های استخوانی هیدروکسی آپاتیت مرجانی بسیار کاربرد یافته‌اند. مرجان‌های دریایی گونه‌های Porites دارای ساختار آناتومیکی، فیزیکی و ویژگی‌های شیمیایی‌ای هستند که استخوان انسانی را شبیه‌سازی می‌کنند؛ این مرجان‌ها زیست پذیر و دارای توان رسانش استخوانی هستند. از آنجا که هیدروکسی آپاتیت مرجانی به صورت گسترده در بالین به عنوان جایگزین استخوانی، جهت پرکردن نقایص استخوانی در نمونه‌های سرطان انسانی، اعمال جاانداختن شکستگی‌ها، فیوژن ستون فقرات کمری و شکستگی‌های استخوان پاشنه پا، به کار برده شده اند(۱۵)، در ادامهٔ نوشتار، به این تجربیات نیز اشاره خواهیم کرد.

اسکلت بیرونی مرجان طبیعی به عنوان جایگزین پیوند استخوان

پژوهش‌ها پیرامون کاربرد اسکلت بیرونی(Exoskeleton) مرجان به عنوان جایگزین پیوند استخوان، از اول دهۀ ۱۹۷۰ در جانوران آزمایشگاهی شروع شد و در سال ۱۹۷۹ نیز بر روی نمونه‌های انسانی ادامه یافت. ساختار مرجان شایع مورد استفاده (یعنی گونه‌های Porites) همانند استخوان اسفنجی بوده و ویژگی‌های

www.takbook.com

مکانیکی آن نیز شبیه بافت استخوان انسانی می‌باشد. اسکلت بیرونی این داربست‌ها دارای مقادیر بالای کلسیم کربنات هستند. آن‌ها زیست پذیر بوده و توان رسانش استخوانی(Osteoconductive) و تجزیه پذیری زیستی را در سرعت‌های متنوع بر اساس نسبت وجود منفذها (porosity) و نیز مکان کاشت پیوند و گونهٔ مرجان، در میزان‌های قابل قبولی، از خود نشان داده‌اند. هر چند که اسکلت بیرون مرجان طبیعی ممکن است توان القاء استخوانی (Osteoinductive) و یا استئوژنیک را نداشته باشد ولی این پیوندها خود می‌توانند حامل قابل قبولی برای فاکتورهای رشد بوده و اجازهٔ اتصال، رشد، پخش و تمایز سلول‌ها را فراهم آورند که در بخش‌های دیگر به آن اشاره خواهیم کرد. درهر صورت، چنانچه از مرجان طبیعی به صورت مناسب استفاده شود سرعت بازجذب آن می‌تواند با سرعت ساخت استخوان در مکان کاشت، همسان باشد و از این رو، اسکلت خارجی مرجان‌ها، به عنوان جایگزین پیوند استخوان مورد توجه واقع شده اند(۱۸).

مطالعات گیلیمین بر روی اسکلت مرجان‌ها به عنوان جایگزین پیوند استخوان، نشان داد که تکه‌های اسکلتی جنس‌های مرجان‌های گوناگون را می‌توان در نقایص استخوان‌های کورتیکال و اسفنجی، کاشت نمود و نیز برای پل زدن برداشت‌های ترانس کورتیکال استخوان ران نیز بکار برد. این گروه از پژوهشگران، مکان کشت را تا ۱۸ ماه مورد پایش قرار دادند. از نظر رادیولوژیک، نقایص هر دو نوع استخوان‌های کورتیکال و اسفنجی، حداقل تا قسمتی توسط استخوان جدید، تا پس از ۸ هفته از پیوند، پر شدند. در طّی همین زمان نیز خود پیوندها نیز بازجذب پیوسته را نشان دادند. بازجذب و جایگزین شدن مرجان توسط بافت جدید در برداشت های(Resection)ترانس کورتیکال نیز مشاهده شد. فرایند بازجذب توسط حملهٔ آنزیمی، به ویژه کربن‌انهیدراز، روی می‌دهد. زیرا این گروه در مطالعات تجربی نشان دادند که با تجویز داروی منع کنندهٔ آنزیم کربن‌انهیدراز (یعنی استازولامید) می‌توان فرایند جذب را در سگ‌های آزمایشگاهی که برداشت‌های ترانس کورتیکال آن‌ها را با مرجان کاشت کرده بودند، به تاخیر انداخته و از

www.takbook.com

بهبودی مکان برداشت نیز جلوگیری نمود(۱۹).

روکس(Roux) و همکاران وی نیز در سال ۱۹۸۸، از تکه‌های مرجان به عنوان جایگزین پیوند استخوان جهت زدودن سوراخ‌های استخوان‌های جمجمه(bur holes) و ترمیم نقایص این استخوان‌ها و نیز بازسازی کف حفرهٔ مغزی قدامی استفاده کردند. آنان دریافتند که پیوندهای مرجانی به خوبی قابل تحمل بوده و تا قسمتی نیز با بازجذب اسکلت، بر روی آن‌ها، استخوان سازی انجام می‌پذیرد(۲۰). از مرجان‌ها به عنوان جایگزین پیوند استخوانی در فیوژن ستون مهره‌های پشتی کودکان دچار اسکولیوز استفاده شده است(۲۱). از اسکلت مرجان طبیعی به عنوان بافت پیوندی جهت برجسته سازی (Contour Agumentation) صورت استفاده شد. این پژوهشگران قالب‌ها یا دانه‌های مرجانی را در زیر پریوست استخوانی در بیماران با میکروسومی نیمهٔ صورتی[1]، هیپوپلازی استخوان آرواره، میکروژنی و در سندرم ترشرکولینز[2] به کار بردند. آنها دریافتند که مرجان طبیعی یک مادهٔ زیستی ارزان با زیست پذیری بسیار عالی است که به راحتی می‌توان آن را شکل داد(۲۲).

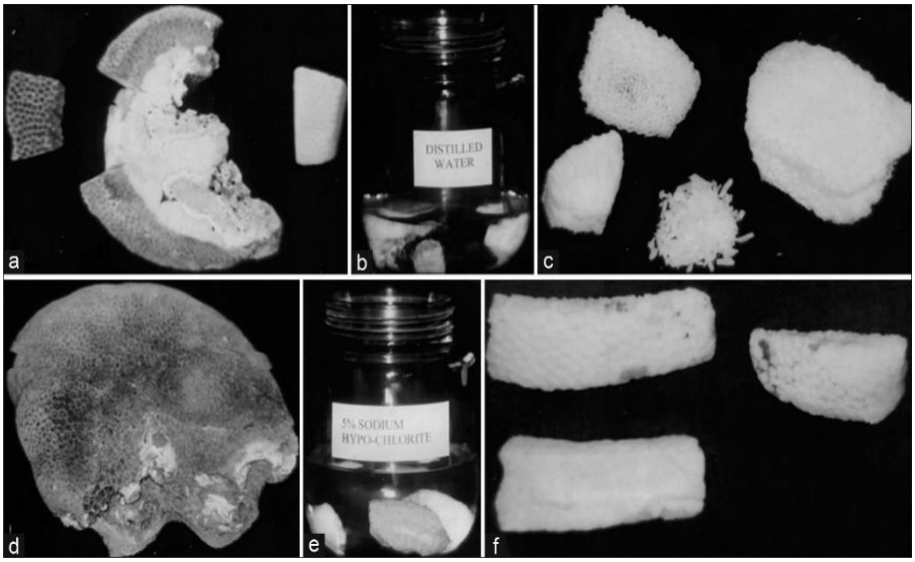
آماده سازی مرجان برای پیوند شامل برداشت مواد ارگانیک و استریلیزاسیون اسکلت بیرونی می‌باشد. نخست هستهٔ توپر اسکلت خارجی، برداشت می‌شود و لایهٔ بیرونی منفذدار، برای کاشت آماده می‌گردد. سپس مرجان در محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد برای ۴۸ ساعت فرو برده می‌شود. این محلول در یک محفظهٔ شیشه‌ای نگهداری گردیده و قالب مرجانی به آرامی با یک انبرک برای حداقل ۲ دقیقه، هر ۱۲ ساعت تکان داده می‌شود. سپس مرجان در آب مقطر برای ۴۸ ساعت فرو برده می‌شود تا بقایای محلول هیپوکلریت سدیم برداشته شود. مرجان آماده شده در مجاورت نور خورشید برای ۴۸ ساعت گذاشته می‌شود تا خشک شود. با گذاشتن در میان یک پد گازی، عملیات استریلیزاسیون با اتوکلاو کردن در ۱۲۱ درجه سانتی گراد برای ۳۰ دقیقه ادامه می‌یابد.

---

[1] Hemifacial Microsomia
[2] Treacher Collins Syndrome

www.takbook.com

اسکلت مرجان آماده شده در اندازه و شکل بریده شده به قالب و ورقه‌های مورد نیاز، آماده می‌گردد(۲۳و۲۴).



شکل ۲۸: آماده‌سازی مرجان برای پیوند.

a) ورقه‌های بریده شدهٔ مرجان (لایهٔ منفذدار بیرونی

b) مرجان غوطه‌ور سازی شده در آب مقطر

cوd) اسکلت بیرونی طبیعی مرجان پیش از آماده‌سازی

e) مرجان غوطه‌ورسازی شده در هیپوکلریت ۵ درصد

f) نمونه‌های برش داده شده آماده‌سازی شده مرجان در اندازه‌ها و اشکال گوناگون

(Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al.* Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.)

با چنین آماده سازی‌ای، دکتر کومار و همکاران وی در هندوستان، در انیستیتو علوم دندانی، موفق شدند از مرجان طبیعی به عنوان جایگزین استخوان در اعمال جراحی دهان و دندان استفاده کنند. بیماران شامل موارد نقایص استخوانی پس از انوکلاسیون کیست[1]،

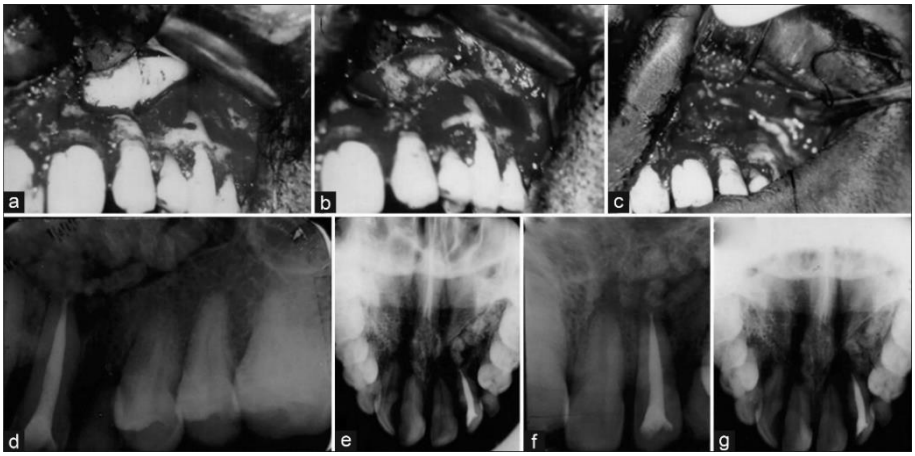
[1] Cyst Enucleation

www.takbook.com

بیرون کشیدن سوکت[1]، نقایص پری‌اودونتال، پیوند on lay جهت تصحیح عدم تقارن صورتی و برجسته‌سازی چانه[2]، و نیز پیوند میان وضعیتی (inter-positional) جهت تقویت سازی، بودند(۲۳). در مواردی که مرجان‌ها برای پرکردن نقایص استخوانی به صورت گرانول به کار برده شدند، نتایج بسیار قابل ستایش بود. اسکلت مرجان طبیعی که برای نقایص حاصله از انوکلاسیون کیست، بیرون کشیدن سوکت‌ها و در نقایص پری‌اودونتال به کار برده شدند، نیز نتایج خیلی خوبی را از خود نشان دادند. آنها با از دست دادن حجم و نیز در معرض قرار گرفتن مواد پیوندی روبرو نشدند، بیماران مرجان‌ها را به خوبی تحمل کردند و بهبودی زخم نیز به خوبی روی داد. این تجربهٔ گروه دندان پزشکان هندی، نشان می‌دهد که اسکلت مرجان طبیعی یک مادهٔ زیستی عالی به عنوان جایگزین پیوند استخوان می‌باشد(۲۳).

[1] Extraction Sockets
[2] Augmentation Of Chin

www.takbook.com



شکل ۲۹: دندان نیش آرواره سمت چپ گیر افتاده (impacted)

(a)، نقص پس از برداشت دندان گیر افتاده

(b)، نقص پرشده توسط گرانول‌های مرجانی(بلافاصله پس از عمل)

(IOPA) (d)

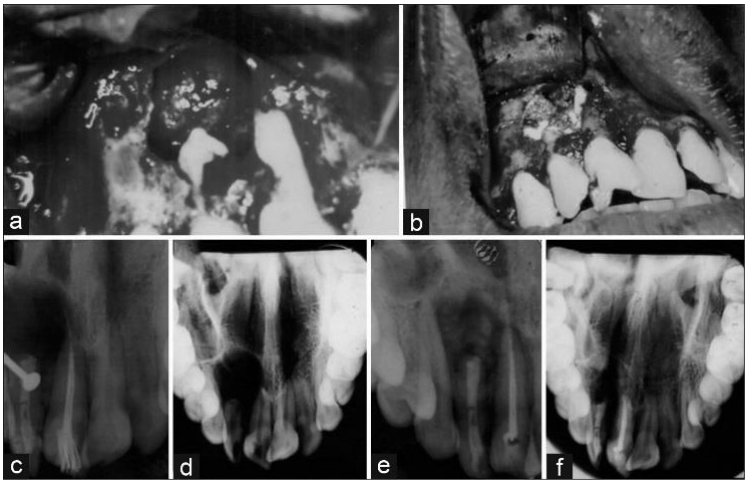
(e) نمای اوکلوزال(۸ هفته پس از جراحی)

IOPA (f)

(g) نمای اوکلوزال

(Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al*. Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.)

www.takbook.com



شکل ۳۰: انوکلاسیون کیست در ارتباط با آروارهٔ فوقانی سمت راست، منطقهٔ دندان پیشین مرکزی و جانبی و پرشدگی نقص آن با مرجان

(a) نقص استخوانی پس از انوکلاسیون کیست

(b) نقص پر شده با گرانول‌های مرجان بلافاصله پس از عمل

(c) IOPA

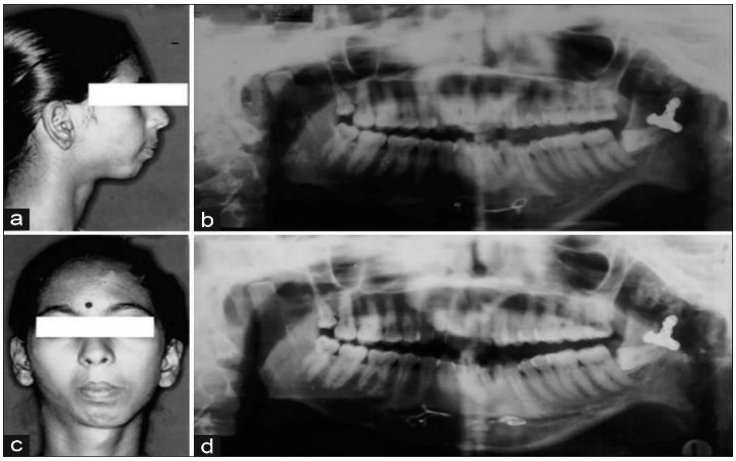
(d) نمای اوکلوزال در ۸ هفته پس از عمل

(e) IOPA

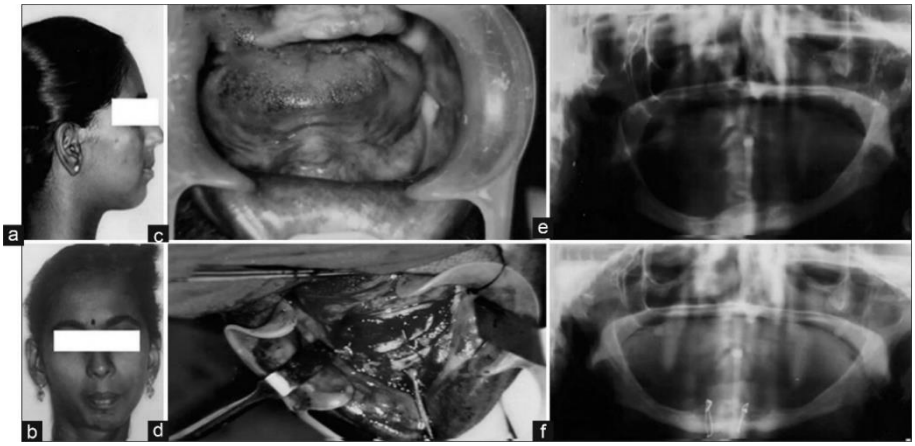
(f) نمای اوکلوزال

(Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al.* Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.)

www.takbook.com

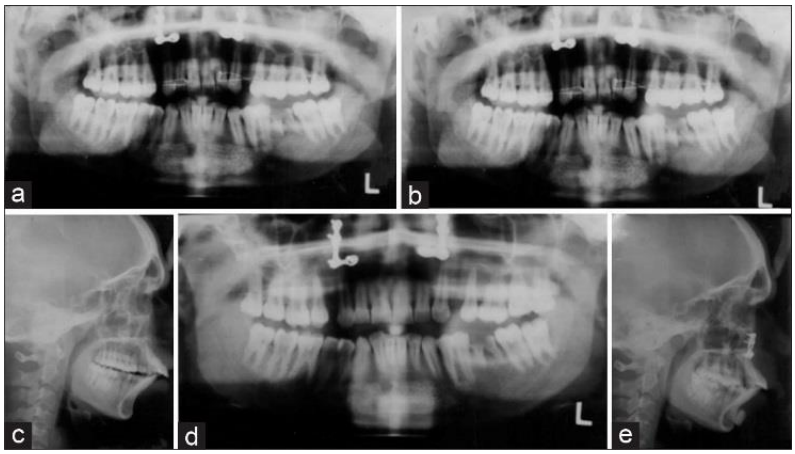


شکل ۳۱: برجسته‌سازی برای تصحیح عدم تقارن صورتی
با استفاده از بلاک مرجانی به عنوان پیوند.
(aوb) پیش از عمل (c) ارتوپانتوموگرام(OPG) در پیش از عمل (d) سه ماه بعد از عمل OPG
(Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al.* Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.)



شکل ۳۲: فزونی‌دهندگی لبهٔ آروارهٔ زیرین توسط استئوتومی ساندویچی افقی
(aوb) پیش از عمل، (c) برش. (d) ثابت کردن پیوند مرجانی با سیم کشی
(e) OPG نشان دهندهٔ آتروفی لبهٔ آلوئولاری. (f) OPG در هشت هفته پس از عمل
(Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al.* Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.)

www.takbook.com



شکل ۳۳: فزودهندگی genioplasty با کاربرد مرجان

(a) OPG پیش از عمل

(b) بلافاصله پس از عمل که نشانگر مرجان در جایگاه خود است (منطقه symphysis)

(c) پیش از عمل نمای Ceph. (d) OPG در هشت هفته پس از عمل

(e) نمای (Ceph جانبی) در هشت هفته پس از عمل

(Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al.* Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.)

امّا هر چند که آنها در برجسته سازی چانه نیز با نتایج خوبی روبرو شدند و از دست دادن حجم مواد پیوندی را مشاهده نکردند ولی در تصحیح عدم تقارن صورتی، با از دست دادن تدریجی حجم مادهٔ پیوندی در جسم فک برخورد نمودند(۲۳). با تمام این موفقیت‌هایی که در سطح بالینی برای کاربرد مرجان طبیعی جهت جایگزینی پیوند استخوان به دست آمده است، باید این نکته را مدنظر داشت که توسعه و طراحی مواد زیستی منفذدار(porous materials) به درک گسترده از اینکه چگونه ساختار این مواد به ویژگی‌ها و خصوصیات مکانیکی و اتصال مواد در سطح آنها مؤثرند، نیاز دارد. یکی از این شیوه‌ها، تصویربرداری سه بعدی و آنالیز داده‌های مربوطه است. برای مثال، با این شیوه، توانسته‌اند به تفاوت‌های دوجنس از نمونه‌های پیوند استخوانی مرجان ها(Goniopora و Porites) پی ببرند. تصاویر حاصله از micro-CT نشانگر آن بوده است که مرجان‌های جنس Porites،

www.takbook.com

ساختمان همگن با وجود ثبات در اندازهٔ روزنه‌ها را دارا می‌باشند؛ در حالی که Goniopora فاقد این ویژگی‌ها است. همچنین آنالیز تصویربرداری سه بعدی امکان بررسی خصوصیات مکانیکی، مسیرهای انتشار و جریان موضعی را برای این مرجان‌ها فراهم آورده است(۲۵).

از آنجا که پیچیدگی ساختار روزنه‌ای و شبکهٔ موجود در ساختار اسکلت بیرونی مرجان‌ها بسیار فراتر از تصور مواد صناعی با ساختار مشابه است، داشتن اطلاعات پیرامون خصوصیات این ساختارها (به ویژه به دست آوردن ویژگی‌های مسیرهای انتشار و جریان موضعی در آن ها) می‌تواند برای طراحی و توسعه سامانه‌های دارویی فسفات کلسیمی بر پایهٔ ساختار اسکلت بیرونی مرجان‌ها، بسیار کمک کننده باشد(۲۶).

هیدروکسی آپاتیت مرجانی به عنوان جایگزین پیوند استخوانی

هیدروکسی آپاتیت مرجانی، از مرجان دریایی که ساختار ترابکولار همانند استخوان انسان دارد، توسط تبدیل هیدروترمالی کربنات کلسیم اسکلت مرجان‌ها به هیدروکسی آپاتیت(به عنوان فسفات کلسیم)، به دست می‌آید. هر چند که مطالعات متعددی پیرامون خصوصیات زیست پذیری و استئوژنیک هیدروکسی آپاتیت مرجانی در سطح مطبوعات علمی پزشکی به عنوان جایگزین پیوند استخوانی و پرکنندهٔ نقایص استخوانی وجود دارد، امّا ضعف مکانیکی ذاتی آن و تجزیه پذیری پایین آن، محدودیت‌هایی در مهندسی بافت تولید کرده است(۱۵و۲۷). امّا با این وجود، سودمندی‌های حاصل از توان زیست پذیری و رسانش استخوانی(Osteoconductivity) هیدروکسی آپاتیت مرجانی، آن را به ماده‌ای به عنوان جایگزین پیوند استخوانی، در بسیاری از موارد بالینی، تبدیل نموده است. همچنین می‌توان از آن به عنوان یک سامانهٔ رهایش کارآمد برای آزادسازی فاکتورهای رشد جهت یکپارچه سازی استخوانی و تثبیت ایمپلانت در بافت استخوانی مجاور ایمپلانت استفاده کرد(۱۵) که در بخش‌های دیگر این نوشتار به آن خواهیم پرداخت.

در مطالعات اولیه در اواخر دههٔ ۱۹۷۰ بر روی حیوانات آزمایشگاهی(سگ ها)، به

www.takbook.com

زیست پذیری و تجزیه پذیری ایمپلانت هیدروکسی آپاتیت مرجانی اشاره شد(۲۸). در مطالعات بعدی توسط هولمز در دهۀ ۱۹۸۰پی بردند که گرچه کاربرد هیدروکسی آپاتیت مرجانی در سگ‌های آزمایشگاهی با تحمل ضعیف فیزیولوژیک استرس‌ها توأم بوده است ولی با پذیرش کامل آن، تقریباً به اندازۀ استخوان اصلی، قوی می‌شود. آنها همچنین از تجربۀ بالینی موفق در فیکساسیون داخلی شکستگی‌ها، با هیدروکسی آپاتیت، در ۱۸ بیمار یادکردند(۲۹). مطالعات رادیولوژیک توسط سارتوریس و همکاران وی، نشانگر آن بود که با پذیرش پیوند هیدروکسی آپاتیت مرجانی با گذشت ماه‌ها، در بررسی‌های رادیولوژیک، ساختمان درونی آنها به آهستگی از دست رفته و حاشیۀ آن‌ها نیز به سختی می‌توان تعریف نمود. این یافته‌های رادیولوژیک، از ماهیت زیست پذیر این پیوندها حکایت دارند که می‌تواند در فزونی خصوصیات بیومکانیک مؤثر واقع شوند(۳۰). مطالعات هیستومتریک بر روی ایجاد نقص در دیافیز انتهای استخوان رادیوس سگ‌های آزمایشگاهی نیز نشانگر جوش خوردگی(union) رضایت بخش و نیز رشد به سوی درون بافت(in growth) استخوانی میزبان به سوی پیوند، در تمام فواصل زمانی، بوده است(۳۱).

در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۹۵ بر روی ۳۰ مکان در ۱۰ بیمار برای درمان نقایص استخوانی پری‌اودونتال جهت مقایسۀ کاربرد اسکلت مرجان طبیعی، هیدروکسی آپاتیت مرجانی و دبریدمان به تنهایی، انجام گرفت، نشان داده شد که در معیارهای بالینی، تفاوتی میان مرجان طبیعی و هیدوکسی آپاتیت وجود ندارد ولی میان این دو با دبریدمان ساده، تفاوت آماری چشمگیری مشاهده می‌شود(۳۲). افزون بر معیارهای بالینی، نشان داده شده که می‌توان از شیوۀ DXA[1] نیز برای ارزیابی دقیق پایش رشد به درون(ingrowth) استخوان در جایگزین پیوند استخوان آپاتیت مرجانی استفاده کرد(۳۳).

در بیماری ۲۶ ساله که دچار شکستگی استخوان پاشنه پا در ۲ سال پیش شده و در نتیجه دچار کوتاهی در ستون جانبی گردیده بود از جایگزین پیوند استخوان

[1] Dual Energy X-ray Absorptiometry

www.takbook.com

هیدروکسی آپاتیت مرجانی استفاده شد. در این عمل از قطعهٔ هیدروکسی آپاتیت مرجانی در مفصل(Calcaneocuboid) به کار برده شد که نتایج عمل بیمار تا ۱۰ ماه بعد از پیگیری عمل نیز امیدوار کننده بود(۳۴). از آنجا که هیدروکسی آپاتیت مرجانی ایجاد یک شبکهٔ زیست پذیر برای عبور و همگذاری بافت‌های عروقی، فیبروبلاستیک و استئوبلاستیک می‌کند، می‌تواند نقش حمایتی را برای ساختارهای استخوان پیرامون، بازی کند. از این رو، کاربرد آن در جراحی‌های پا و قوزک پا کاربرد گسترده یافت. در سال ۱۹۹۷، رحیمی و همکاران وی(۳۵) نتایج هشت سالهٔ خود را بر روی اعمال جراحی پا و قوزک پا با پیگیری ۳/۵ ساله بیمارانی که از هیدروکسی آپاتیت به عنوان مقاوم سازی نقص استخوانی آنها استفاده شده بود را منتشر کردند. به نظر این گروه، هیدروکسی آپاتیت یک منبع ارزشمند برای اینگونه اعمال جراحی می‌باشد(۳۵). این نتایج توسط گروهی دیگر نیز درسال ۲۰۰۶ تکرار گردید. این گروه نشان دادند که جراحی بر روی پا با کاربرد جایگزین استخوان هیدروکسی آپاتیت مرجانی، از لحاظ بالینی، رضایت بخش است و در پیگیری ۶ ساله نیز عارضه‌ای در بیماران مشاهده نشد(۳۶).

مطالعهٔ گذشته نگر دیگر با پیگیری رادیولوژیک و بالینی به مدت زمان حداقل ۳ سال در ۲۰ بیمار که دچار دردکمر بوده و تحت عمل جراحی به صورت همجوشی کمری پیرامونی[1] با قطعات هیدروکسی آپاتیت مرجانی در بخش قدامی و اتوگرافت با فیکساسیون با پیچ در نواحی ترانس پدیکولار یا ترانس لامینار در بخش خلفی قرار گرفتند، نشان داد که هیدروکسی آپاتیت یک جایگزین اتوگرافت یا آلوگرافت در همجوشی میان جسم مهره‌ای کمری در بخش قدامی می‌باشد، به شرطی که در بخش خلفی نیز از فیکساسیون سخت استفاده شود(۳۷). در مطالعه‌ای دیگر در جراحی‌های ستون فقرات که از هیدروکسی آپاتیت مرجانی در المان‌های خلفی دی‌کورتیکه ستون فقراتی که تحت اعمال ارتوپدی(Instrumentation) قرار گرفته بودند، بررسی‌های بافت شناسی انجام شد. ارزیابی‌های بافت شناسی نشانگر آن بودند که در مواردی که استخوان

[1] Cricumferential Lumbar Fusion

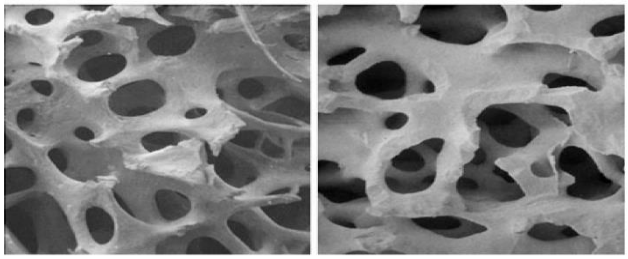
www.takbook.com

توسعه یافته بود، وجود استئوبلاست‌ها و نشست بافت استئویید در تماس با گرانول‌های هیدروکسی آپاتیت یافتهٔ اولیه بود و در فاز بعدی نیز استخوان اسفنجی ولاملار در نتیجهٔ اسیفیکاسیون ثانویه، توسعه یافته بود. این بررسی‌ها بر این موضوع مهر تایید گذاشتند که هیدروکسی آپاتیت مرجانی، ساخت استخوان را در جراحی ستون فقرات، هدایت می‌نماید زیرا در اکثر موارد جراحی بیماری‌های ستون فقرات گوناگون، استخوان و بافت استئوئیدی در اطراف هیدروکسی آپاتیت مرجانی کاشت شده، توسعه یافته بودند(۳۸).

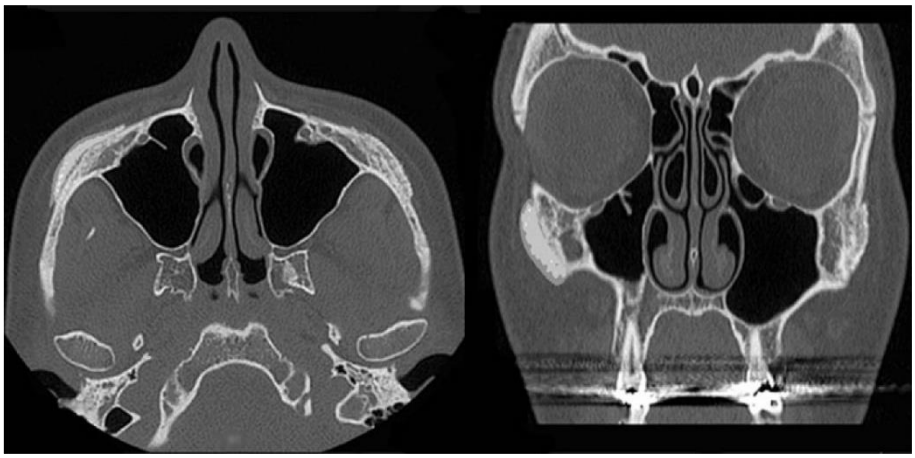
هیدروکسی آپاتیت یکی از چندین مواد موجود است که در فزونی دادن برجستگی‌های اسکلت صورت[1] استفاده شده است. در مطالعه‌ای که توسط مندلسون و همکاران وی(۳۹) طراحی گردید، ده بیمار مؤنث در سنین بین ۵۸-۲۸ ساله در ناحیهٔ اسکلت صورت در ۲۴ نقطه با به کارگیری گرانول‌های هیدروکسی آپاتیت مرجانی که به شکل تجاری ساخته شده بودند(Pro-Osteon 200) تحت عمل زیبایی قرار گرفتند. بررسی‌های تصویربرداری با سی تی اسکن در پس از عمل نشان دهندهٔ آن بود که ۹۹/۷ درصد از هیدروکسی آپاتیت تا ۲ سال در مکان برجای مانده بود و برجستگی‌های کلی (شامل استخوانی و بافت نرم) نیز پا برجا ماند و هیچ شاهدی دال بر خوردگی استخوانی و یا آتروفی بافت نرم نیز به دست نیامد(۳۹).

[1] Facial Projections

www.takbook.com

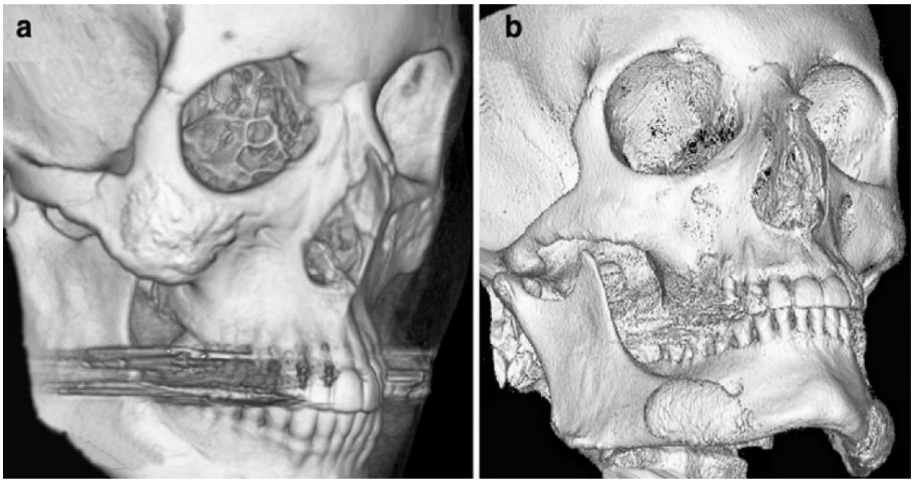


شکل ۳۴: اسکن میکروگراف الکترونی Pro Osteon 200 هیدروکسی آپاتیت به کار گرفته شده
در فزونی دادن به اسکلت ناحیهٔ صورت (سمت چپ)
و ساختار فیزیکی مشابه استخوان اسفنجی (سمت راست).
(Mendelson BC, Jacobson SR, Lavoipierre AM, *et al.* The Fate of Porous Hydroxyapatite Granules Used in Facial Skeletal Augmentation. *Aesthetic Plast Surg.* 2010; 34(4): 455-61)



شکل ۳۵: تصاویر CT نمای محور (سمت چپ) و نمای کرونال (سمت راست)
که نشان دهندهٔ نشست هیدورکسی آپاتیت بر تنهٔ استخوان گونه است (سمت راست بیمار).
(Mendelson BC, Jacobson SR, Lavoipierre AM, *et al.* The Fate of Porous Hydroxyapatite Granules Used in Facial Skeletal Augmentation. *Aesthetic Plast Surg.* 2010; 34(4): 455-61)

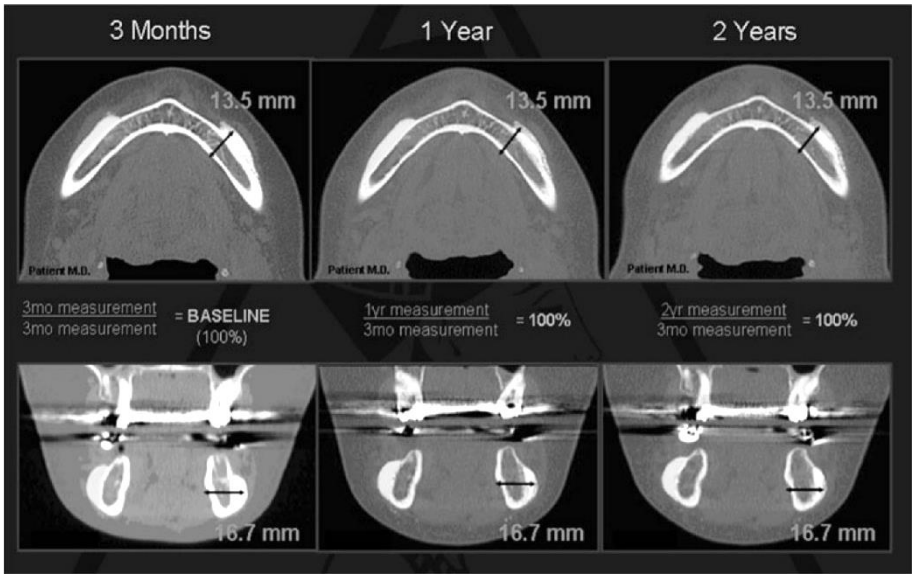
www.takbook.com



شکل ۳۶: تصاویر CT بازسازی شدهٔ سه بعدی اسکلت صورت که نشان دهندهٔ برجستگی و ضخامت هیدورکسی آپاتیت نشست داده شده بر روی تنهٔ استخوان گونه (سمت چپ) و تنهٔ آروارهٔ زیرین (سمت راست) است.

(Mendelson BC, Jacobson SR, Lavoipierre AM, *et al.* The Fate of Porous Hydroxyapatite Granules Used in Facial Skeletal Augmentation. *Aesthetic Plast Surg.* 2010; 34(4): 455-61)

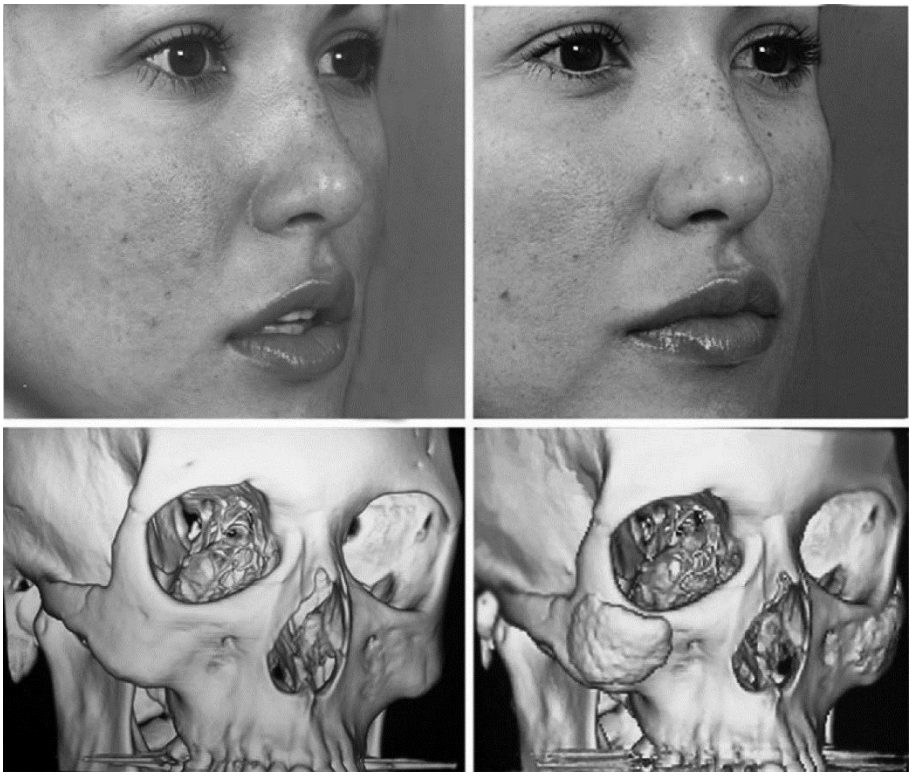
www.takbook.com



شکل ۳۷: نمای محوری (تصویر فوقانی) و نمای کرونال (تصویر تحتانی) سی تی از تنهٔ استخوان آروارهٔ زیرین که ضخامت هیدروکسی آپاتیت که تا زمان ۲ سال نیز پا برجا مانده است را نشان می‌دهند (سمت راست بیمار).

(Mendelson BC, Jacobson SR, Lavoipierre AM, *et al.* The Fate of Porous Hydroxyapatite Granules Used in Facial Skeletal Augmentation. *Aesthetic Plast Surg.* 2010; 34(4): 455-61)

www.takbook.com



شکل ۳۸: پیش از عمل (سمت چپ) و ۲ سال پس از عمل (سمت راست) و CT اسکن‌های مربوطه (تصاویر تحتانی) پس از فزونی دهندگی گونه در دختر ۲۵ ساله که نشان دهندهٔ بهبودی پیش آمدگی بافت نرم در بخش میانی صورت می‌باشند.
(Mendelson BC, Jacobson SR, Lavoipierre AM, *et al.* The Fate of Porous Hydroxyapatite Granules Used in Facial Skeletal Augmentation. *Aesthetic Plast Surg.* 2010; 34(4): 455-61)

در بخش دیگر از فناوری به کارگیری هیدروکسی آپاتیت مرجانی، پژوهشگران از آن در ساخت کامپوزیت‌ها استفاده کردند. در ساخت یکی از این کامپوزیت‌ها از داربست کربنات کلسیم مرجان با یک پوشش نازک از هیدروکسی آپاتیت به کار گرفته شد. در کاربرد بالینی این کامپوزیت در ۱۶ بیمار جهت تقویت سازی استخوان (Bone Augmentation) بعد از برداشت ضایعات توموری، مشاهده شد که پس از کاشت این کامپوزیت، ساخت بافت کالوس (callus) قابل رؤیت، در یک ماه بعد و بهبودی بالینی در

www.takbook.com

چهار ماه بعد، به دست آمد. عمدهٔ کامپوزیت کاشت شده در طی ۲۴-۱۸ ماه مورد تجزیه قرار گرفت. در نتیجه، به نظر می‌رسد که این کامپوزیت، یک مادهٔ پیوند استخوانی تجزیه پذیر عالی است و می‌توان به صورت جایگزین پیوند اتولوگ از آن استفاده کرد(۴۰).

سینرژیسم فاکتورهای رشد، سلول‌های بنیادی و داربست‌های مرجانی در مهندسی بافت

ترکیب سینرژیستیک مواد زیستی هیدروکسی آپاتیت و ملکول‌های زیستی همچون BMP_2، TGF β، IGF-1، IGF-II و دیگر فاکتورهایی که در ماتریکس استخوان معدنی شده وجود دارند، مشاهده می‌شود. این فاکتورها، نقش تنظیم کننده‌ای را در ترمیم استخوانی و پویایی متابولیکی استخوان دارند که این اثرات برخاسته از اثر نیرومند آن‌ها بر روی عملکرد استئوبلاست‌ها است. خود سلول‌ها نیز فاکتورهای رشد دیگری را آزاد می‌نمایند که می‌توانند استئوبلاست‌ها را به تکثیر و بازآفرینش(Regeneration) تحریک نمایند(۱۵). از سوی دیگر، ترکیب سلول‌های بنیادی، به ویژه سلول‌های بنیادی مزانشیمی(MSCs) با داربست‌های هیدروکسی آپاتیتی می‌تواند پتانسیل کاربردی این داربست‌ها را برای بازآفرینش استخوانی افزایش دهند. زیرا با افزودن سودمندی‌های حاصل از توان تنظیم کنندگی ایمنی سلول‌های MSCs و وجود حالت خنثی برای ایمنی زایی این سلول‌ها به داربست‌های هیدروکسی آپاتیتی، می‌توان نتایج بهتری را در مهندسی بافت، به دست آورد(۴۱).

بنابراین، با افزودن هیدروکسی آپاتیت به فاکتورهای رشد و سلول‌های بنیادی، می‌توان توان استئوژنیک و خصوصیات مکانیکی داربست‌ها را افزایش داد و در درمان بیماری‌های استخوانی و بیماری‌های دژنراتیواستخوان از آن‌ها، با بهره وری بالاتری، به کار برد. هنگامی که MSCs را به داربست‌های هیدروکسی آپاتیت مرجانی می‌افزاییم این سلول‌ها به خطوط سلولی استخوان ساز، تمایز می‌یابند و در نتیجه چنین داربست‌هایی را می‌توان به سادگی برای اهداف درمانی، در مکان‌هایی که به بازآفرینش بافت استخوانی

www.takbook.com

نیاز است، به کار برد. در ترمیم استخوانی در جانوران آزمایشگاهی(خرگوش)، کامپوزیت مرجان و BMP_2 با مرجان به تنهایی در ترمیم نقایص استخوانی مورد بررسی قرار گرفت که نشانگر آن بود که کامپوزیت به نسبت کاربرد جایگزین پیوند مرجان به تنهایی بهتر بود و کامپوزیت، ویژگی‌های القاء استخوانی و رسانش استخوانی را از خود نشان داد(۴۲). همچنین در جانوران آزمایشگاهی(رات) از سلول‌های مغز استخوان اتولوگ، BMP_2 و اسکلت بیرونی مرجان برای ترمیم نقایص استخوانی بزرگ در جمجمه در مدل‌های کرانیوتومی استفاده شد. این کامپوزیت، در مقایسه با مرجان به تنهایی دارای توان فعال کنندگی استئوژنز بیشتر بود(۴۳).

برای جراحی‌های باز ساختی فک و صورت، مطالعاتی پیرامون پیوند استخوانی مرجان با ترکیبی از BMP_2 و استئوبلاست‌های با منشاء استخوانی(برای ساخت پیوند استخوانی با سیستم عروقی) انجام گرفت که بر اساس این مطالعات، امکان کاربردی چنین کامپوزیت‌هایی در جراحی‌های فک و صورت وجود دارد(۴۴و۴۵). در مطالعه‌ای دیگر از گونه‌های مرجان Porites به عنوان داربست انتخاب گردید و با استئوبلاست‌های به دست آمده از سلول‌های بنیادی مغز استخوان که در شرایط آزمایشگاهی گسترش یافته بودند، ترکیب شدند تا یک جایگزین پیوند استخوان برای استفاده در مدل حیوانات آزمایشگاهی ساخته شود. مطالعات بافت شناسی در رات‌ها نشان داد که بافت استخوان بالغ و مقدار زیاد عروق خونی مانند آنچه در ساخت استخوان روی می‌دهد، در این پیوندها بوجود آمد. این مطالعات نشان داد که می‌توان از مرجان به عنوان داربستی برای رهاسازی سلول‌های بنیادی مزانشیمی مغز استخوان در مهندسی بافت استفاده کرد(۴۶). در مطالعات بعدی، اثر سینرژیسم MSC_S با مرجان توأم با BMP-2 در مقایسه با خرگوش‌های آزمایشگاهی نشان داده شد(۹).

در سگ‌های آزمایشگاهی نیز کاربرد داربست مرجانی همراه با سلول‌های بنیادی با منشاء بافت چربی[1] برای ترمیم نقایص استخوان جمجمه با موفقیت توأم بود(۴۷). از آنجا

[1] Adipose- derived Stem Cells

www.takbook.com

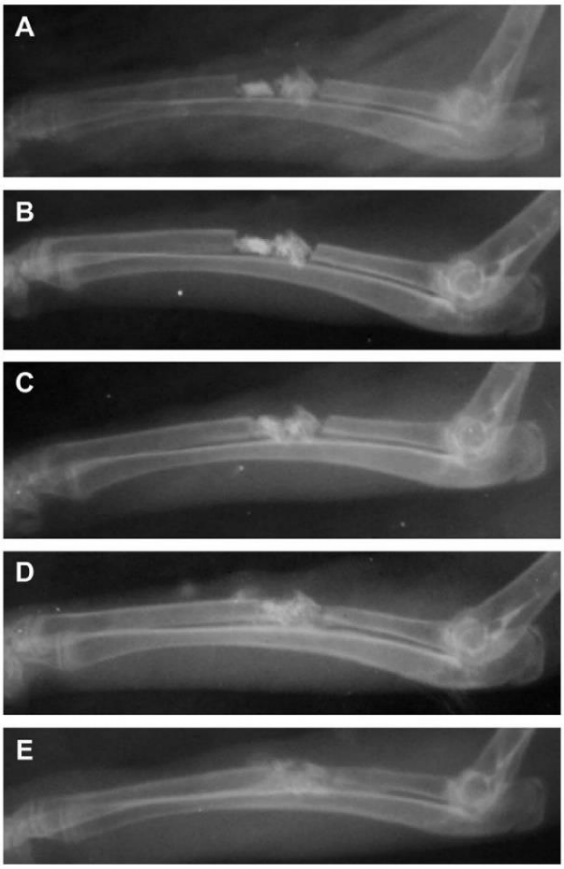
که کاربرد جایگزین پیوند استخوانی بزرگ (بدلیل کافی نبودن عروق سازی) با نتایج ضعیفی روبرو است و کاربرد فاکتورهای استخوان ساز نیز نمی‌تواند چندان در این شرایط بهبودی چشمگیری را القاء نماید، کاربرد فاکتور رشد اندوتلیالی عروقی (VEGF) برای چنین مواردی پیشنهاد گردید(۴۸). پژوهشگران مالزیایی توانستند سلول‌های بنیادی بالغ مزانشیمی مغز استخوان را به اجزاء استخوان ساز القاء نموده تا این سلول‌ها بتوانند تکثیر و سپس به سلول‌های تولید کنندهٔ استخوان تمایز یابند. آنها سپس سلول‌های تمایز یافته را بر روی سطوح دیسک‌های مرجانی نشاندند. در این داربست‌ها، رشد استئوبلاست‌ها بر سطح خارجی و فضای منفذدار داخلی در شرایط in vitro صورت گرفت. این موفقیت، امکان کشت ساختارهای اسکلتی قابل پیوند را نوید داد(۴۹). تیم تحقیقاتی تران و همکاران(۵۰) که تجربهٔ به کارگیری پیوند مرجان را در بیش از یک هزار بیمار با پاتولوژی‌های استخوانی متفاوت شامل تنگی کانال نخاعی تا بازساخت استخوان فک تحتانی را داشتند، توانستند MSCs را از مغز استخوان انسانی، به سوی استئوبلاست، القاء قرار دهند و سپس این سلول‌ها را بر روی مرجان‌ها نشانده و ابزاری بهینه را برای کاربردهای بالینی خلق نمودند. استخوان زایی بر پایهٔ مهندسی بافت در نقایص استخوان رادیوس خرگوش‌های آزمایشگاهی توسط استئوبلاست‌های همولوگ بارگزاری شده بر داربست مرجانی زیست جذب پذیر، با موفقیت انجام شد(۵۱).

MSCs نقش مهمی را در ترمیم نقایص استخوانی با اندازهٔ بحرانی[1] بازی می‌کنند. بدون این سلول‌ها، ساخت استخوان در این موارد با وجود ترمیم با سازه‌های داربستی (چه دارای عروق باشند یا نباشند) صورت نمی‌گیرد. از سوی دیگر باید به این نکته نیز توجه نشان داد که همانگونه که مطالعات نشان داده‌اند، ایجاد شبکهٔ عروقی (Vascularization) و ریز محیط نقش حیاتی را در ساخت استخوان مهندسی شده بر پایهٔ هیدروکسی آپاتیت مرجانی را به ویژه در ۳ ماه اوّل ایفا می‌نمایند(۵۲). پلاسمای غنی از پلاکت انسانی[2]

[1] Critical Size Bone Defects
[2] Human Platelet-rich Plasma

www.takbook.com

(hPRP)، حاوی چندین فاکتورهای رشد شامل ایزومرهای فاکتور رشد پلاکتی(PDGF)، TGF-X 1، TGF-2، IGF-1، IGF-Π و VEGF می‌باشد. تمام این فاکتورهای رشد، ارتقاء دهندهٔ بازآفرینش استخوان می‌باشند. پژوهش‌ها بر روی hPRP در مهندسی بافت استخوان در حضور هیدروکسی آپاتیت و یا خود مرجان نیز صورت گرفته است(۵۳).



شکل ۳۹: رادیوگرافی از اندام جلو خرگوش در گروه درمان شده با مرجان و hPRP در روز اول (A)، ۱۴ روز بعد از عمل (B)، ۲۸ روز بعد از عمل (C)، ۴۲ روز بعد از عمل (D) و ۵۶ روز بعد از عمل

(Shafiei-Sarvestani Z, Oryan A, Bigham AS, *et al.* The effect of hydroxyapatite-hPRP, and coral-hPRP on bone healing in rabbits: radiological, biomechanical, macroscopic and histopathologic evaluation. *Int J Surg.* 2012; 10(2): 96-101)

www.takbook.com

هر چند هم اکنون از MSCs مغز استخوان برای منبع سلولی در مهندسی بافت استفاده می‌شود ولی آماده سازی مغز استخوان برای بیماران دردناک بوده و تعداد کمی سلول کشت شده را فراهم می‌آورد. سلول‌های بنیادی به دست آمده از بافت چربی به عنوان منبع جایگزین برای MSCs مغز استخوانی مطرح شده است و بافت چربی انسان به راحتی قابل دسترس بوده و این بافت حاوی مقادیری چشمگیر از این نوع سلول‌های بنیادی می‌باشد. مشاهده شده است که سلول‌های بنیادی به دست آمده از بافت چربی دارای ویژگی‌های ایمنولوژیک مشابه MSCs مغز استخوانی است و از این رو می‌توان از سلول‌های بنیادی به دست آمده از بافت چربی به صورت آلوژنیک به صورت یک منبع از پیش آماده شده در مهندسی بافت استفاده کرد. در مطالعه‌ای به پتانسیل اثرات درمانی این نوع سلول‌های بنیادی آلوژنیک در درمان نقایص استخوانی بزرگ در رهیافت‌های مهندسی بافت در مدل آزمایشگاهی(سگ)، بدون درمان منع کنندهٔ سیستم ایمنی، همراه با داربست مرجانی، اشاره گردید(۵۴).

امّا با این وجود، هنوز مطالعات بر روی توان بازآفرینش استخوانی در خصوص MSC در سطح مطبوعات علمی پزشکی متمرکز است. زیرا با افزودن این سلول‌ها، بخش القاء استخوانی(Osteoinductive) در مهندسی بافت استخوان فراهم می‌شود. در مطالعه‌ای از این سلول‌ها بر روی گرانول‌های مرجان Acropora استفاده شد. سلول‌های MSC به خوبی در شرایط آزمایشگاهی پس از یک هفته، چسبندگی و تکثیر یافتند. با کاشت این گرانول‌های حاوی MSC در نقایص با اندازهٔ بحرانی استخوان‌های بزرگ در گوسفند، این سازه‌های بافتی، دوبرابر بیشتر در ساخت استخوان در ۶ ماه بعد از کاشت پیوند در مقایسه با داربست به تنهایی مرجان Acropora از خود فعالیت نشان دادند. جالب آنکه استخوان زایی توسط MSCها در این سازه‌ها حتی در هستهٔ ایمپلانت‌ها نیز روی داد و بازجذب داربست تقریباً طّی ۶ ماه کامل گردید و از این رو داربست مرجانی به نظر می‌رسد که داربستی جذاب در مهندسی بافت باشد؛ زیرا چسبندگی و تکثیر MSCها را مورد حمایت قرار می‌دهد(۵۵).

www.takbook.com

نکتهٔ جالب آن است که در سامانه‌های کشت پیوند مرجانی(coral graft)، تمایز استئوژنیک سلول هایMSC خرگوش در مقایسه با پیوند استخوان Bone graft، نسبتاً برتر بود و این نشان می‌دهد که پیوند مرجانی، در کاربردهای مهندسی بافت در زمانی که از سلول‌های MSC استفاده می‌شود، ماده‌ای مناسب است(۵۶). در مطالعات بر روی داربست‌های مرجانی و سلول‌های MSC، اخیراً پژوهشگران موفق شدند سلول‌های MSC خرگوش را به صورت پیوسته رشد دهند تا یک ورقه سلولی با پتانسیل استئوژنیک به دست آید و سپس ذرات مرجان را نیز به درون این ورقه‌ها یکپارچه نموده و سپس یک سازهٔ لوله‌ای را ساختند. مطالعات آزمایشگاهی در شرایط in vitro نشانگر آن بود که این سازهٔ مهندسی شدهٔ لوله‌ای، تراکم رادیولوژیک، قدرت فشردگی و نشست ماتریکس خارج سلولی بهتری را به نسبت سازهٔ کنترل(یک ورقه از سلول) دارا است و در شرایط in vivo نیز ساخت استخوان جدید را از خود نشان داد؛ به صورتی که در ۸ هفته از پیوند به صورت اکتوپیک، این سازهٔ مهندسی، تراکم رادیولوژیکی مشابه با استخوان طبیعی از خود ظهور داد(۵۷). همانطور که اشاره شد افزون بر سلول‌های بنیادی، از دو دههٔ پیش، از فاکتورهای رشد در داربست‌های هیدروکسی آپاتیتی در مطالعات گوناگون استفاده شده است که در جدیدترین این مطالعات که بر پایهٔ اطلاعات رادیولوژیک، بررسی‌های بافت شناسی، میکروسکوپ الکترونی و نشانه گذاری فلوروکروم بوده است، نشان داده شد که داربست‌های هیدروکسی آپاتیتی، به خوبی، فاکتورهای رشدی همچون IGF-1 و BMP-2 را به خوبی از خود رها ساخته و در شرایط in vivo در مدل خرگوش‌های آزمایشگاهی نیز در رشد به درون(in-growth) بافت استخوانی، شروع بهبودی، ترمیم استخوانی و جوش خوردگی میان ایمپلانت و استخوان طبیعی در گروهی که از هیدروکسی آپاتیت توام با فاکتور رشد IGF-1 استفاده شده بود، نقش ایفا می‌کنند. این گروه از پژوهشگران، ساخت متوسط استخوان را در داربست هیدروکسی آپاتیتی به تنهایی و ساخت بافت استخوانی به صورت عالی را در گروه‌های هیدروکسی آپاتیت توام با IGF-1 یا BMP-2، مشاهده کردند(۵۸).

www.takbook.com

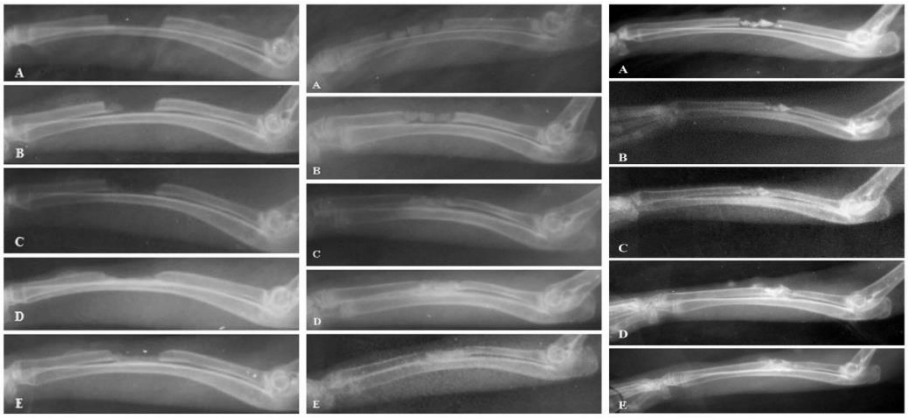
مطالعات بر روی مرجان‌های خلیج فارس در مهندسی بافت

با گرما دادن به مرجان خلیج فارس تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد، مواد ارگانیک آن را حذف نمودند. مرجان مورد استفاده، دارای دو فاز آراگونیت و کلسیت(دی مورفیسم) بود. در درجه حرارت ۹۰۰ درجه سانتی گراد، تمام فازهای کربناتی مرجان‌ها متلاشی شد. مرجان(pre-heated) به ذرات نانویی هیدروکسی آپاتیت با تبادل شیمیایی با فسفات آمونیم تحت شرایط هیدروترمال تبدیل یافت. هیدروکسی آپاتیت به دست آمده در شکل پودر نانویی بوده و فاقد ناخالصی بود(۵۹). مطالعات رادیولوژیک، بافت شناسی، ماکروسکوپیک و ارزیابی بیومکانیک بر روی جایگزین پیوند استخوان مدل‌های خرگوش آزمایشگاهی در ناحیه دیافیز استخوان رادیوس این حیوانات که بر روی آن‌ها نقایص با اندازهٔ بحرانی ایجاد شده بود، انجام گردید. جایگزین پیوند استخوان شامل مرجان خلیج فارس همراه با پلاسمای غنی از پلاکت انسانی(hPRP) و یا مرجان به تنهایی بود. مطالعه نشان داد که پیوند مرجان همراه با hPRP می‌تواند بازآفرینش استخوانی را در نقایص استخوانی با اندازهٔ بحرانی را با ظرفیت بالایی به سرانجام برساند و از این رو ترکیب مرجان همراه با hPRP به عنوان یک جایگزین جذاب برای بازساخت نقایص دیافیزیال استخوان‌های بلند در مدل‌های جانوری معرفی گردید(۶۰).

همین گروه از پژوهشگران، اسکلت بیرونی مرجان(Porites sp.) جزیره کیش را به شکل قطعات سیلندری ۲ میلی متری در قطر و ۳ میلی متری در طول و شکل دهی این قطعات برای پرکردن نقایص با اندازهٔ بحرانی خرگوش‌های آزمایشگاهی در ناحیهٔ دیافیز استخوان رادیوس، به کار بردند و آن را با گروه هیدروکسی آپاتیت و گروه شاهد(نقص استخوانی رها شده به صورت خالی) مقایسه نمودند. بررسی رادیولوژیک در روز اول، سپس ۲، ۴، ۶، ۸ هفته بعد از عمل برای ارزیابی ساخت استخوان، جوش خوردگی و remodeling نقص استخوانی انجام شد. سپس در ۵۶ روز پس از عمل نیز استخوان رادیوس برداشته شد و از دیدگاه بافت شناسی مورد بررسی قرار گرفت. آزمون بیومکانیک نیز بر روی اندام جلویی نرمال و عمل شده نیمی از حیوانات هر گروه انجام گردید. بر اساس این مطالعات،

www.takbook.com

تفاوت چشمگیری میان هیدروکسی آپاتیت و مرجان خلیج فارس به دست نیامد ولی هر دو گروه در ۸ هفته بعد از عمل در مقایسه با گروه شاهد، کارایی بهتری داشتند(۶۱). پیش از این نیز نشان داده شده بود که مرجان طبیعی(به صورت کربنات کلسیم) از بسیاری از جهات همانند هیدروکسی آپاتیت است. این ماده زیست پذیر بوده و دارای ویژگی رسانش استخوانی است ولی مشابه هیدروکسی آپاتیت، خصوصیت القاء استخوانی ندارد ولی تفاوت عمده میان این دو در ساختار شیمیایی آن‌ها است که هیدروکسی آپاتیت، فسفات کلسیم است در حالی که مرجان، کربنات کلسیم می‌باشد(۶۱).



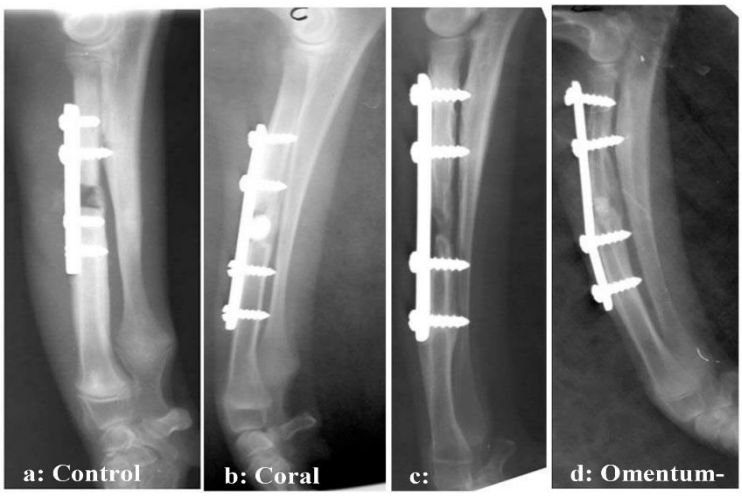
شکل ۴۰: کارآمدی هیدروکسی آپاتیت در مقایسه با مرجان خلیج فارس در مدل آزمایشگاهی جانوری در بازساخت نقص استخوان‌های دراز. رادیوگرافی اندام جلویی در گروه کنترل (سمت چپ)، گروه هیدورکسی آپاتیت (میانی) و گروه مرجان(سمت راست) در روز اول (a)، ۱۴ (b)، ۲۸ (c)، ۴۲ (d) و ۵۶ (e) پس از عمل

(Parizi AM, Oryan A, Shafiei-Sarvestani Z, *et al.* Effectiveness of synthetic hydroxyapatite versus Persian Gulf coral in an animal model of long bone defect reconstruction. *J Orthop Traumatol.* 2013; 14(4): 259-68)

پژوهشگران ایرانی برای نخستین بار از کاربرد هم زمان اومنتوم (omentum) با کربنات کلسیم جهت ارتقاء بهبود زخم استفاده کردند. منبع کربنات کلسیم همان مرجان(Porites sp.) خلیج فارس از جزیره کیش بود که قطعات سیلندری در ابعاد ۴

www.takbook.com

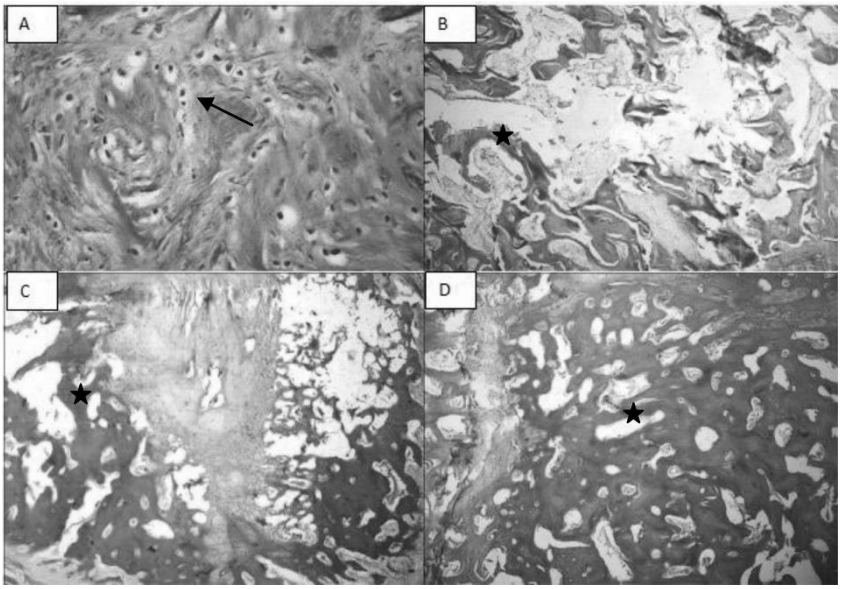
میلی متر در قطر و ۱۰ میلی متر در طول آن جهت پر کردن نقایص ایجاد شده در مدل‌های جانوران آزمایشگاهی(سگ‌ها) مورد استفاده قرار گرفت(۷). اومنتوم یک جزء مهم جهت تأمین عروق برای ایمپلانت است و وجود عروق خونی فراوان، آن را منبع خوبی برای مواد مغذی، اکسیژن، فاکتورهای رشد و رگ زا و خلق ریز محیط مناسب برای القاء بافتی، تبدیل نموده است. جریان عروق مناسب اومنتوم، موجب افزایش غلظت اکسیژن و در نتیجه تولید سلول‌های پیش ساز استخوانی از سلول‌های مزانشیمی اطراف عروقی می‌شود. پژوهشگران پی بردند که در مقایسه با گروه شاهد، شاخص‌های بهبودی استخوان در گروه مرجان، اومنتوم و اومنتوم توأم با مرجان، در ارزیابی‌های رادیولوژیک و بافت شناسی در ۶۰ روز پس از عمل، چشمگیر می‌باشند(۷).



شکل ۴۱: کاربرد همزمان اومنتوم با مرجان خلیج فارس در بهبودی نقص استخوان در سگ (ارزیابی رادیولوژیک در ۶۰ روز پس از عمل). در گروه کنترل (a)، گروه ترمیم با مرجان (b)، گروه ترمیم با اومنتوم (c)، گروه اومنتوم همراه با مرجان

(Karimi I, Bigham-Sadegh A, Oryan A, *et al.* Concurrent Use of Greater Omentum with Persian Gulf Coral on Bone Healing in Dog: a Radiological and Histopathological Study. *IJVS.* 2013; 8(2): 35-42)

www.takbook.com



شکل ۴۲: در ۶۰ روز پس از عمل، در بررسی بافت شناسی، استخوان بازآفرینش شده با ساختار تیپیک ساخت استخوان ترابکولار در نقص در بخش تجربی گروه اومنتوم (B)، گروه اومنتوم همراه با مرجان (C) و گروه مرجان (D) مشاهده شد (رنگ آمیزی H&E، ۱۰X). برعکس، فعالیت استخوان سازی ضعیف همراه با کمترین ساخت استخوان و بافت پیوندی با فیبروز بالا و غضروفی فیبری(⟶) در نقص گروه کنترلی (A) را می‌توان رؤیت نمود (رنگ آمیزی H&E، ۴۰X).

(Karimi I, Bigham-Sadegh A, Oryan A, *et al.* Concurrent Use of Greater Omentum with Persian Gulf Coral on Bone Healing in Dog: a Radiological and Histopathological Study. *IJVS.* 2013; 8(2): 35-42)

کشت و پرورش مرجان و مهندسی بافت

مرجان‌های سخت از ذخیره‌های طبیعی می‌باشند که حیات آن‌ها با مخاطره روبرو شده است. از این رو، در پیوست دوم (حساس به بهره‌برداری ولی نه هنوز در خطر انقراض) پیمان نامهٔ گونه‌های در معرض خطر کنوانسیون تجارت جهانی، قرار گرفته‌اند؛ هر چند که در مقایسه با صدمات حاصله از آلودگی‌ها، طوفان‌ها و شیوه‌های مخرب ماهیگیری، برداشت تجاری از مرجان‌ها، احتمالاً اثر کمی دارد. امّا با این وجود، کنترل و مدیریت آبسنگ‌های مرجانی مانند آنچه که در استرالیا انجام گردید، موجب شده است که چشم

www.takbook.com

امید به سوی کشت و پرورش مرجان‌ها در آکواریوم، باز شود. برای بعضی از مرجان‌های شاخه دار، قطعات کوچک را در ابعاد مناسب تجاری می‌توان از آکواریوم‌های پرورشی که در آنها رشد کرده‌اند، برداشت نمود و به فروش رساند. در همین زمان نیز باید امید داشته باشیم که ذخایر وحشی این موجودات ارزشمند، به جایگاه نخستین خود بازگردند. امّا آنچه هم اکنون هویدا است (با توجه به رشد متوسط یک سانتیمتری در سال برای گونه‌های مرجانی) می‌بایست جایگزین‌های دیگر را برای آن‌ها در طبیعت، برای مهندسی بافت، جستجو نمود تا بتوان نیاز رو به رشد بازار جهانی را به این زیستمندان با ارزش برآورده نمود. برای مثال، شرکت تجارتی که هیدروکسی آپاتیت مرجانی (Pro-Osteon TM) می‌سازد به ۲ تا ۴ تن مرجان در سال از اقیانوس‌های آرام و هند نیاز دارد(۱۳).

امروزه به محصولات طبیعی دریایی "طلای آبی" نام نهاده‌اند زیرا بی‌شک دریاها داروخانهٔ آینده هستند و در این گذر، فناوری کشت و پرورش (مانند مرجان ها) در پویایی و ایجاد پایداری این منابع نقش حیاتی را ایفا می‌نماید(۶۲). مطالعات اخیر بر روی اسکلت پنج گونه مرجان پرورشی از دو خانوادهٔ (Pocilloporidae و Acroporidae) نشانگر آن است که نمونه‌های این گونه‌ها، سلول پذیر (غیر توکسیک و با ویژگی‌های ماتریکس سطحی مناسب برای سلول ها) و زیست پذیر بوده و می‌توان آن‌ها را برای ماتریکس‌های سه بعدی جهت مهندسی بافت استخوان به کار برد(۶۳).

نگاه به آینده

شاید حد ایده آل در مهندسی بافت مرجان‌های سخت آن باشد که به روزی برسیم که بتوان سلول‌های زاینده (Progenitor) همراه با شبکهٔ کامل ملکول‌های زیستی مؤثر در زیست، ایمن پذیری، رشد، تمایز و دیگر فعالیت‌های متابولیکی را که از نقشه‌های پروتئومیک و متابولومیک شبکه‌های بازآفرینشی فراهم آمده‌اند را در کنار اجزاء داربست‌های مرجانی به گونه‌ای آراست که امکان ایجاد شبکهٔ رگ‌زایی و ساخت بافت‌های سه بعدی با تمام نیازهای گردشی و تأمین مواد مغذی و متابولیتی آن‌ها در بیرون

www.takbook.com

امکان‌پذیر شده تا این سازه‌های نیمه صناعی را در کوتاه‌ترین زمان بر اساس نیازهای بافتی مورد نیاز با چاپگرهای سه بعدی، هماهنگ با فرد گیرندهٔ پیوند، با رعایت تمام موارد پزشکی فردگرایانه(Personalized Medicine)، آفرینش نمود تا جایگزین مناسبی برای بافت‌های از دست رفته و یا صدمه دیده در تروماها و یا دژنره در گذار پیری شوند. به نظر می‌رسد سامانه‌های کشت عضو(Organ Culture Systems) می‌توانند در آشکار سازی مکانیسم‌های پنهان در ساخت الگوهای بیولوژی رشد و نموی(Developmental Biology) برای راه یابی به این چشم انداز بسیار کارآمد باشند. برای مثال، می‌توان سامانه‌های کشت استخوان را با ادوات میکروفلوئیدیک جهت ایجاد شبکه‌های مویرگی نفوذپذیر خود سازماندهی شده، با هدف مطالعات پایه در سطح مکانیسم‌های رشد و نمو و تمایز بافت‌های استخوانی، به کار برد(۶۴).

در افق آینده و ورود انسان به دوران همزیستی انسان و ماشین، شاید لازم باشد که ادوات پیوندی برآمده از مهندسی بافت بتوانند با بافت‌های غیرتکامل یابنده صناعی و ماشینی در تعامل قرار گیرند و از این رو می‌بایست سطح تماس(interface) با پروتزهای الکترومکانیکی و نیز ممزوج شدن سلول‌های زنده با ماشین‌های حمایت کنندهٔ زندگی(Life-Support Machine) مورد بازتعریف قرار گیرند و بدین سان می‌بایست منتظر رشد و نمو بیولوژی صناعی در دههٔ آینده بود. هرچند که هنوز تا نیل به این اهداف ممکن است راه زیادی را داشته باشیم تا بتوانیم بافت‌های صناعی را خلق کنیم ولی فراموش نکنیم که حداقل چارچوب کارهای آینده را هم اکنون در دست داریم(۶۵). پیش از رسیدن به این افق، پژوهشگران عزیز کشورمان می‌بایست با استفاده از داربست‌های مرجانی در ترکیب با عوامل رشد کنترل شده و فناوری سلول‌های بنیادی به منظور توسعه جایگزین‌های پیوندی زیست پذیر، تجزیه پذیر که نه تنها دارای توان رسانش استخوانی بلکه پتانسیل القاء استخوانی هستند، در تکامل مهندسی بافت دریایی تلاش نمایند.

ما مالک خلیج فارس به عنوان یک نعمت الهی هستیم و این دریا مملو از جانوران بی‌مهره‌ی کلسیفه کننده (Calcifying) هستند که دارای ماتریکس‌های ارگانیک اسکلتی

www.takbook.com

می‌باشند که می‌توان از آن‌ها به عنوان منبع پتانسیلی برای یافت پروتئین القاء کنندهٔ رشد که تا کنون مورد پژوهش قرار نگرفته‌اند، استفاده برد و گستره‌های نوینی را فراروی پژوهشگران عرصه‌های مهندسی بافت و پزشکی بازآفرینشی گشود. در دسترس بودن شواهد کافی برای وجود آنالوگ‌های پروتئین ماتریکس استخوانی در بی‌مهرگان دریایی همراه با شیوه‌های جدید برای کشت و پرورش نوآورانه آن‌ها در مقیاس‌های پژوهشی و حتی تجاری جهت به دست آوردن یک منبع پایدار پروتئین‌های دریایی با توان کاربردهای پزشکی، این افق را بسیار روشن می‌نماید(۶۶).

www.takbook.com

منابع

1. Tissue Engineering and Regenerative Medicine. *National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB).* 2013. (Accessed 04 Jul 2016 at https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/tissue-engineering-and-regenerative-medicine).

2. Jabbarzadeh E, Blanchette J, Shazly T, *et al.* Vascularization of Biomaterials for Bone Tissue Engineering: Current Approaches and Major Challenges. *Current Angiogenesis.* 2012; 1(3): 180-91.

3. Salgado AJ, Coutinho OP, Reis RL. Bone tissue engineering: state of the art and future trends. *Macromol Biosci.* 2004; 4(8): 743-65.

4. Castells-Sala C, Alemany-Ribes M, Fernández-Muiños T, *et al.* Current Applications of Tissue Engineering in Biomedicine. *Journal of Biochips & Tissue Chips, suppl. Tissue Engineering S2.* 2013: 1-14.

5. Sheikh Z , Najeeb S, Khurshid Z, *et al.* Biodegradable Materials for Bone Repair and Tissue Engineering Applications. *Materials.* 2015; *8*(9): 5744-94. (Accessed 04 Jul 2016 at www.mdpi.com/1996-1944/8/9/5273/pdf).

6. Holy CE, Shoichet MS, Davies JE. Engineering three-dimensional bone tissue in vitro using biodegradable scaffolds: investigating initial cell-seeding density and culture period. *J Biomed Mater Res.* 2000; 51(3): 376-82.

7. Karimi I, Bigham-Sadegh A, Oryan A, *et al.* Concurrent Use of Greater Omentum with Persian Gulf Coral on Bone Healing in Dog: a Radiological and Histopathological Study. *IJVS.* 2013; 8(2): 35-42. (Accessed 04 Jul 2016 at http://www.ivsajournals.com/article_4591_0.html).

8. Nabipour I. Megatrends in medicine. Bushehr University of Medical Sciences Press. 2014. P.88.

9. Hou R, Chen F, Yang Y, *et al.* Comparative study between coral-mesenchymal stem cells-rhBMP-2 composite and auto-bone-graft in rabbit critical-sized cranial defect model. *J Biomed Mater Res A.* 2007; 80(1): 85-93.

10. Nandi SK, Roy S, Mukherjee P, *et al.* Orthopaedic applications of bone graft & graft substitutes: a review. *Indian J Med Res.* 2010; 132: 15-30.

11. Chiroff RT, White EW, Weber KN, *et al.* Tissue ingrowth of Replamineform implants. *J Biomed Mater Res.* 1975; 9(4): 29-45.

12. Saha A, Yadav R, Rajendran N. Biomaterials from Sponges, Ascidians and Other Marine Organisms. *Int J Pharm Sci Rev.* 2014; 27(2): 100-9.

13. Clarke SA, Walsh P, Maggs CA, *et al.* Designs from the deep: marine organisms for bone tissue engineering. *Biotechnol Adv.* 2011; 29(6): 610-7.

www.takbook.com

14. Silva TH, Alves A, Ferreira BM, *et al.* Materials of marine origin: a review on polymers and ceramics of biomedical interest. *International Materials Reviews.* 2012; 57(5): 276-306.

15. Damien E, Revell PA. Coralline hydroxyapatite bone graft substitute: A review of experimental studies and biomedical applications. *J Appl Biomater Biomech.* 2004; 2(2): 65-73.

16. Roy DM, Linnehan SK. Hydroxyapatite formed from coral skeletal carbonate by hydrothermal exchange.Nature 1974:25;247(5438):220-2.

17. Sivakumar M, Kumar TS, Shantha KL, *et al.* Development of hydroxyapatite derived from Indian coral. *Biomaterials.* 1996; 17(17): 1709-14.

18. Demers C, Hamdy CR, Corsi K, *et al.* Natural coral exoskeleton as a bone graft substitute: a review. *Biomed Mater Eng.* 2002; 12(1): 15-35.

19. Guillemin G, Patat JL, Fournie J, *et al.* The use of coral as a bone graft substitute. *J Biomed Mater Res.* 1987; 21(5): 557-67.

20. Roux FX, Brasnu D, Loty B, *et al.* Madreporic coral: a new bone graft substitute for cranial surgery. *J Neurosurg.* 1988; 69(4): 510-3.

21. Pouliquen JC, Noat M, Verneret C, *et al.* Coral substituted for bone grafting in posterior vertebral arthrodesis in children. Initial results. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1989; 75(6): 360-9.

22. Papacharalambous SK, Anastasoff KI. Natural coral skeleton used as onlay graft for contour augmentation of the face. A preliminary report. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 1993; 22(5): 260-4.

23. Kumar VM, Govind GK, Siva B, *et al.* Corals as Bone Substitutes. *Journal of International Oral Health.* 2016; 8(1): 96-102.

24. R Jeyabaskaran, PS Lyla, SA Khan. Coral: “The excellent bone graft material". *Seafood Export J.* 1996; 27(5): 27-8.

25. Knackstedt MA, Arns CH, Senden TJ, *et al.* Structure and properties of clinical coralline implants measured via 3D imaging and analysis. *Biomaterials.* 2006; 27(13):2776-86.

26. Chou J, Hao J, Ben-Nissan B, *et al.* Coral exoskeletons as a precursor material for the development of a calcium phosphate drug delivery system for bone tissue engineering. *Biol Pharm Bull.* 2013; 36(11): 1662-5.

27. Fillingham Y, Jacobs J. Bone grafts and their substitutes. *Bone Joint J.* 2016; 98-B (1 Suppl A): 6-9.

28. Holmes RE. Bone regeneration within a coralline hydroxyapatite implant. *Plast Reconstr Surg.* 1979; 63(5): 626-33.

www.takbook.com

29. Holmes R, Mooney V, Bucholz R, *et al.* A coralline hydroxyapatite bone graft substitute. Preliminary report. *Clin Orthop Relat Res*. 1984; (188): 252-62.

30. Sartoris DJ, Gershuni DH, Akeson WH, *et al.* Coralline hydroxyapatite bone graft substitutes: preliminary report of radiographic evaluation. *Radiology.* 1986; 159(1): 133-7.

31. Sartoris DJ, Holmes RE, Bucholz RW, *et al.* Coralline hydroxyapatite bone-graft substitutes in a canine diaphyseal defect model. Radiographic-histometric correlation. *Invest Radiol.* 1987; 22(7): 590-6.

32. Mora F, Ouhayoun JP. Clinical evaluation of natural coral and porous hydroxyapatite implants in periodontal bone lesions: results of a 1-year follow-up. *J Clin Periodontol.* 1995; 22(11): 877-84.

33. Preidler KW, Lemperle SM, Holmes RE, *et al.* Coralline hydroxyapatite bone graft substitutes. Evaluation of bone density with dual energy x-ray absorptiometry. *Invest Radiol.* 1996; 31(11): 716-23.

34. Elsinger EC, Leal L. Coralline hydroxyapatite bone graft substitutes. *J Foot Ankle Surg.* 1996; 35(5): 396-9.

35. Rahimi F, Maurer BT, Enzweiler MG. Coralline hydroxyapatite: a bone graft alternative in foot and ankle surgery. *J Foot Ankle Surg.* 1997; 36(3): 192-203; discussion 255-6.

36. Coughlin MJ, Grimes JS, Kennedy MP. Coralline hydroxyapatite bone graft substitute in hindfoot surgery. *Foot Ankle Int.* 2006; 27(1): 19-22.

37. Thalgott JS, Klezl Z, Timlin M, *et al.* Anterior lumbar interbody fusion with processed sea coral (coralline hydroxyapatite) as part of a circumferential fusion. *Spine* (Phila Pa 1976). 2002; 27(24): E518-25; discussion E526-7.

38. Korovessis P, Repanti M, Koureas G. Does coralline hydroxyapatite conduct fusion in instrumented posterior spine fusion? *Stud Health Technol Inform.* 2002; 91: 109-13.

39. Mendelson BC, Jacobson SR, Lavoipierre AM, *et al.* The Fate of Porous Hydroxyapatite Granules Used in Facial Skeletal Augmentation. *Aesthetic Plast Surg.* 2010; 34(4): 455-61.

40. Fu K, Xu Q, Czernuszka J, *et al.* Characterization of a biodegradable coralline hydroxyapatite/calcium carbonate composite and its clinical implementation. *Biomed Mater.* 2013; 8(6): 065007.

41. Michel J, Penna M, Kochen J, *et al.* Recent Advances in Hydroxyapatite Scaffolds Containing Mesenchymal Stem Cells. *Stem Cells Int.* 2015; 2015: 305217.

42. Zhang S, Mao T, Wang H. An experimental study on the bone repairing ability of recombinant human bone morphogenetic protein-2-coral composited artificial bone. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi.* 1998; 33(1): 13-4.

www.takbook.com

43. Arnaud E, De Pollak C, Meunier A, *et al.* Osteogenesis with coral is increased by BMP and BMC in a rat cranioplasty. *Biomaterials.* 1999; 20(20): 1909-18.

44. Chen F, Chen S, Tao K, *et al.* Marrow-derived osteoblasts seeded into porous natural coral to prefabricate a vascularised bone graft in the shape of a human mandibular ramus: experimental study in rabbits. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2004; 42(6): 532-7.

45. Ma Q, Mao T, Liu B, *et al.* Vascular osteomuscular autograft prefabrication using coral, type I collagen and recombinant human bone morphogenetic protein-2. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2000; 38(5): 561-4.

46. Al-Salihi KA. Tissue-engineered bone via seeding bone marrow stem cell derived osteoblasts into coral: a rat model. *Med J Malaysia.* 2004; 59 Suppl B: 200-1.

47. Liu G, Zhang Y, Liu B,*et al.* Bone regeneration in a canine cranial model using allogeneic adipose derived stem cells and coral scaffold. Biomaterials 2013:34(11):2655-64.

48. Geiger F, Lorenz H, Xu W, *et al.* VEGF producing bone marrow stromal cells (BMSC) enhance vascularization and resorption of a natural coral bone substitute. *Bone.* 2007; 41(4): 516-22.

49. AL-Salihi KA. In vitro evaluation of Malaysian natural coral porites bone graft substitutes (CORAGRAF) for bone tissue engineering: A preliminary study. Brazilian Journal of Oral Sciences. 2009; 8(4): 210-16. (Accessed 04 Jul 2016 at http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/bjos/article/view/8642090).

50. Tran CT, Gargiulo C, Thao HD, *et al.* Culture and differentiation of osteoblasts on coral scaffold from human bone marrow mesenchymal stem cells. *Cell Tissue Bank.* 2011; 12(4): 247-61.

51. Tripathi A, Subramanya Narayana P, Govind Keshri G, *et al.* Tissue Engineered Osteogenesis in Bone Defects by Homologous Osteoblasts Loaded on Sterile Bioresorbable Coral Scaffold in Rabbits. *Surgical Science.* 2011; 2(7): 369-75.

52. Cai L, Wang Q, Gu C, *et al.* Vascular and micro-environmental influences on MSC-coral hydroxyapatite construct-based bone tissue engineering. *Biomaterials.* 2011; 32(33): 8497-505.

53. Shafiei-Sarvestani Z, Oryan A, Bigham AS, *et al.* The effect of hydroxyapatite-hPRP, and coral-hPRP on bone healing in rabbits: radiological, biomechanical, macroscopic and histopathologic evaluation. *Int J Surg.* 2012; 10(2): 96-101.

54. Liu G, Zhang Y, Liu B, *et al.* Bone regeneration in a canine cranial model using allogeneic adipose derived stem cells and coral scaffold. *Biomaterials.* 2013; 34(11): 2655-64.

55. Manassero M, Viateau V, Deschepper M, *et al.* Bone regeneration in sheep using acropora coral, a natural resorbable scaffold, and autologous mesenchymal stem cells. *Tissue Eng Part A.* 2013; 19(13-14): 1554-63.

www.takbook.com

56. Puvaneswary S, Rao Balaji Raghavendran H, Syuhada Ibrahim N, *et al.* A Comparative Study on Morphochemical Properties and Osteogenic Cell Differentiation within Bone Graft and Coral Graft Culture Systems. *Int J Med Sci.* 2013; 10(12): 1608–1614.

57. Geng W, Ma D, Yan X, *et al.*Engineering tubular bone using mesenchymal stem cell sheets and coral particles. Biochem Biophys Res Commun 2013:19;433(4):595-601.

58. Nandi SK, Kundu B, Mukherjee J, *et al.* Converted marine coral hydroxyapatite implants with growth factors: in vivo bone regeneration. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2015; 49: 816-23.

59. Zamani S, Mobasherpour I, Salahi E. Synthesis of nano calcium hydroxyapatite from Persian Gulf coral. 2012. (Accessed 04 Jul 2016 at http://icns4.nanosharif.ir/proceedings/files/proceedings/APP063.pdf).

60. Parizi AM, Oryan A, Shafiei-Sarvestani Z, *et al.* Human platelet rich plasma plus Persian Gulf coral effects on experimental bone healing in rabbit model: radiological, histological, macroscopical and biomechanical evaluation. *J Mater Sci Mater Med.* 2012; 23(2): 473-83.

61. Parizi AM, Oryan A, Shafiei-Sarvestani Z, *et al.* Effectiveness of synthetic hydroxyapatite versus Persian Gulf coral in an animal model of long bone defect reconstruction. *J Orthop Traumatol.* 2013; 14(4): 259-68.

62. Leal MC, Calado R, Sheridan C, *et al.* Coral aquaculture to support drug discovery. *Trends Biotechnol.* 2013; 31(10): 555-61.

63. Sergeeva NS, Britaev TA, Sviridova IK, *et al.* Scleractinium coral aquaculture skeleton: a possible 3D scaffold for cell cultures and bone tissue engineering. *Bull Exp Biol Med.* 2014; 156(4): 504-8.

64. Miura T, Yokokawa R. Tissue culture on a chip: Developmental biology applications of self-organized capillary networks in microfluidic devices. *Dev Growth Differ.* 2016. (Accessed 04 Jul 2016 at http://www.ncbi.nlm.nih.gov /pubmed/27272910).

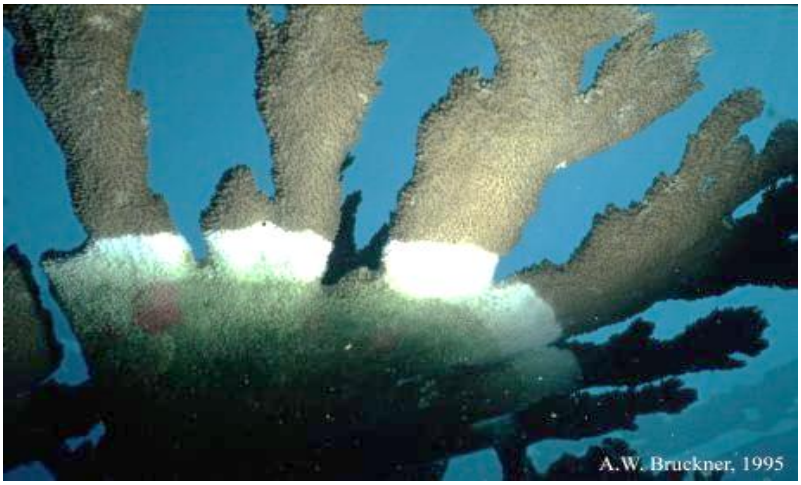
65. Davies JA, Cachat E. Synthetic biology meets tissue engineering. *Biochem Soc Trans.* 2016; 44(3): 696-701.

66. Green DW, Padula MP, Santos J, *et al.* A therapeutic potential for marine skeletal proteins in bone regeneration. *Mar Drugs.* 2013; 11(4): 1203-20.

www.takbook.com

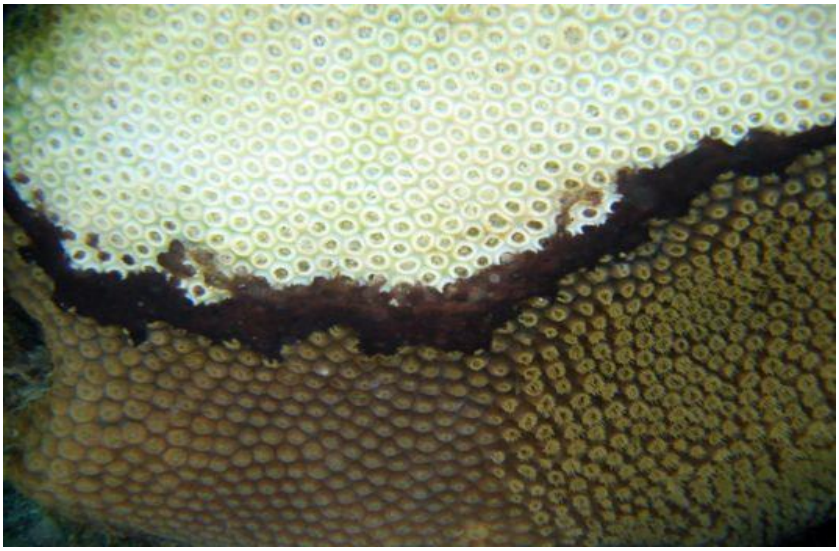
پیوست اول

تصویر ۱: بیماری نوار زرد در مرجان جنس *Diploastraea* (Cervino *et al.*2008)

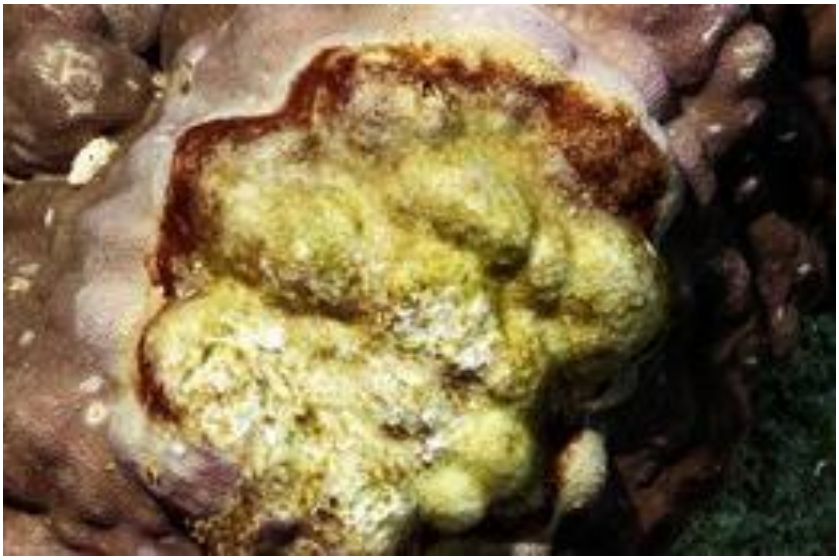


تصویر ۲: بیماری نوار سفید در جنس *Acropora*

www.takbook.com



تصویر ۳: بیماری نوار سیاه



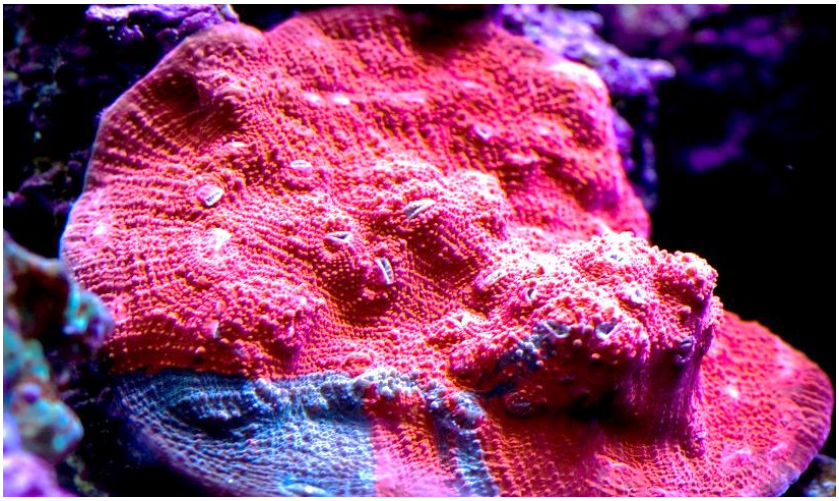
تصویر ۴: بیماری نوار قرمز

www.takbook.com

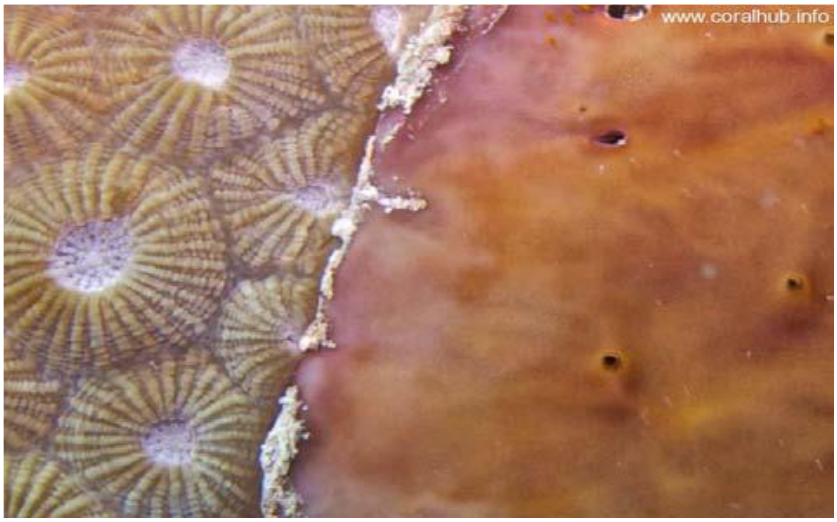
تصویر ۵: آسیب ناشی از رسوب

تصویر ۶: رشد غیرطبیعی در مرجان‌های جنس Platygyra
(Weil & Hooten, 2008)

www.takbook.com

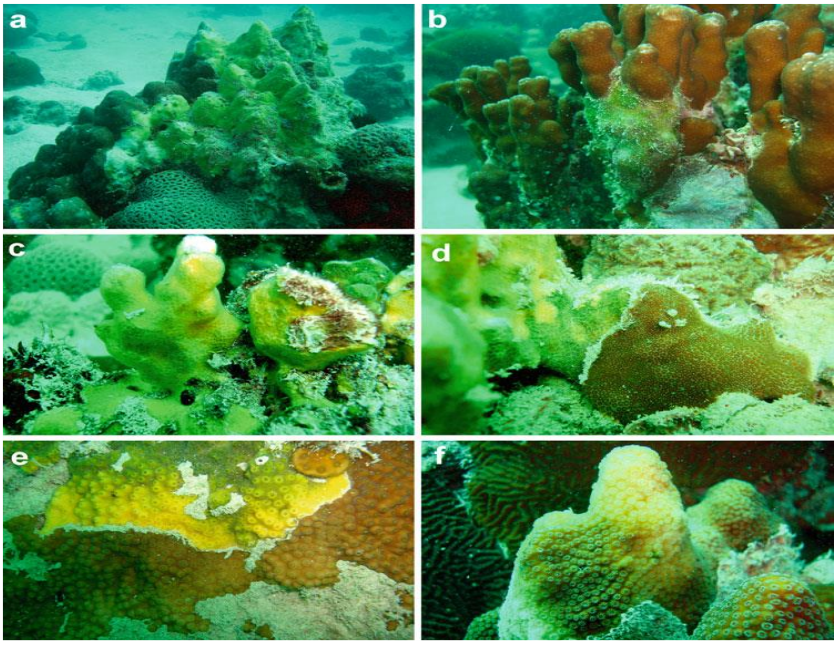


تصویر ۷: تغییر رنگ در آبسنگ‌های مرجانی



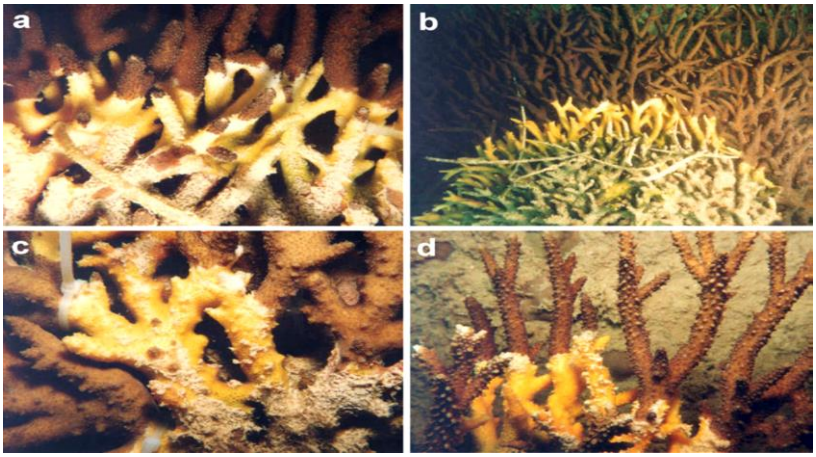
تصویر ۸: پوشیده شدن مرجان‌های جنس *Diploastrea* توسط اسفنج

www.takbook.com



تصویر ۹: بیماری نوار زرد در

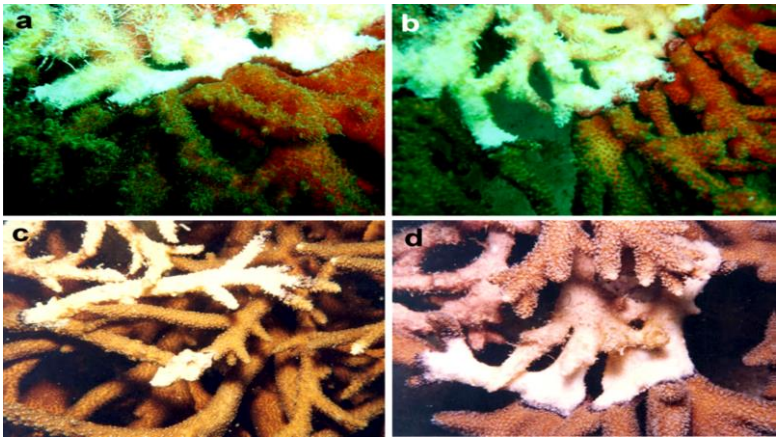
(a) Porites lutea ; (b) Porites harrisoni, (c) Porites harrisoni(Oct. 2009, Abu Dhabi); (d) Porites lutea (Abu Dhabi, May 2008); (e) Turbinaria reniformis (Abu Dhabi, May 2008); (f) Cyphastrea microphthalma (Abu Dhabi, October 2008).



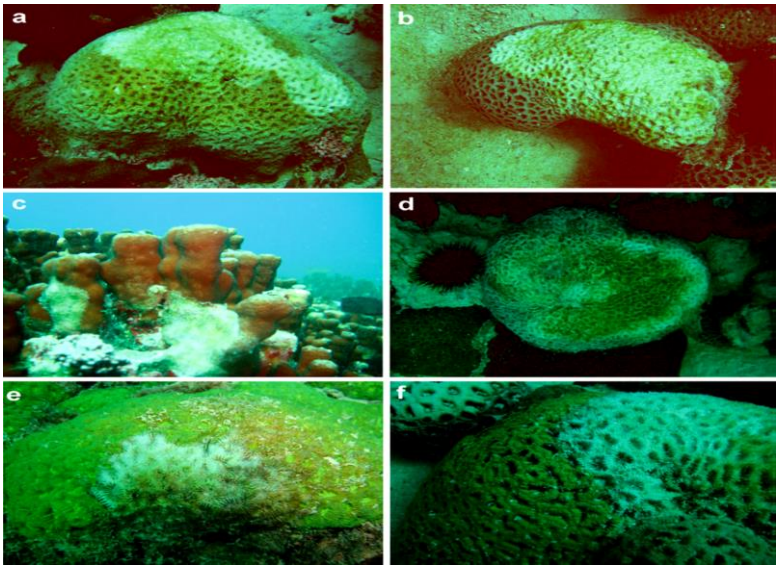
تصویر ۱۰: بیماری نوار زرد در جنس *Acropora*

(a) *Acropora clathrata*. (b) *Acropora clathrata* (c) *Acropora downingi* (d) *Acropora pharaonis* (January 1996, Jebel Ali, Dubai)

www.takbook.com

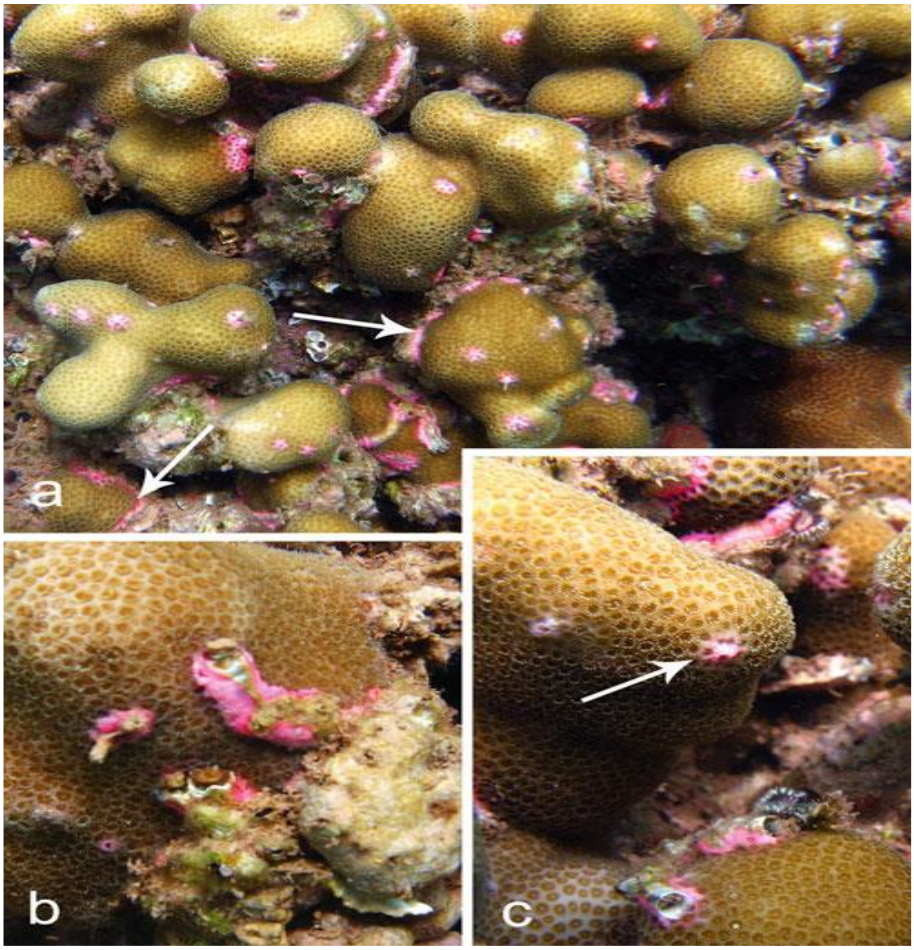


تصویر ۱۱: بیماری نوار سیاه در خلیج فارس
(a) Acropora, (b) Acropora
downingi in September 2009 in Abu Dhabi (Ras Ghanada),
(c) Acropora clathrata in September 1995
(d) Acropora downingi in October 1995 in Dubai (Jebel Ali)



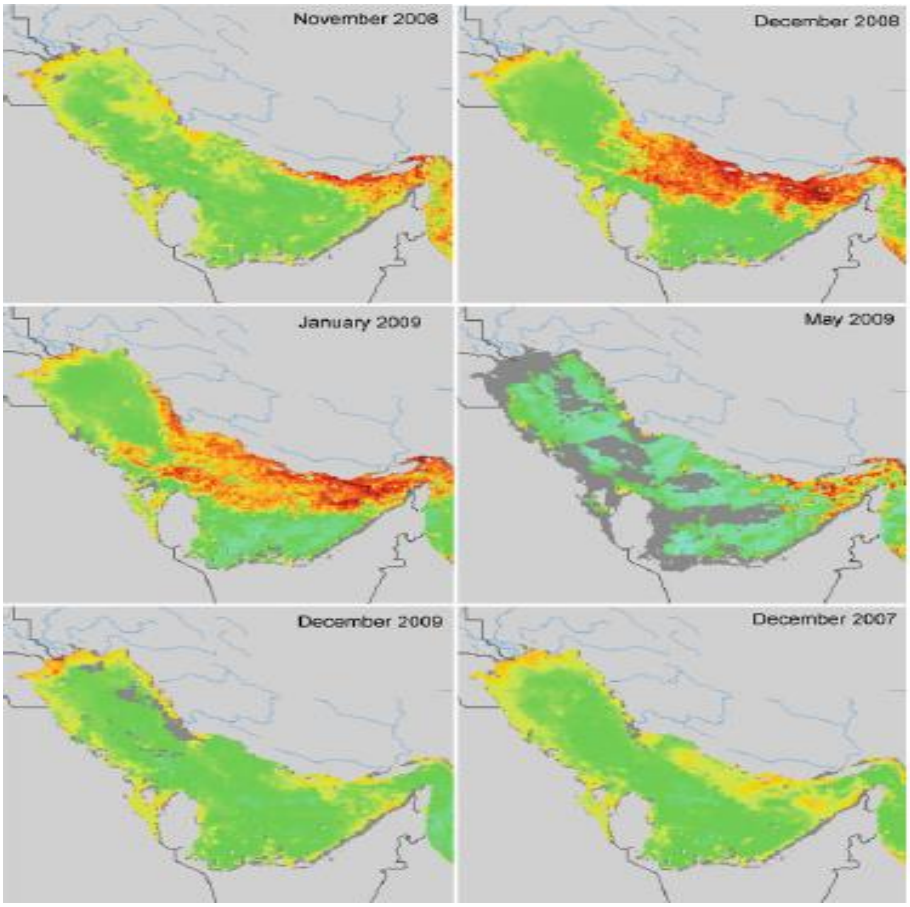
تصویر ۱۲: سندرم سفید در خلیج فارس
(a,b) Favia pallida (Abu Dhabi, May 2009),
(c) Porites harrisoni (Abu Dhabi, October 2008),
(d,e) Favia favus
(f) Favia speciosa

www.takbook.com



تصویر ۱۳: بیماری لکهٔ صورتی در مرجان‌های جنس Porites
در جزایر قشم و لارک در عمق ۴ متری

www.takbook.com



تصویر ۱۴: پدیدهٔ کشند قرمز و پیشروی آن در خلیج فارس

www.takbook.com

پیوست دوم

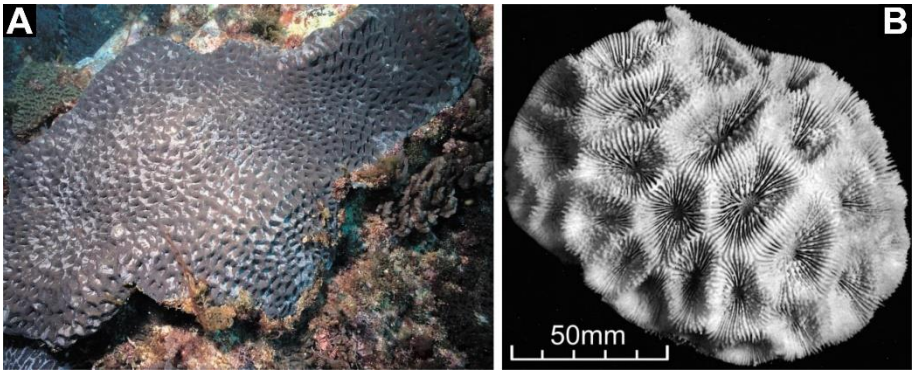


Fig.1: A, B) *Acanthastrea hillae*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

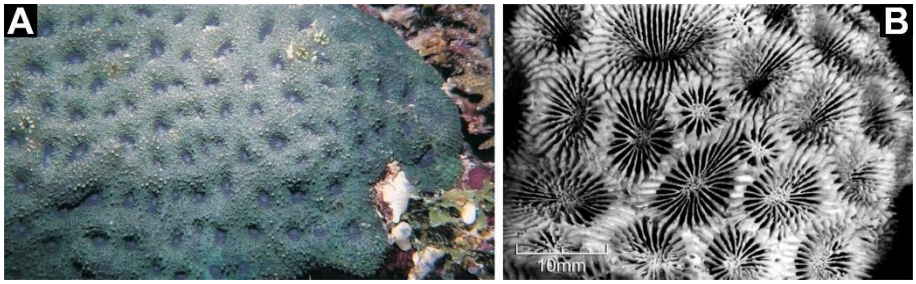


Fig.2: *Acanthastrea echinata*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

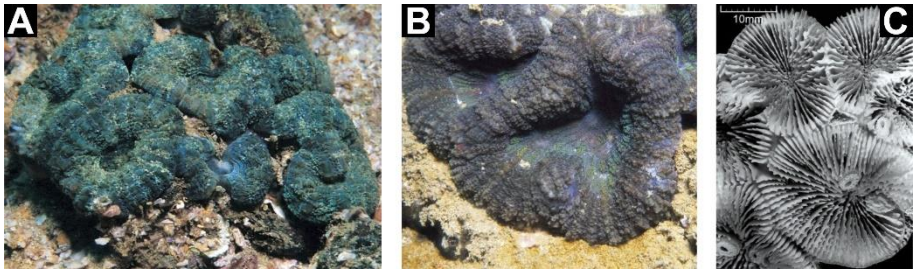


Fig.3: *Acanthastrea maxima*, A,B; Colonie, C; corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

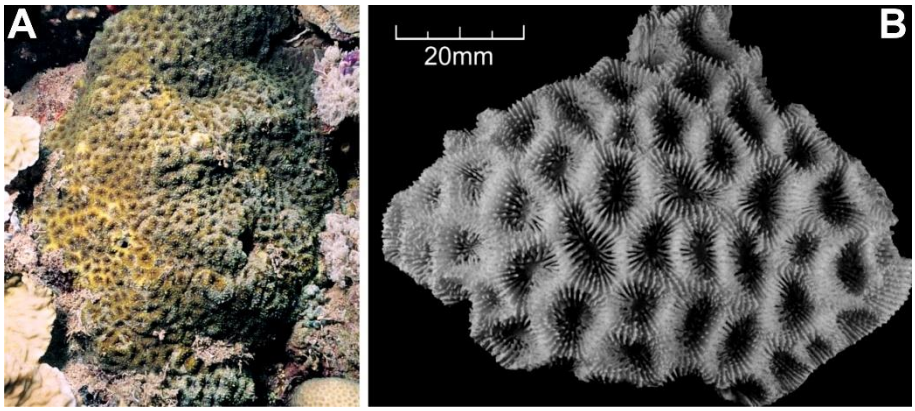


Fig.4: *Acanthastrea hemprichii*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

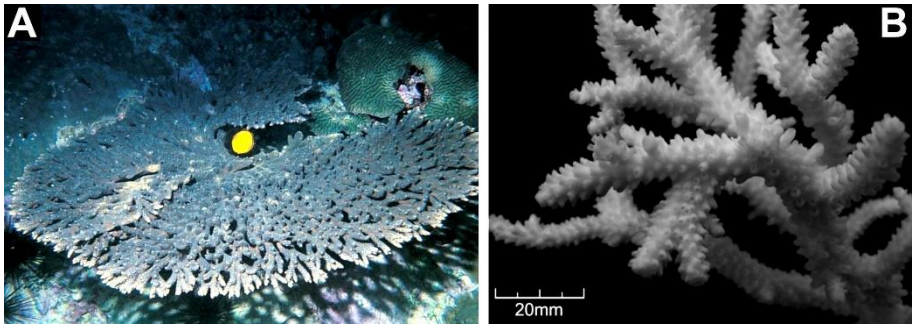


Fig.5: *Acropora downingi*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

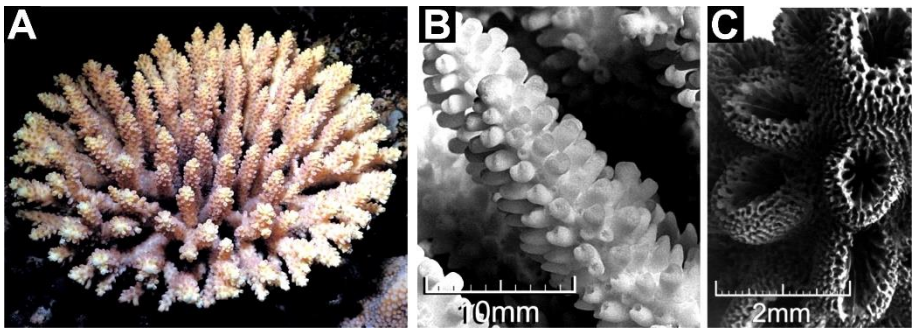


Fig.6: *Acropora nasuta*, A; Colonie, B,C; corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

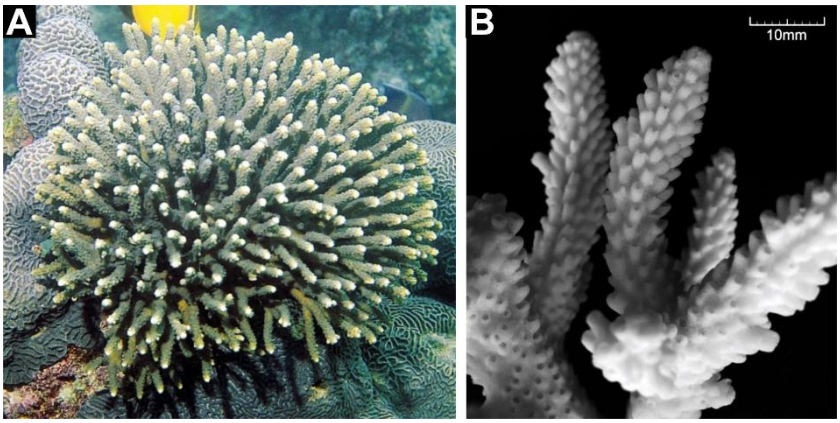


Fig.7: *Acropora arabensis*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

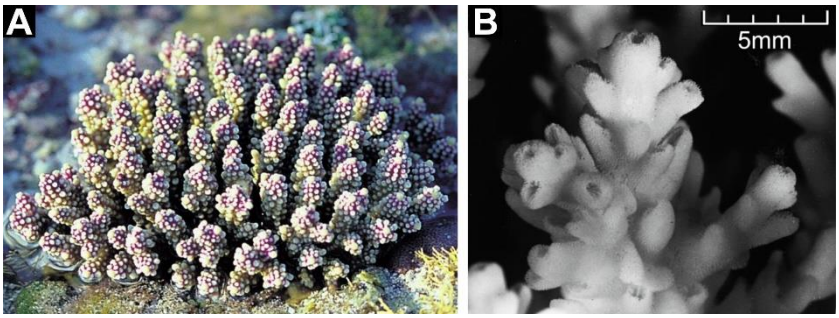


Fig.8: *Acropora valida*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

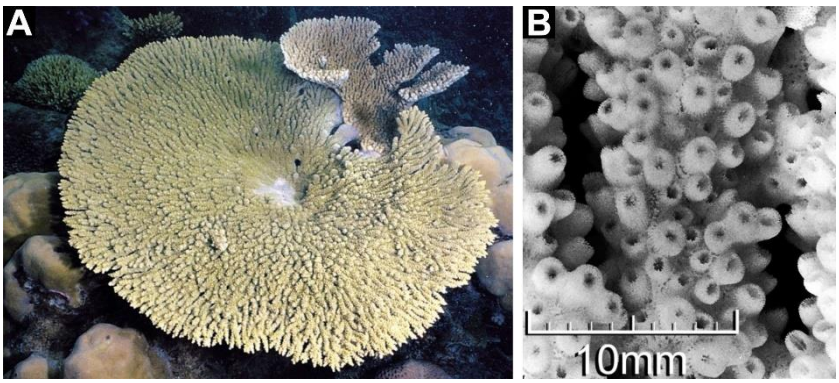


Fig.9: *Acropora clathrata*, A; Coloniem B; corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

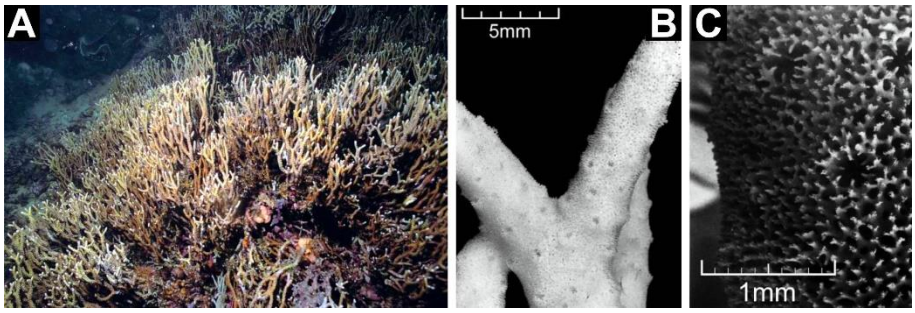


Fig.10: *Anacropora forbesi*, A; Colonie, B,C; corallite (Veron, 2000)

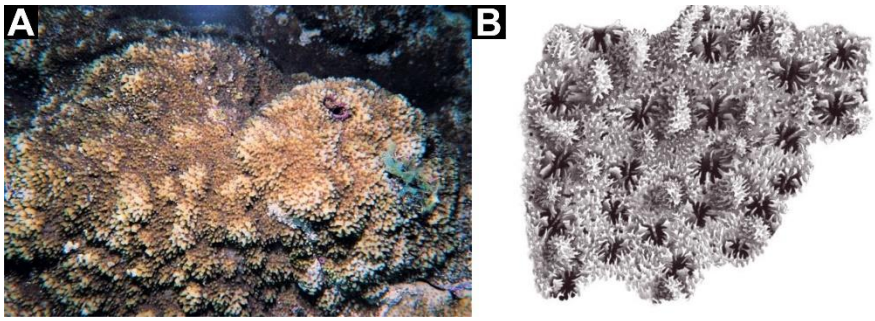


Fig.11: *Montipora tuberculosa*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

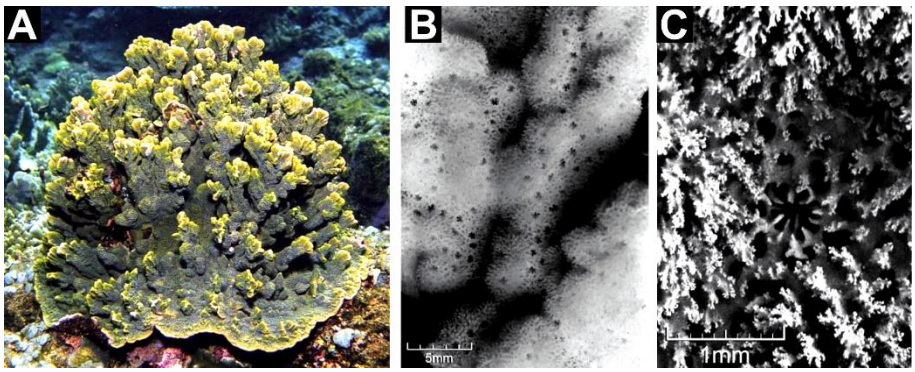


Fig.12: *Montipora spumosa*, A; Colonie, B,C; corallite

www.takbook.com

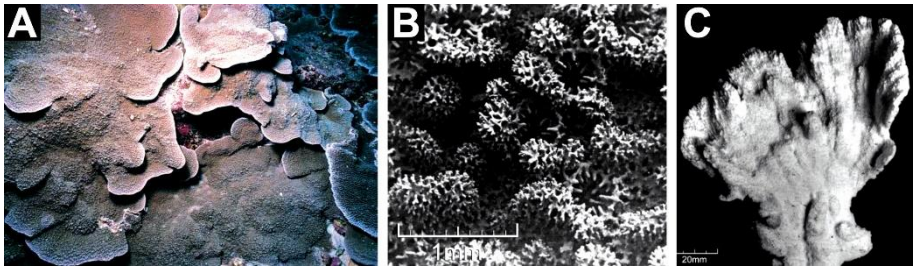


Fig.13: *Montipora aequituberculata,* A; Colonie, B,C; corallite (Veron, 2000)

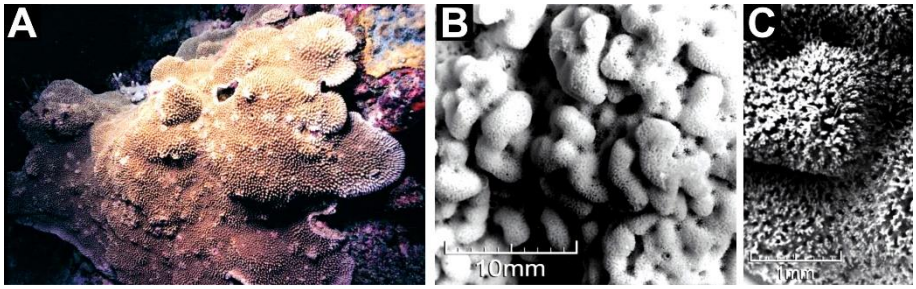


Fig.14: *Montipora danae,* A; Colonie, B,C; corallite (Veron, 2000)

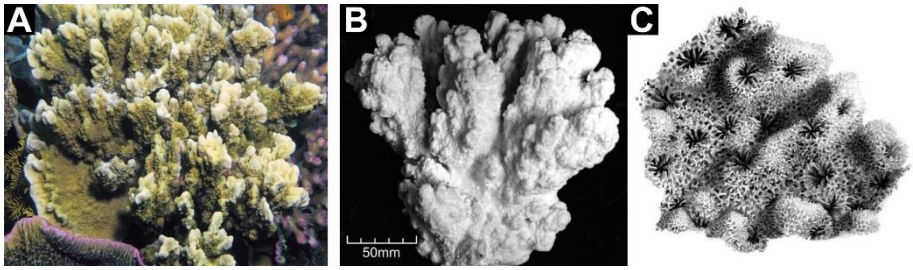


Fig.15: *Montipora incrassate*, A; Colonie, B,C; corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

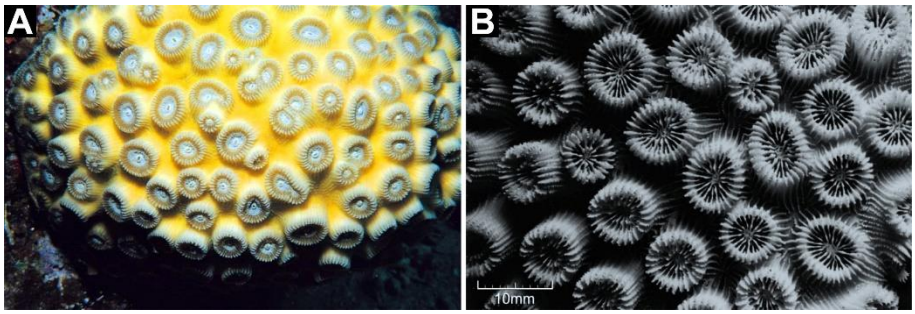


Fig.16: *Barabattoia amicorum*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

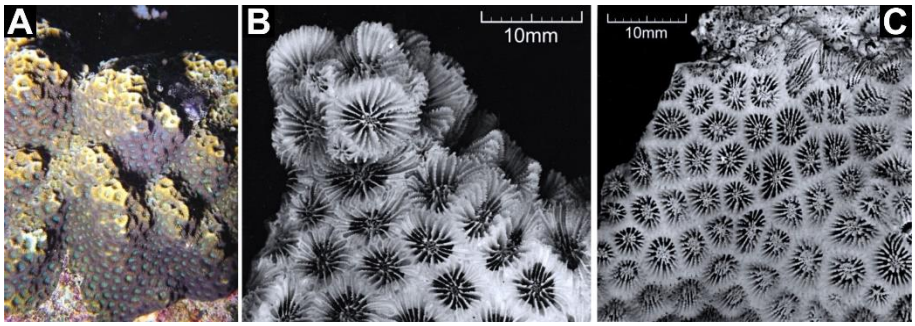


Fig.17: *Favites pentagona*, A; Colonie, B,C; corallite (Veron, 2000)

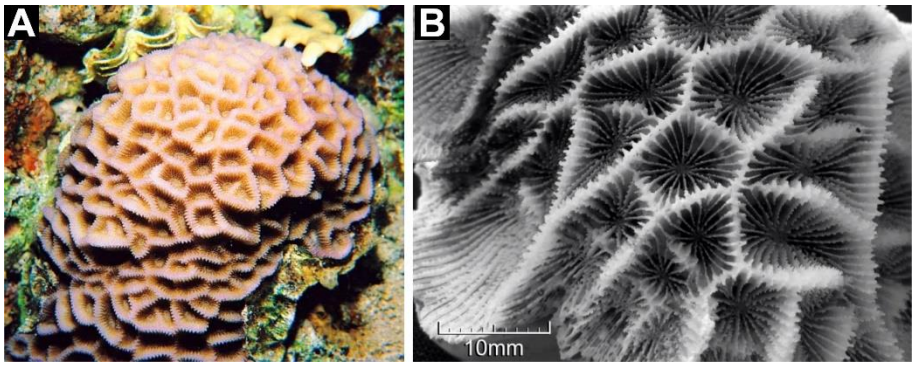


Fig.18: *Favites peresi*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

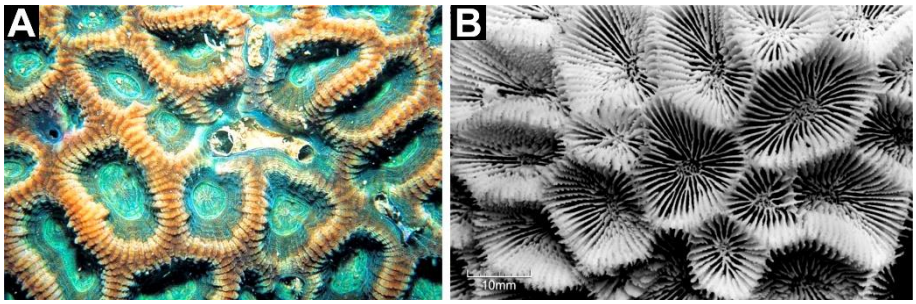


Fig.19: *Favites flexuosa*, A; Colonie, B; corallite

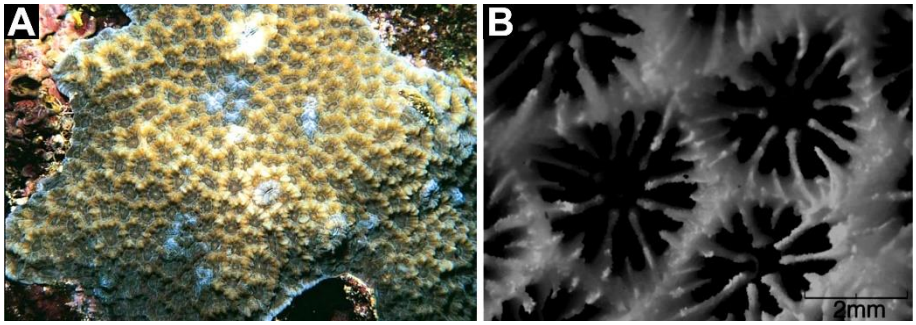


Fig.20: *Favites micropentagona*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

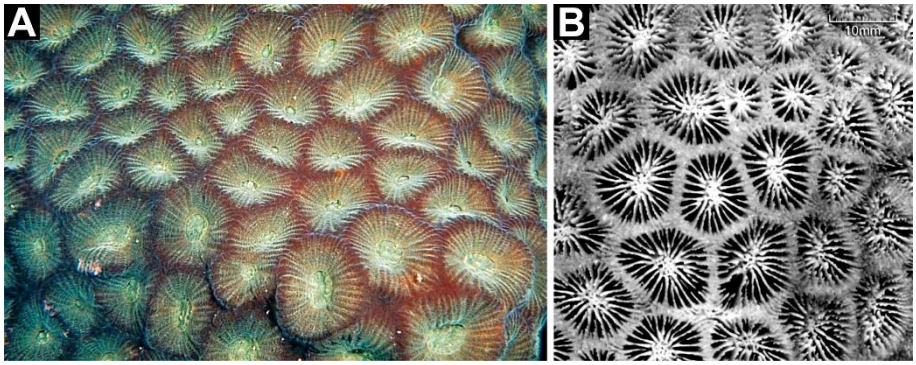


Fig.21: *Favites chinensis*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

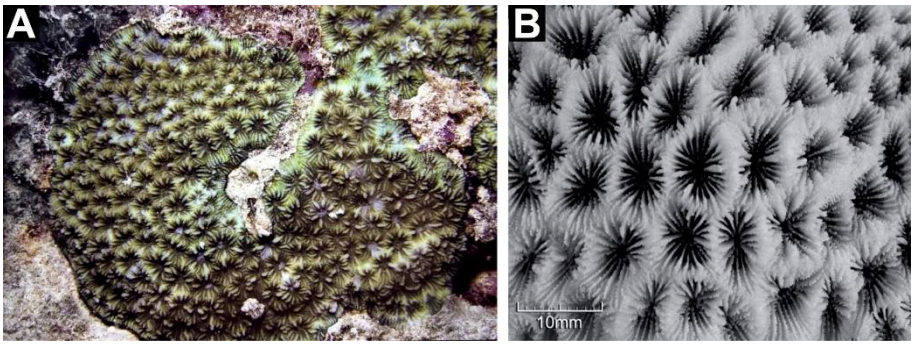


Fig.22: *Favites spinosa*, C; Colonie, D; corallite

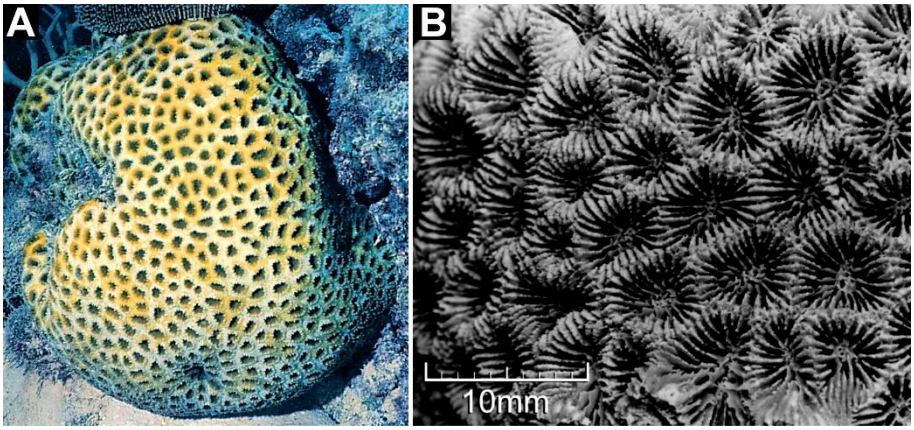


Fig.23: *Favia pallida*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

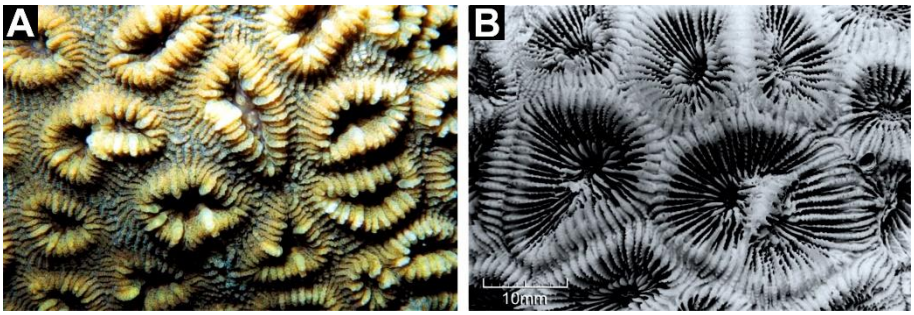


Fig.24: *Favia maxima*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

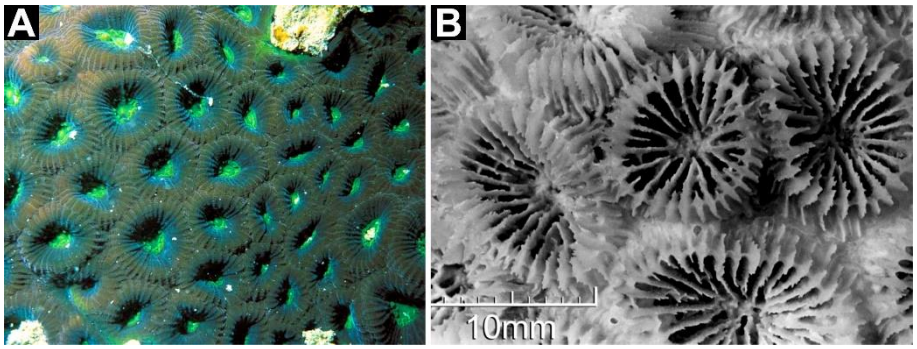


Fig.25: *Favia speciosa*, A; Colonie, B; corallite

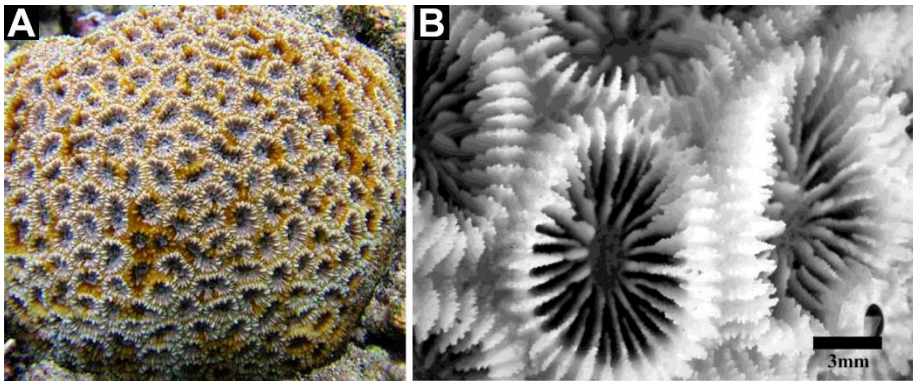


Fig.26: *Favia matthai*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

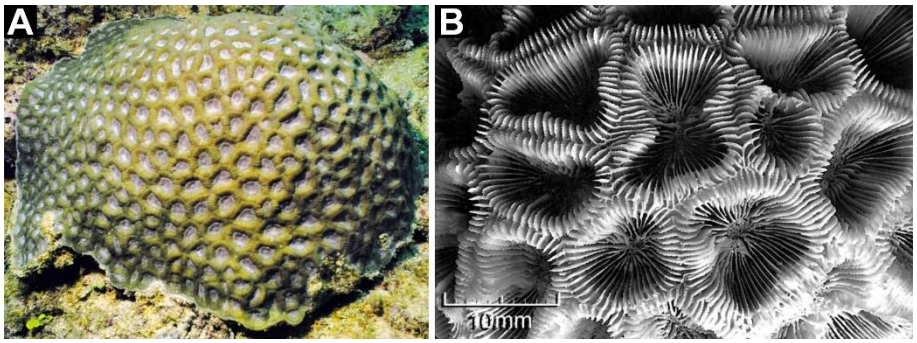


Fig.27: *Favia veroni*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

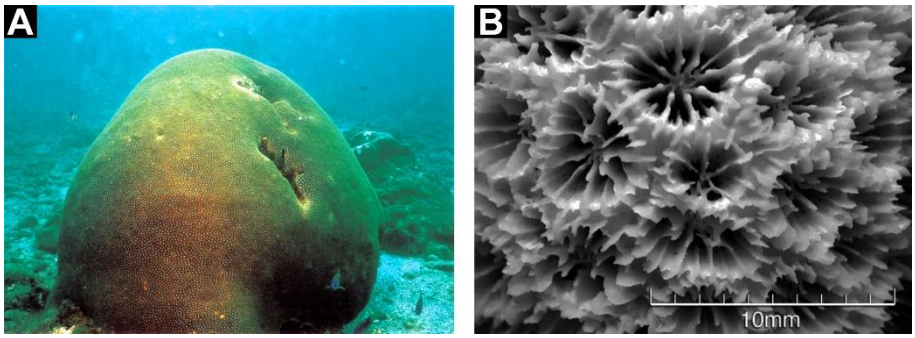


Fig.28: *Plesiastrea devantieri*, A; Colonie, B; corallite

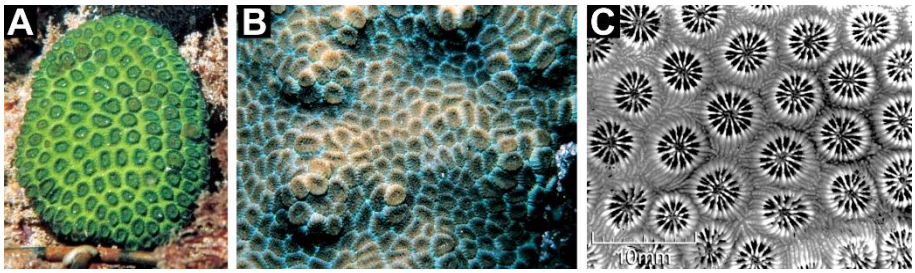


Fig.29: *Plesiastrea versipora*, A,B; Colonie, C; corallite (Veron, 2000)

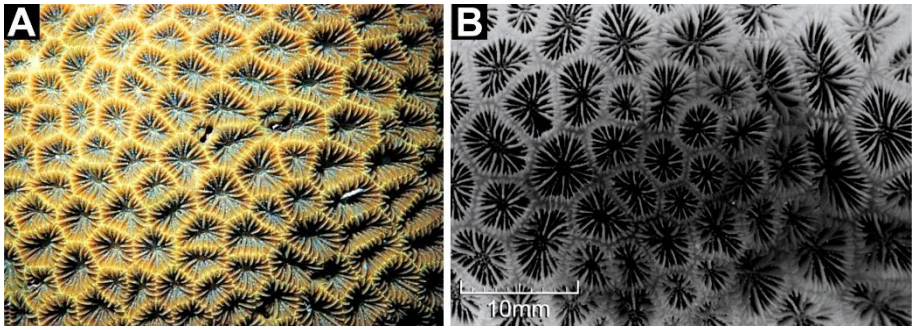


Fig.30: *Leptastrea transversa*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

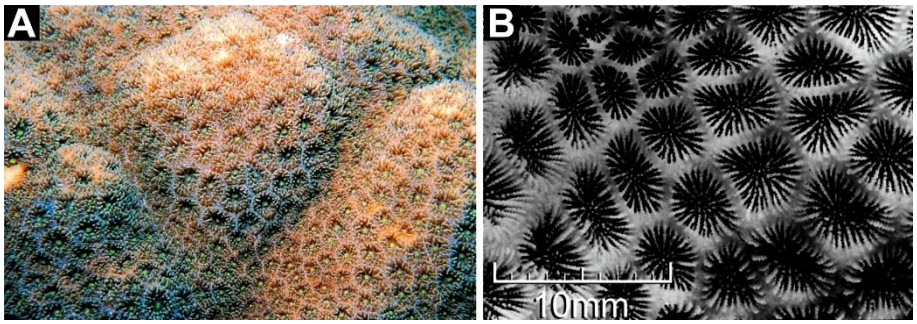


Fig.31: *Leptastrea pruinosa*, A; Colonie, B; corallite

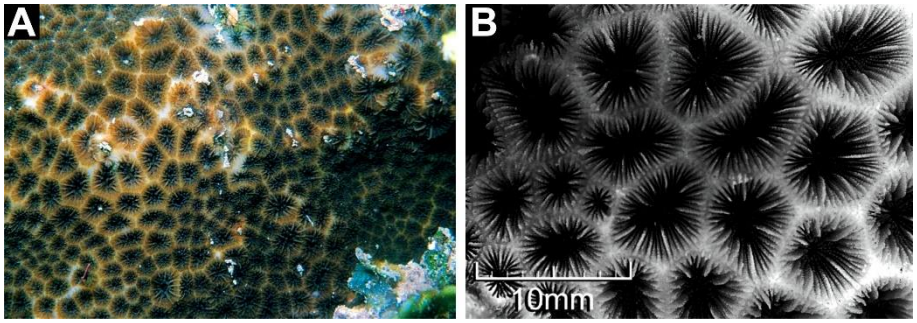


Fig.32: *Leptastrea purpurea*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

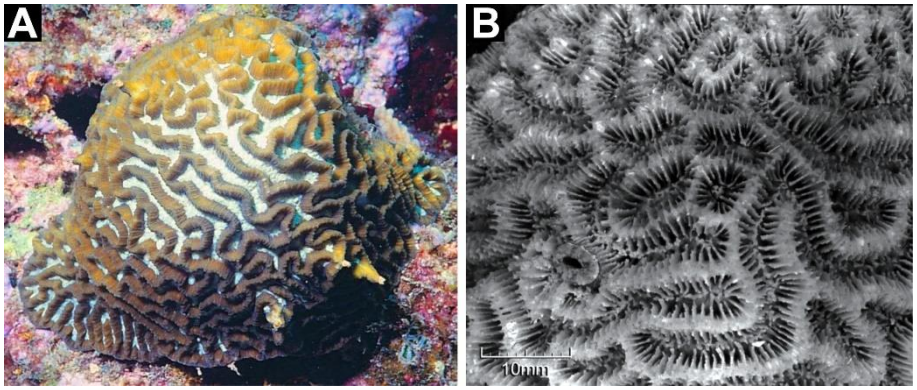


Fig.33: *Platygyra daedalea*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

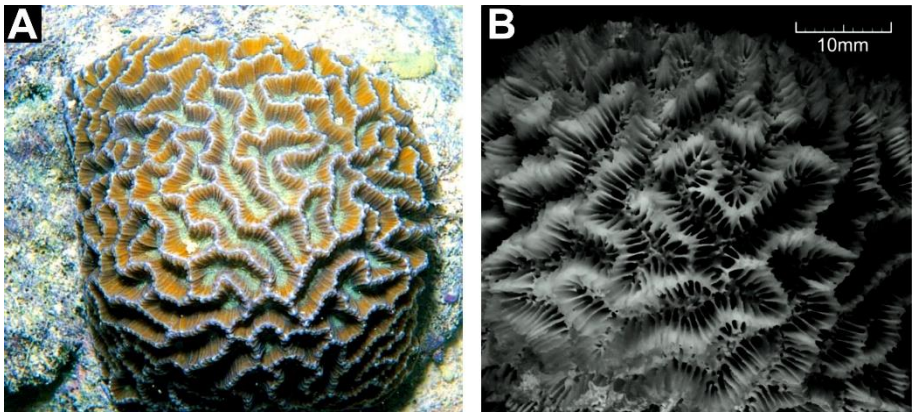


Fig.34: *Platygyra acuta*, A; Colonie, B; corallite

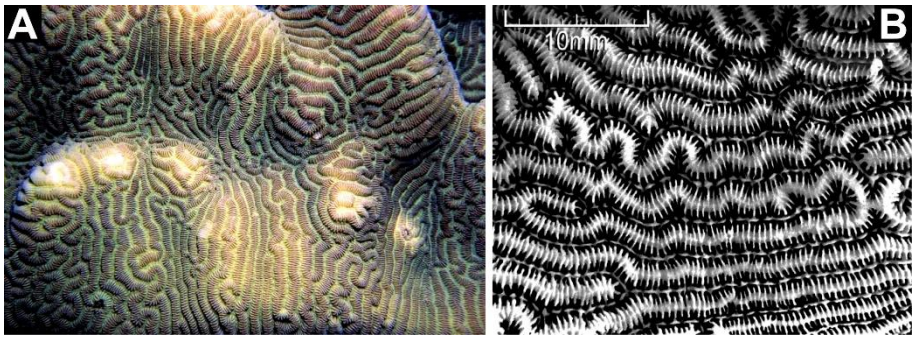


Fig.35: *Leptoria Phrygia*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

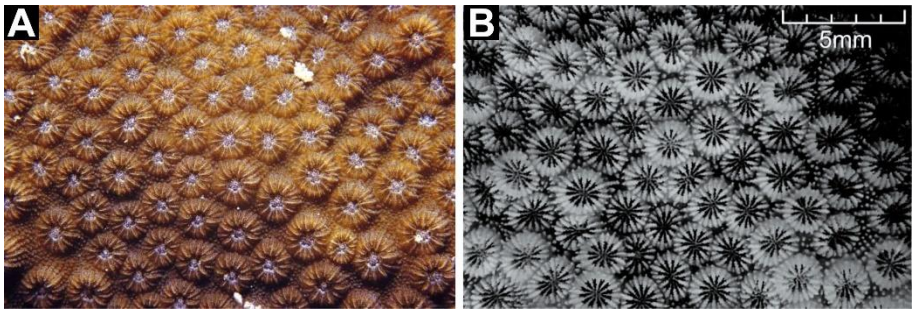


Fig.36: *Cyphastrea serailia*, A; Colonie, B; corallite

www.takbook.com

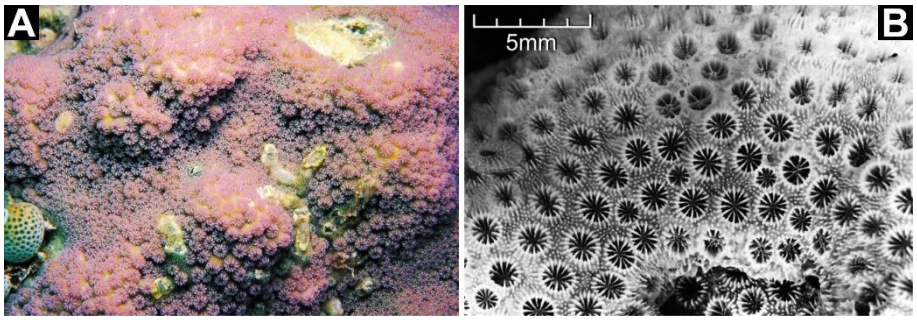


Fig.37: *Cyphastrea microphthalma*, A; Colonie, B; corallite

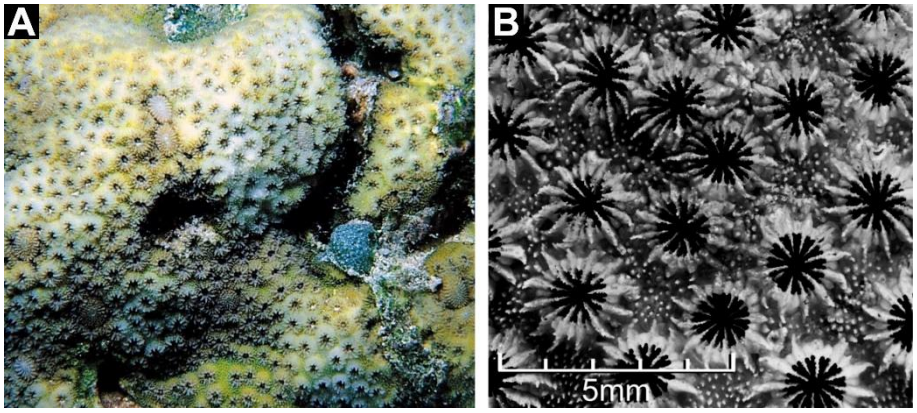


Fig.38: *Cyphastrea chalcidicum*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

Fig.39: *Goniastrea australensis*, A; Colonie, B; corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

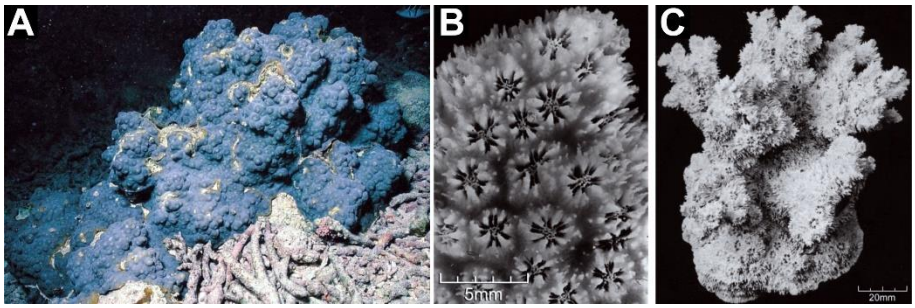


Fig.40: *Echinopora gemmacea*, A) Colonie, B,C) Corallite (Veron, 2000)

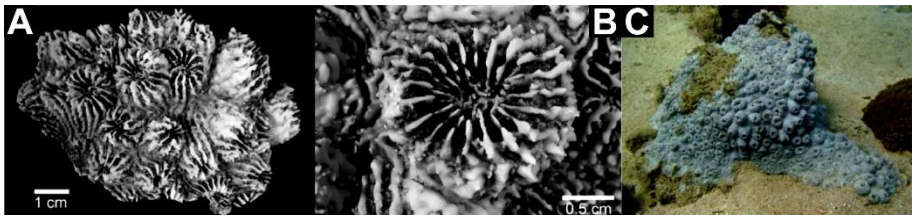


Fig.41: *Echinopora grandicula*, A,B) Corallite, C) Colonie, (Vajed-Samiei *et al*, 2013)

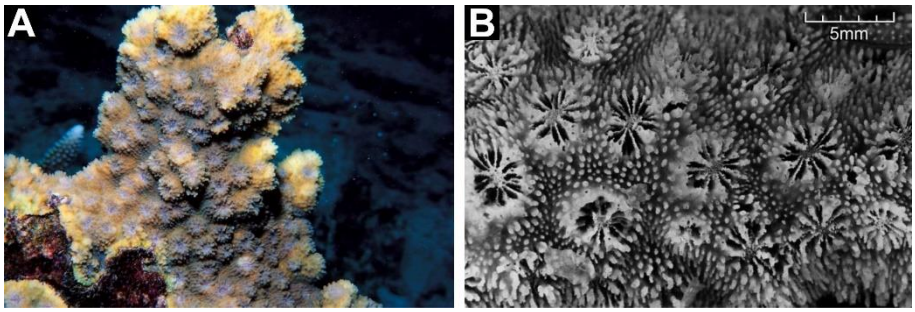


Fig.42: *Echinopora hirsutissima*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

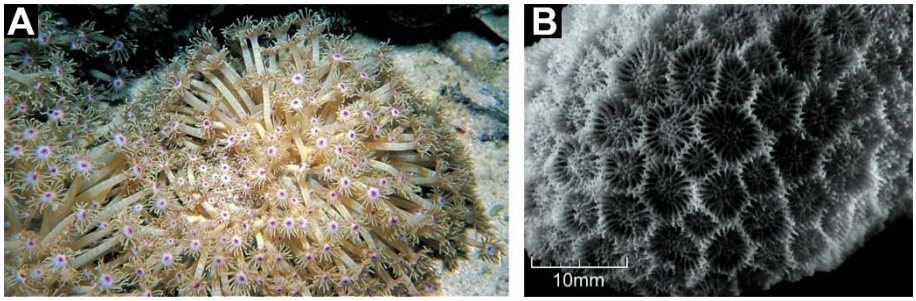


Fig.43: *Goniopora djiboutiensis*, A) Colonie, B) Corallite

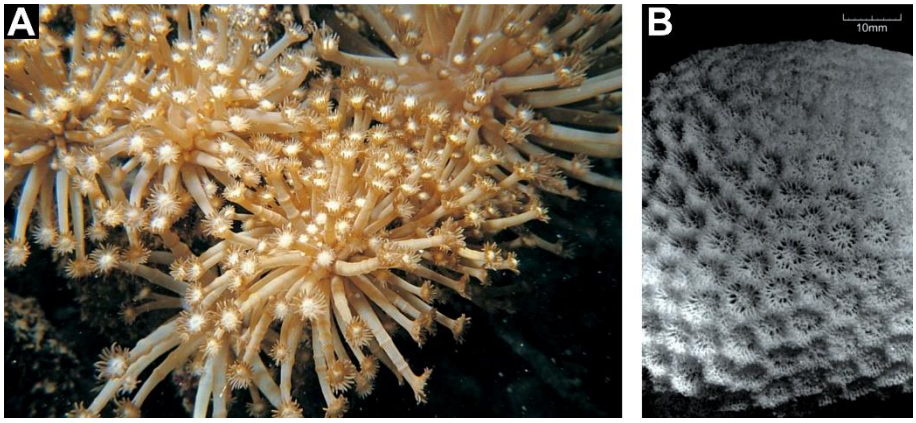


Fig.44: *Goniopora columna*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

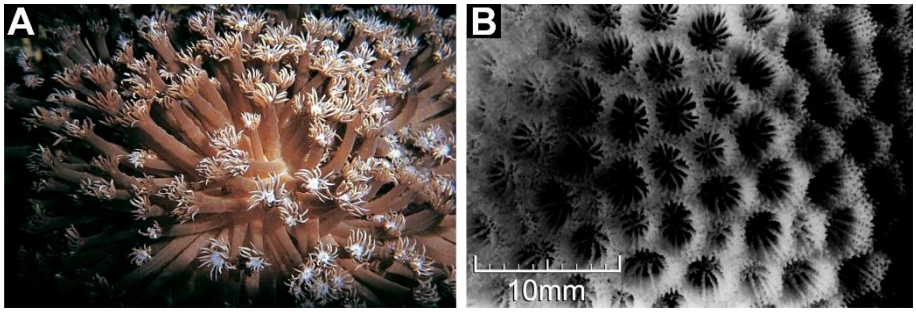


Fig.45: *Goniopora lobata*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

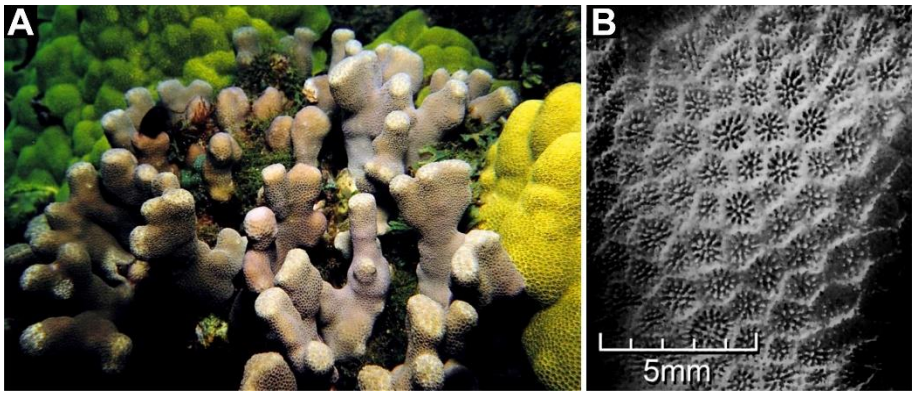


Fig.46: *Porites compressa*, A) Colonie, B) Corallite

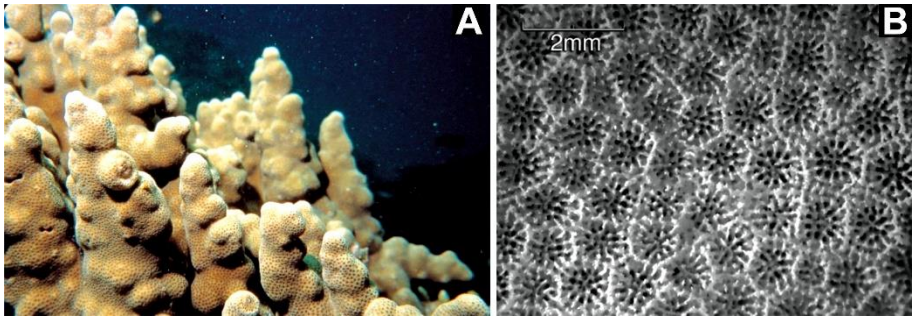


Fig.47: *Porites harrisoni*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

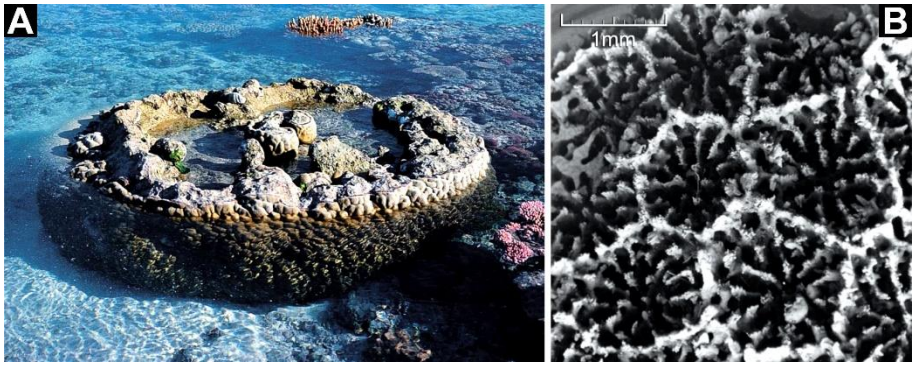


Fig.48: *Porites lobata*, A) Colonie B) Corallite

www.takbook.com

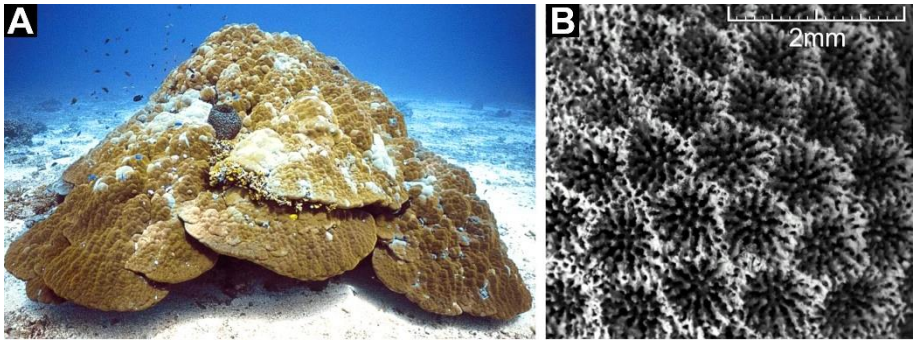


Fig.49: *Porites lutea*, A) Colonie B) Corallite

Fig.50: *Porites solida*, A,B) Colonie, C) Corallite (Veron, 2000)

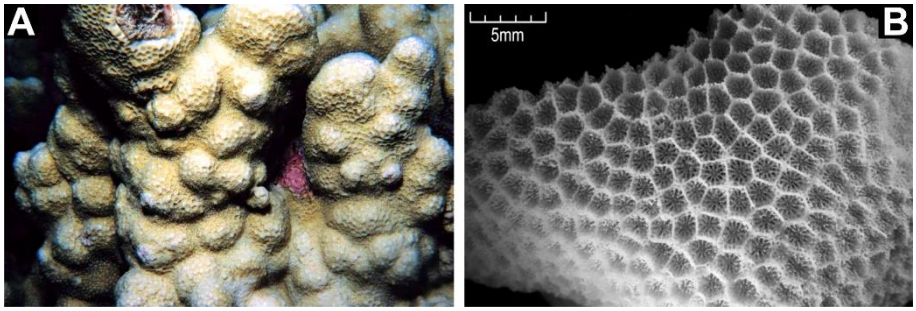


Fig.51: *Porites somaliensis*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

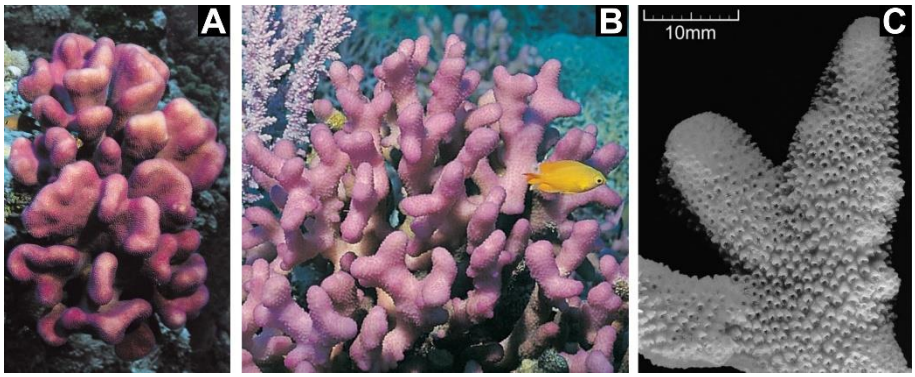


Fig.52: *Stylophora pistillata*, A, B) Colonie, C) Corallite (Veron, 2000)

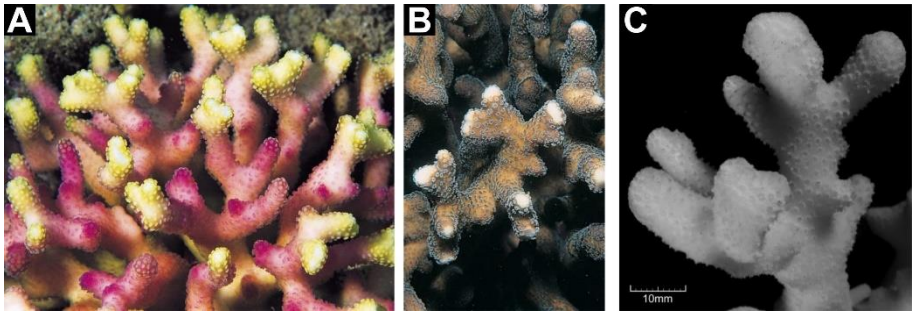


Fig.53: *Stylophora subseriata*, A,B) Colonie, C) Corallite

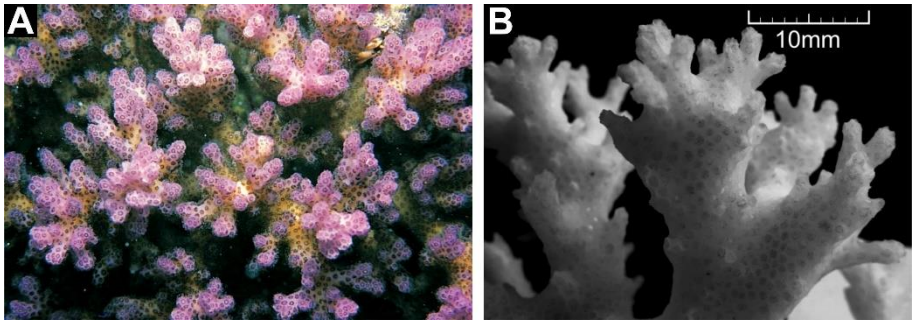


Fig.54: *Pocillopora damicornis*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

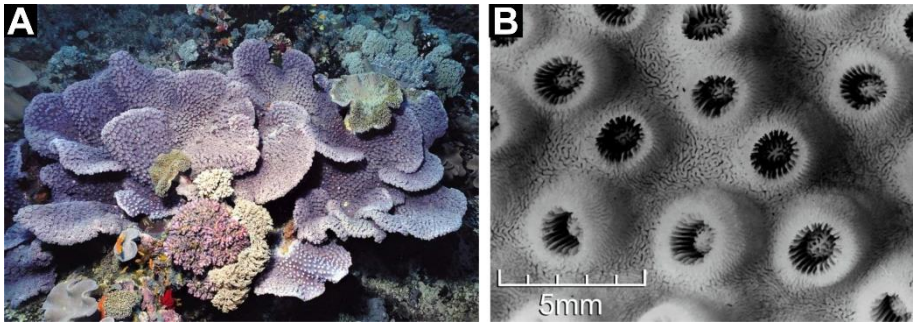


Fig.55: *Turbinaria peltata*, A) Colonie, B) Corallite

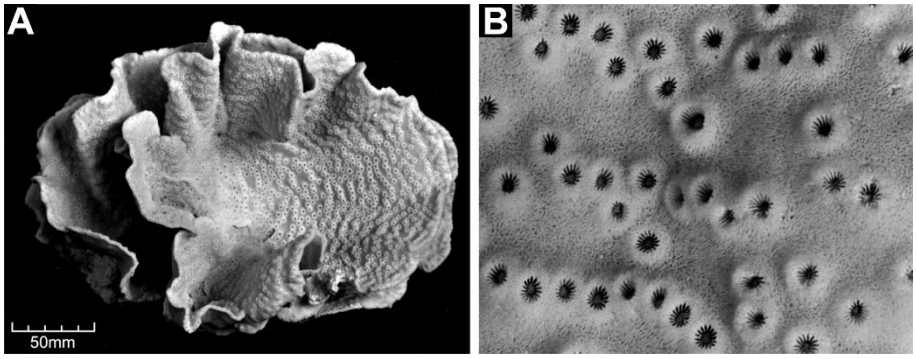


Fig.56: *Turbinaria reniformis*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

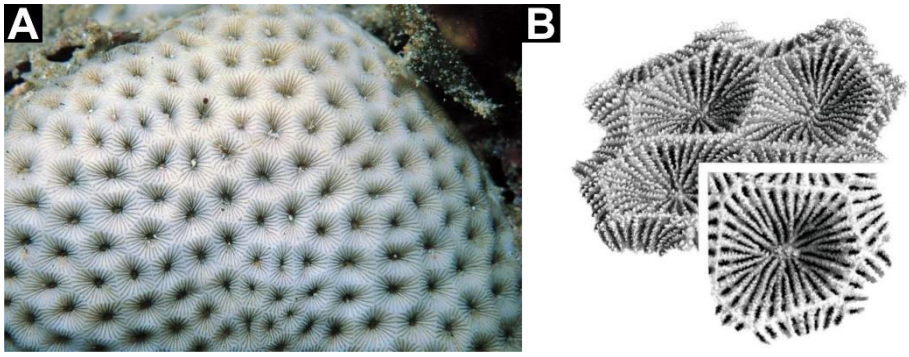


Fig.57: *Siderastrea savignyana*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

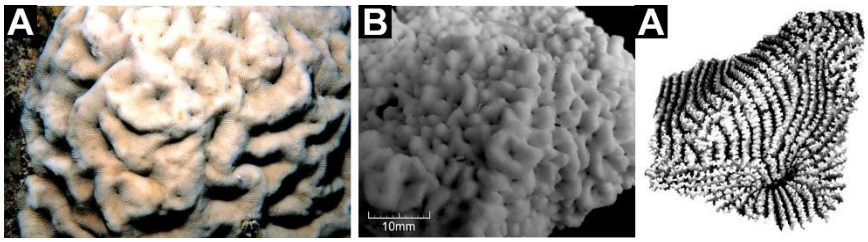


Fig.58: *Coscinaraea monile*, A,B) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

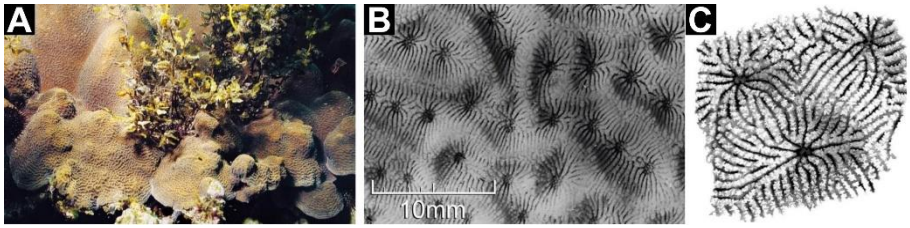


Fig.59: *Coscinaraea columna*, A) Colonie, B,C) Corallite (Veron, 2000)

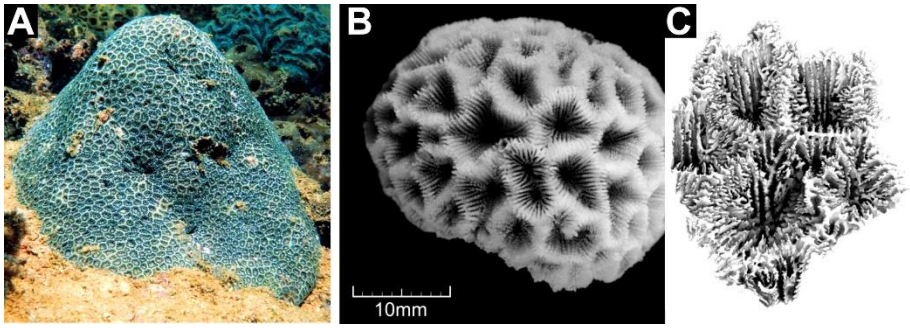


Fig.60: *Anomastraea irregularis*, A) Colonie, B,C) Corallite (Veron, 2000)

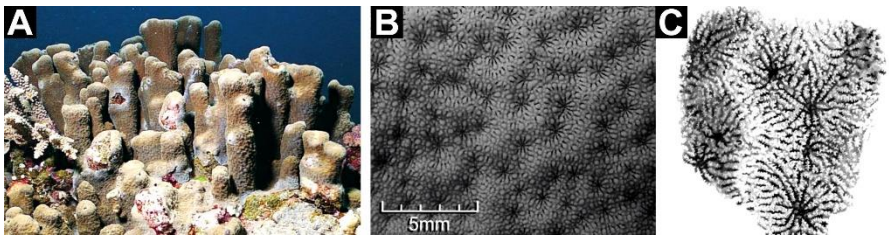


Fig.61: *Psammocora digitata*, A) Colonie, B,C) Corallite

www.takbook.com

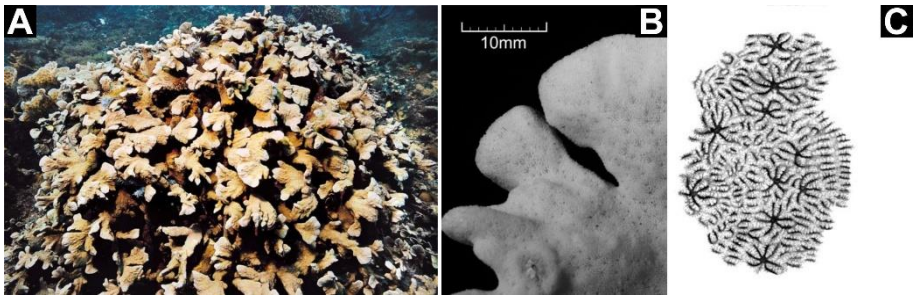


Fig.62: *Psammocora contigua*, A) Colonie, B,C) Corallite (Veron, 2000)

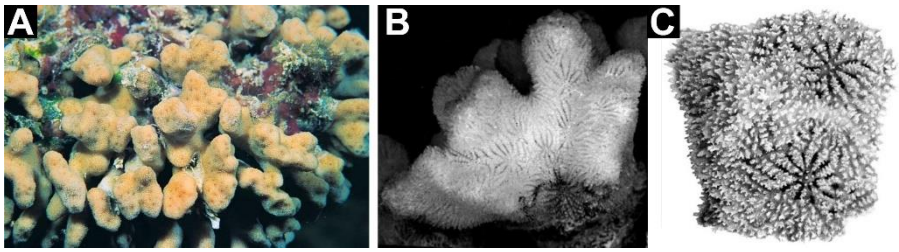


Fig.63: *Psammocora stellate*, A) Colonie, B,C) Corallite

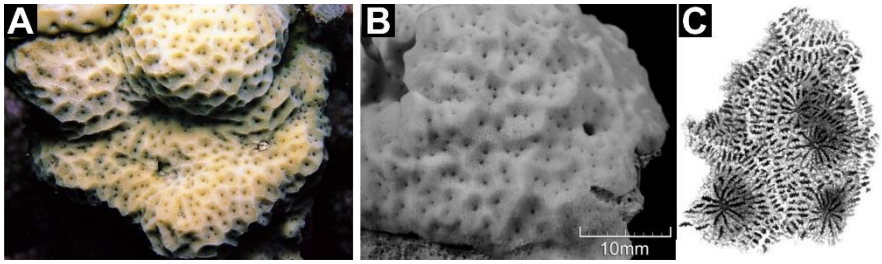


Fig.64: *Psammocora profundacella*, A) Colonie, B,C) Corallite (Veron, 2000)

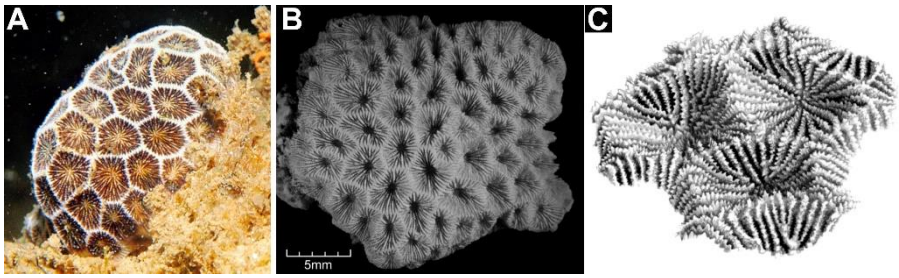


Fig.65: *Pseudosiderastrea tayami*, A) Colonie, B,C) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

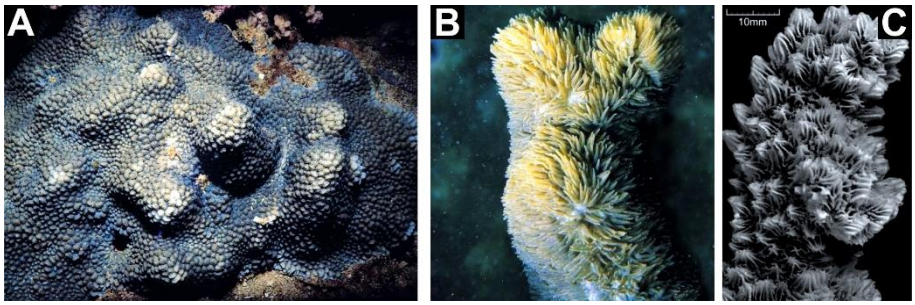


Fig.66: *Hydnophora pilosa*, A,B) Colonie, C) Corallite (Veron, 2000)

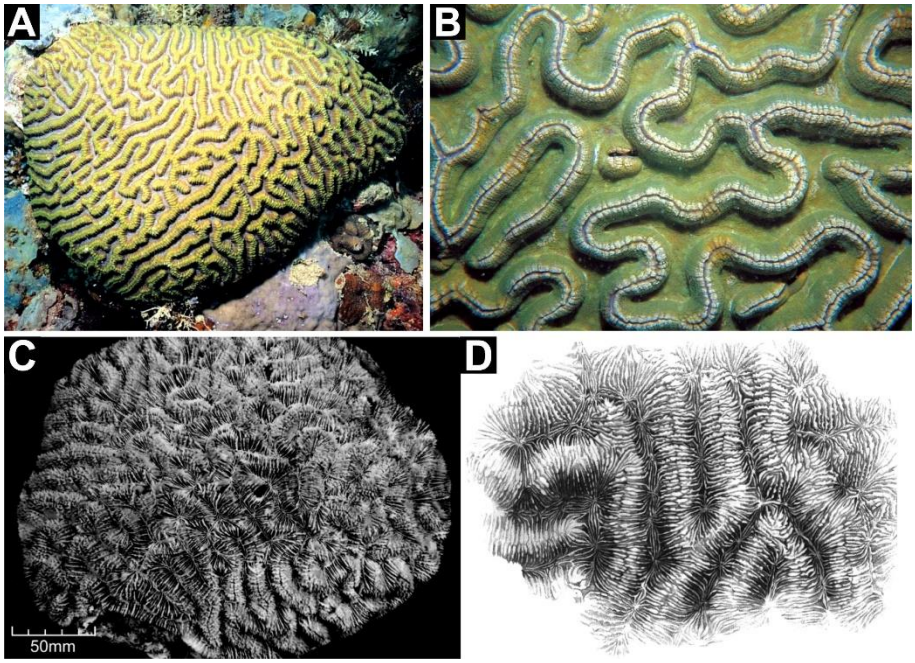


Fig.67: *Symphyllia recta*, A,B,C) Colonie, D) Corallite (Veron, 2000)

www.takbook.com

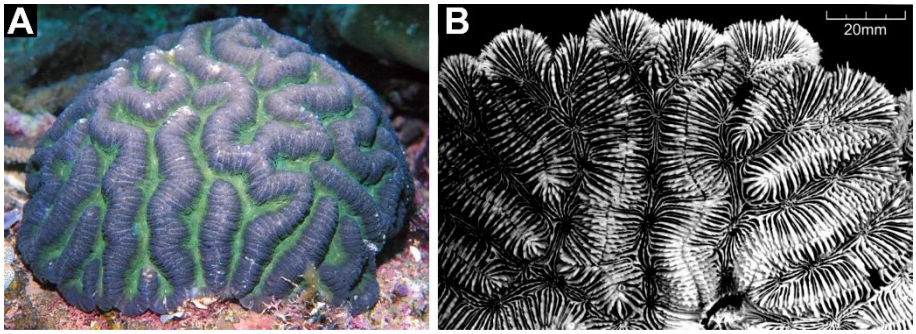


Fig.68: *Symphyllia radians*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

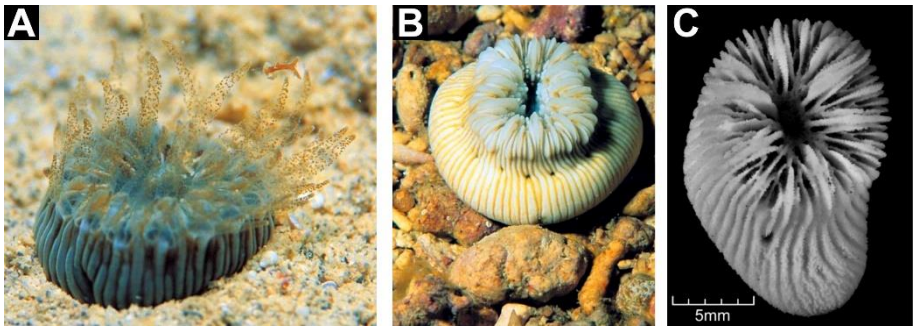


Fig.69: *Heterocyathus aequicostatus*, A,B) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)

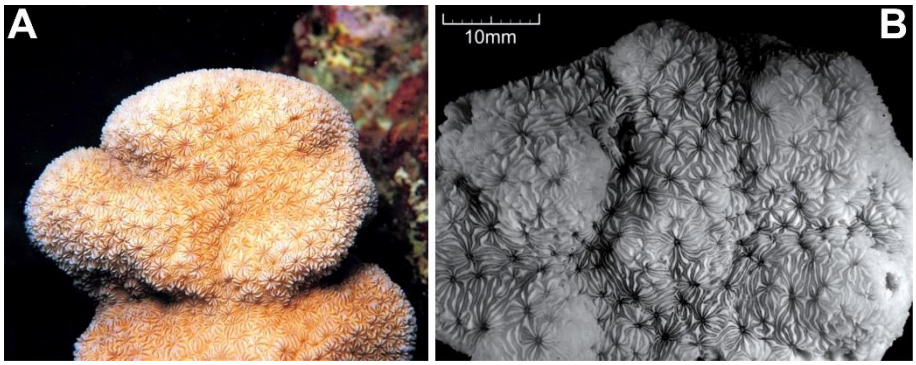


Fig.70: *Pavona diffluens*, A) Colonie, B) Corallite

www.takbook.com

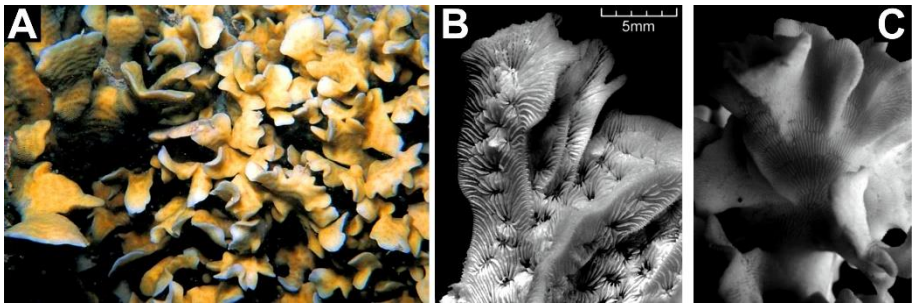


Fig.71: *Pavona frondifera*, A,B) Colonie, F) Corallite

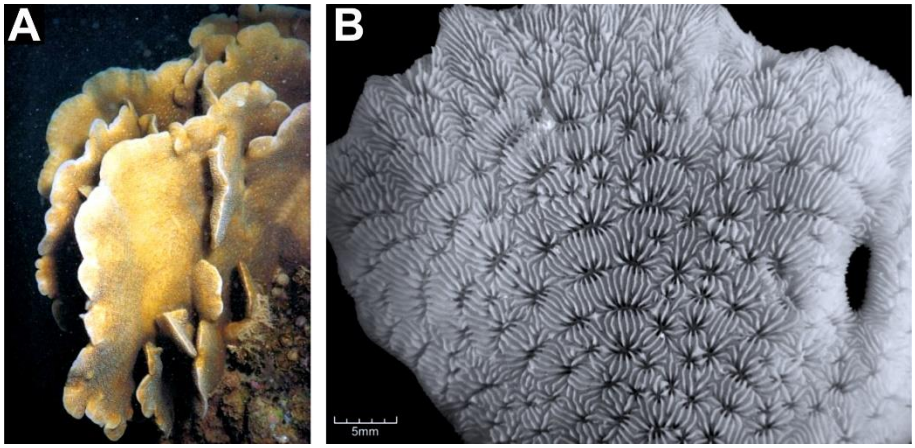


Fig.72: *Pavona decussate*, A) Colonie, B) Corallite (Veron, 2000)