

استفاده از املاح آب دریا برای تهیه مصالح ساختمانی

محسن سرتیپی پو

استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشت

صفحه

شماره
چهارم

- آیا به جز منابع متعارف و شناخته شده تولید مصالح ساختمانی، برای تأمین نیاز مسکن جمعیت رو به تزاید جهان، منبع دیگری وجود دارد؟
- چگونه می‌توان از املاح موجود در آب دریاها و اقیانوس‌ها برای تأمین بخش از مصالح مسکن مورد نیاز در سکونتگاه‌های ساحلی و حاشیه دریاها استفاده کرد؟

چکیده

نیاز به تأمین مسکن برای جمعیت رو به افزایش جهان، گسترش فقر و نابرابری، آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از برداشت بی‌رویه منابع طبیعی برای تولید مصالح ساختمانی و محدود بودن این منابع شرایطی را به وجود آورده که گروهی از معماران ناچار شده‌اند به منابع جدید و جایگزینی با حداقل آلودگی‌های زیست‌محیطی، قابل بازیافت و ارزان روی آورند.

دسترسی به منابع سرشار آب اقیانوس‌ها و آب دریاها، آزاد که حاوی مقادیر قابل توجهی از کانی‌های مختلف است، ایده استفاده از این منابع را برای تولید مصالح ساختمانی در مناطق ساحلی و حاشیه‌ای آن‌ها تقویت کرده است.

در این مقاله، با تأمل بر امکانات بالقوه اقیانوس‌ها و دریاها برای تولید مصالح ساختمانی، «فن‌آوری تجمع کانی‌ها» و فرایند تولید اجزا و عناصر ساختمانی به عنوان یکی از راه‌های جدیدی که می‌توان برای تولید مصالح ساختمانی به‌کار گرفت مورد توجه قرار می‌گیرد.

مقدمه

بیش از ۷۰ درصد سطح زمین را اقیانوس‌ها با متوسط عمق ۴۰۰۰ متر پوشانده است. حجم آب اقیانوس‌ها و ذخایر موجود در آن به قدری زیاد است که طی هزاران سال استفاده از این منابع آبی و معدنی عظیم، تغییرات بسیار کمی در آن‌ها رخ داده است.

البته بعد از انقلاب صنعتی در قرن هجده، که به دخالت انسان در طبیعت و استفاده گسترده از آن منجر شد، برداشت انسان از منابع گوناگون طبیعی موجود در زمین در مواردی به گونه‌ای بوده که بعضی از آن‌ها به سرعت در حال تمام شدن هستند، اما دریاها و اقیانوس‌ها (صرف نظر از آلودگی‌های تحمیل شده به آن‌ها) از این نظر مستثنا بوده‌اند.

از منظر استفاده از منابع طبیعی، ساختمان‌سازی، به دلیل اختصاص حدود ۵۰٪ منابع تجدیدنپذیر (آهن، آهک، گچ، خاک،...) و ۵۰٪ انرژی تولید شده در جهان به خود، از صنایعی است که باید در جستجوی منابع جدید و قابل بازیافت یا تجدیدشونده برای ساخت‌وساز باشد. از این رو، در کنار استفاده از منابع تجدیدنپذیری نظیر چوب و الیاف‌های طبیعی - مشروط به این که سرعت برداشت از منابع جنگلی بیش از سرعت رشد طبیعی آن‌ها نباشد - توجه به دیگر منابع در این زمینه ضروری است.

کشور ما نیز از شرایط فوق مستثنا نیست و حجم روزافزون نیاز به مسکن ایجاب می‌کند تا بر شناسایی و استفاده از منابع جدید تولید مصالح ساختمانی بیشتر تأکید و توجه شود.

هم اکنون حدود ۱۵ میلیون خانوار ایرانی در ۱۳/۳ میلیون واحد مسکونی سکونت دارند که بخش قابل توجهی از این واحدها از مصالح کم‌دوام و بی‌دوام ساخته شده و نیاز به بازسازی و نوسازی دارد. چنانچه تأمین سرپناه برای خانوارهای فاقد مسکن و

جمعیت جوان کشور به این واحدها اضافه شود حجم زیادی از نیاز به مسکن می‌رسیم که دغدغه‌های اصلی مسئولان کشوری و متخصصان محققان در دهه‌های آینده خواهد بود.

یکی از مهمترین مسائل برای پاسخ‌گویی به نیازهای مسکن، فراهم کردن مصالح مورد نیاز برای این حجم انبوهی است که باید ساخته شود. بنابراین، توجه



کانی‌های محلول موجود در خلیج فارس و دریای عمان: منبعی برای تولید مصالح ساختمانی

صفحه

شماره چهارم

به منابع و معادن تأمین مصالح ساختمانی در کشور و استفاده بهینه از آنها و نیز توجه به منابعی که می‌تواند به تولید مصالح جدید منجر شود، اهمیت پیدا می‌کند. گستردگی کشور و تفاوت‌های جغرافیایی و اقلیمی بین مناطق گوناگون آن امکانات و ظرفیت‌های طبیعی متفاوتی پیش‌روی ما می‌گذارد که در مواردی با اندک تأمل و سرمایه‌گذاری می‌توان نسبت به تولید و به‌کارگیری مصالح نوین و عرضه آن به صنعت ساختمان اقدام کرد.

مرز نسبتاً طولانی استان‌های خوزستان، بوشهر، هرمزگان و سیستان و بلوچستان با خلیج فارس و دریای عمان؛ گلستان، مازندران و گیلان با دریای خزر؛ آذربایجان غربی در حاشیه دریای ارومیه؛ و قم در مجاورت دریایچه نمک، ظرفیت بالقوه تولید نوعی مصالح ساختمانی را با استفاده از املاح موجود در آب فراهم می‌آورد که می‌توان آن را منبعی جدید برای تولید مصالح ساختمانی مقاوم و ارزان در این مناطق به شمار آورد.

هدف از ارائه این مقاله توجه به منابع جدیدی است که می‌توان در کنار شیوه‌های تولید متعارف مصالح ساختمانی از آنها استفاده کرد. استفاده از این منابع برای تولید مصالح ساختمانی در مناطقی که این ظرفیت در آنها وجود دارد ضمن افزایش و رشد تولید مصالح ساختمانی می‌تواند به کاهش هزینه تمام شده واحد مسکونی و تولید مسکن ارزان قیمت منجر شود.

فن‌آوری تجمع کانی‌های آب دریا

کانی‌های موجود در اقیانوس‌ها و دریاها از امکانات جالب توجه در زمینه تأمین مصالح ساختمانی مورد نیاز محسوب می‌شوند. شناخت دریاها و اقیانوس‌ها از زمینه‌های مورد علاقه انسان‌ها در طول تاریخ زندگی بشر بوده است. دریاها و اقیانوس‌ها علاوه بر نقش

تعیین‌کننده‌ای که در تعامل بین ملل گوناگون و ارتباطات و حمل‌ونقل جهانی دارند از منابع مهم حیاتی برای تأمین غذا، آب آشامیدنی، مواد شیمیایی و استخراج نفت و گاز محسوب می‌شوند. پوسته زمین در زیر دریاها و اقیانوس‌ها از ترکیبات سیلیکات‌دار سرشار از سیلیسیم، کلسیم، و منیزیمی تشکیل شده که، بر اثر جریان‌های آب، بخشی از آنها همیشه به صورت معلق در آب است. تقریباً همه این منابع و کانی‌ها را می‌توان استخراج و بهره‌برداری کرد، اما نحوه بهره‌برداری از آنها متضمن شناخت، اطلاع و آگاهی از علوم متعددی چون فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، ژئوتکنیک و زمین‌شناسی است.

در سال‌های اخیر علم جدیدی به علوم اقیانوس‌شناسی اضافه شده که حوزه به‌کارگیری آن شیوه‌های استفاده از منابع اقیانوسی به منظور سوق دادن اکتشافات به سوی استفاده‌های عملی در زندگی انسان‌هاست. یکی از حوزه‌های مطالعاتی این علم استفاده از منابع دریاها برای تأمین مواد و مصالح مورد نیاز احداث مسکن است؛ مسئله‌ای که دغدغه مشترک گروهی از معماران نوآور برای به‌کارگیری شیوه‌های جدید تأمین مسکن به منظور پاسخ‌گویی به جمعیت رو به تزاید جهان است.

با توجه به این که معماران با انتخاب و به‌کارگیری مصالح جدید، مسئولیت مهمی در حفظ و استفاده بهینه از منابع زمین و تعیین هزینه‌های تمام شده ساختمان به عهده دارند، استفاده از منابعی که هزینه تولید آنها پایین باشد نقش مهمی در کاهش هزینه‌های احداث و مرمت ساختمان‌ها ایفا می‌کند. این همان هدفی است که شیوه تولید مصالح با استفاده از تجمع الکتریکی کانی‌های موجود در آب دریا دنبال می‌کند.^۲

تولید مصالح ساختمانی از تجمع کانی‌های موجود در آب دریا

تجمع کانی‌های موجود در آب دریا (Minerals Accretion) موضوعی است که پیشینه آن به تجزیه الکتریکی آب مربوط می‌شود. تجزیه الکتریکی آب را، اولین بار در اوایل قرن ۱۹ میلادی، فیزیکدان و شیمیدان انگلیسی مایکل فارادی (Michel Faraday) انجام داد. فارادی با آزمایش‌های مکرر، توانست قوانین پایه الکترومغناطیس و تجزیه الکتریکی را تهیه کند. تجزیه الکتریکی یا الکترولیز پدیده‌ای است که تجزیه مواد شیمیایی را از طریق هدایت جریان برق در آن‌ها دنبال می‌کند. کمی بعد از کشف فارادی، افرادی دیگر (G.C.Cox در سال ۱۹۳۶) استفاده از تجزیه الکتریکی آب دریا را برای حفاظت سطوح فلزی بدنه کشتی‌ها پیشنهاد کردند، و در یک نوآوری علمی، به منظور حفاظت فلزات در برابر خوردگی آب دریا، نمک‌های منیزیم و کلسیم برای اولین بار از طریق الکترولیز به کار برده شد.

اما ولف هیلبرت (Wolf H. Hilbert، آرشیئتکت آلمانی) در اوایل دهه ۱۹۷۰ استفاده از تجزیه الکتریکی آب دریا را برای تولید مصالح ساختمانی و کمک به ساخت مسکن برای اولین بار طرح کرد.

نتایج کار او درباره تجمع مواد کانی در سطوح سازه‌ای و اجزای ساختمانی اولین بار تحت شماره ۴۰۲۴۶۰۷۵ در ژانویه ۱۹۸۱ در آمریکا به ثبت رسید.

از آن به بعد هیلبرت استفاده از الکترولیز آب دریا را برای حفاظت پایه‌های شمعکوبی شده و مرمت سازه‌های بتن مسلح در دریا از طریق به‌کارگیری تکنولوژی تجمع مواد کانی در اطراف آن‌ها توسعه داد و در چند کشور آمریکای لاتین از جمله مکزیک و

آرژانتین برخی از اجزای ساختمانی را از این طریق تولید کرد.

کاربرد اصلی این نوآوری در ساختمان عبا است از:

۱. تولید عناصر ساختمانی (مانند دیوار، سقف، ...).
طریق تجزیه مواد معدنی و تجمع پوشش (Coating) آن‌ها؛

۲. مرمت سازه‌های بتن مسلح از طریق تجمع مواد کانی روی آن‌ها.

تجزیه مواد معدنی هنگامی امکان‌پذیر می‌شود عناصر تشکیل‌دهنده‌اش به صورت معلق باشد.

از مشخصه‌های بارز آب اقیانوس‌ها ثابت بودن نسبت عناصر و اجزای تشکیل‌دهنده آن در همه جزایر دنیاست که دلیل آن کیفیت خوب و یکسان حل مواد موجود در آن‌هاست. (که در واقع محلول سوسپانسیون مناسبی محسوب می‌شود).

مقدار کانی‌های محلول در آب دریاها به صورت گرم در کیلوگرم تعیین می‌شود. به طور مثال، متوسط املاح آب اقیانوس‌ها در حدود ۳۵ گرم در هر کیلوگرم یا ۳۵ در هزار است. این نسبت معمولاً ۳/۲ تا ۳/۶ درصد (۳۲ تا ۳۶ هزار) در آب اقیانوس‌ها دریاها در نوسان است.

البته آبی که دریاها از رودخانه‌ها دریافت می‌کنند ممکن است حاوی مقادیر کمتری املاح باشد. همچنین دو عامل مهم دیگری که بر میزان افزایش املاح آب دریا تأثیر می‌گذارند پدیده تبخیر و انجماد در آن‌هاست.

مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده آب دریا و میع آن‌ها در مقیاس گرم در کیلوگرم شامل شش عنصر زیر است:

نوع عنصر	میزان مواد به گرم
کلراید (Cl)	۱۹
سدیم (Na)	۱۰.۵
سولفات (SO ₄)	۲۶
منیزیم (Mg)	۱.۳
کلسیم (Ca)	۰/۴
پتاسیم (K)	۰/۴
جمع	۳۴.۳

حداقل میزان نمک موجود در اقیانوس‌ها ۳۳ در هزار و حداکثر آن متجاوز از ۳۷ در هزار است، هر چند شوری آب برخی دریاها و دریاچه‌ها مانند دریای سرخ و بحرالمیت (دریای عرب) به ۴۰ در هزار هم می‌رسد.

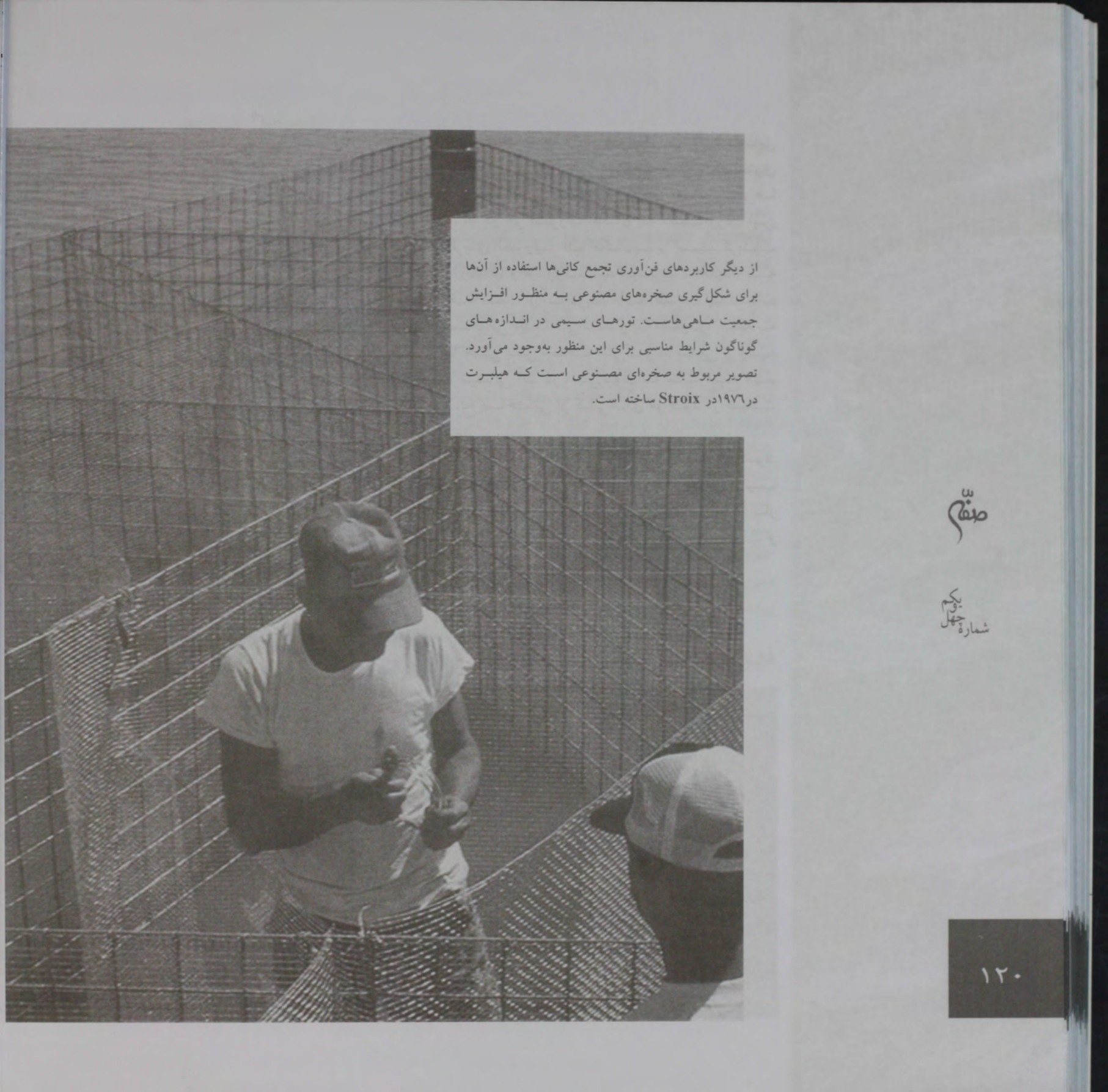
میزان املاح دریای سیاه، به دلیل تأمین بیشتر آب



آن از رودخانه‌ها، فقط ۲۰ در هزار است. در دریا‌هایی که میزان املاح آبشان کم است مدت زمان بیشتری برای تولید مصالح ساختمانی از طریق تجمع کانی‌ها لازم است، اما در هر صورت امکان به دست آوردن این مواد از طریق الکترولیز آب امکان‌پذیر است. کربنات کلسیم (CaCO₃) و هیدروکسید منیزیم (MgOH₂) به محض جدا شدن از آب دریا، مانند صدف یا دندان، حالت استخوانی^۳ پیدا می‌کنند و با مقاومتی شبیه به سنگ یا حتی بتن سخت می‌شوند. بدین ترتیب، از ترکیبات شیمیایی آب دریا می‌توان به مثابه منبع مهم تولید مصالح ساختمانی از کانی‌های موجود در طبیعت استفاده کرد.

این فرایند، تجمع الکتریکی کانی‌ها نامیده می‌شود. طرز تشکیل صدف‌های دریایی نیز به همین ترتیب است. بار منفی جریان یافته در بدن آن‌ها املاح با بار مثبت را جذب می‌کند و پوسته بسیار سخت و محکمی دور آن‌ها تشکیل می‌دهد.

تصویری از صدف‌های دریایی که از کربنات کلسیم تشکیل و در قرارگاهی انسداد وار محصور شده‌اند. (ترکیب مواد کانی موجود در خون انسان نیز شبیه به ترکیب کانی‌های آب دریاست).



از دیگر کاربردهای فن آوری تجمع کانی ها استفاده از آن ها
برای شکل گیری صخره های مصنوعی به منظور افزایش
جمعیت ماهی ها است. تورهای سیمی در اندازه های
گوناگون شرایط مناسبی برای این منظور به وجود می آورد.
تصویر مربوط به صخره ای مصنوعی است که هیلبرت
در ۱۹۷۶ در Stroix ساخته است.

صفحه

شماره
چهارم

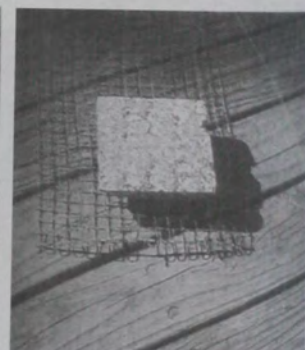
اصول پیشنهادی برای بهبود تجمع الکتریکی کانی‌ها

تجمع کانی‌ها هنگامی به وجود می‌آید که یک مادهٔ رسانای الکتریسیته مانند شبکهٔ فولادی به قطب منفی



(کاتد) یک جریان الکتریسیته (پیل الکتریکی)^۴ وصل و در آب دریا قرار داده شود. سر دیگر این شبکه فلزی به قطب مثبت (آند) آن وصل شود.

کربنات کلسیم (CaCO_3) و هیدروکسید منیزیم (MgOH_2) باردار شده از طریق جریان مثبت باتری در اطراف شبکه فولادی شارژ شده به وسیلهٔ جریان منفی جمع و متراکم می‌شوند. برای رسیدن به شکل دلخواه سازه‌ای قبلاً شبکه فلزی را براساس عملکرد مورد



فرایند به هم پیوستگی مواد کانی موقعی امکان‌پذیر است که جریان برق به شبکه فولادی هدایت شود. وقتی ضخامت عناصر مورد نظر به دست آمد جریان برق قطع و عمل سخت شدن در دریا کامل می‌شود. این بخش از فرایند (مرحلهٔ اضافه شدن میکروارگانیزم‌ها به لایه‌های جمع شده روی شبکه فولادی) که **biophasing** نامیده می‌شود ممکن است چندین ماه طول بکشد.

شبکه فولادی با بار منفی، یون‌های کربنات کلسیم و هیدرواکسید منیزیم که بار مثبت دارد به خود جذب می‌کند. از این فن‌آوری می‌توان برای ساخت و تولید ابزار دیگر نیز استفاده کرد.

سمت چپ: تولید مخازن ذخیرهٔ آب برای سهولت کشت آب (Aquaculture).

صفت

شمارهٔ چهارم

می‌دهد. با توجه به این که کلسیم و منیزیم به ترتیب پنجمین و هشتمین عنصر در پوسته زمین و چهارمین و پنجمین عنصر در آب دریاها محسوب می‌شوند، برای دسترسی و استحصال آن‌ها مشکل چندانی وجود ندارد.

انرژی مورد نیاز برای تجمع الکتریکی آ دریا

الکتریسته مورد نیاز برای تهیه هر کیلوگرم بتن دری حدود ۲ کیلو وات ساعت است. دامنه تغییر برق آ تا ۱۶ ولت و از ۳۰ میلی آمپر تا ۳ آمپر برای ه

انتظار شکل می‌دهند. این عمل باعث می‌شود تا شبکه فولادی، پس از جذب و تجمع کانی‌ها روی آن، به شکل سازه مورد نظر در آید.

این کار بنا به ضرورت‌های زیر صورت می‌گیرد:

۱. جذب کانی‌ها از طریق عمل الکترولیز؛

۲. شکل دادن به سازه مورد نظر؛

۳. مسلح کردن سازه تا پس از جذب املاح به صورت بتن دریایی مسلح عمل کند.

نظر به این که کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم موادی هستند که به فراوانی در طبیعت یافت می‌شوند استفاده از آن‌ها چشم انداز نسبتاً روشنی برای حل بخشی از مشکلات تأمین مسکن فراروی ما قرار



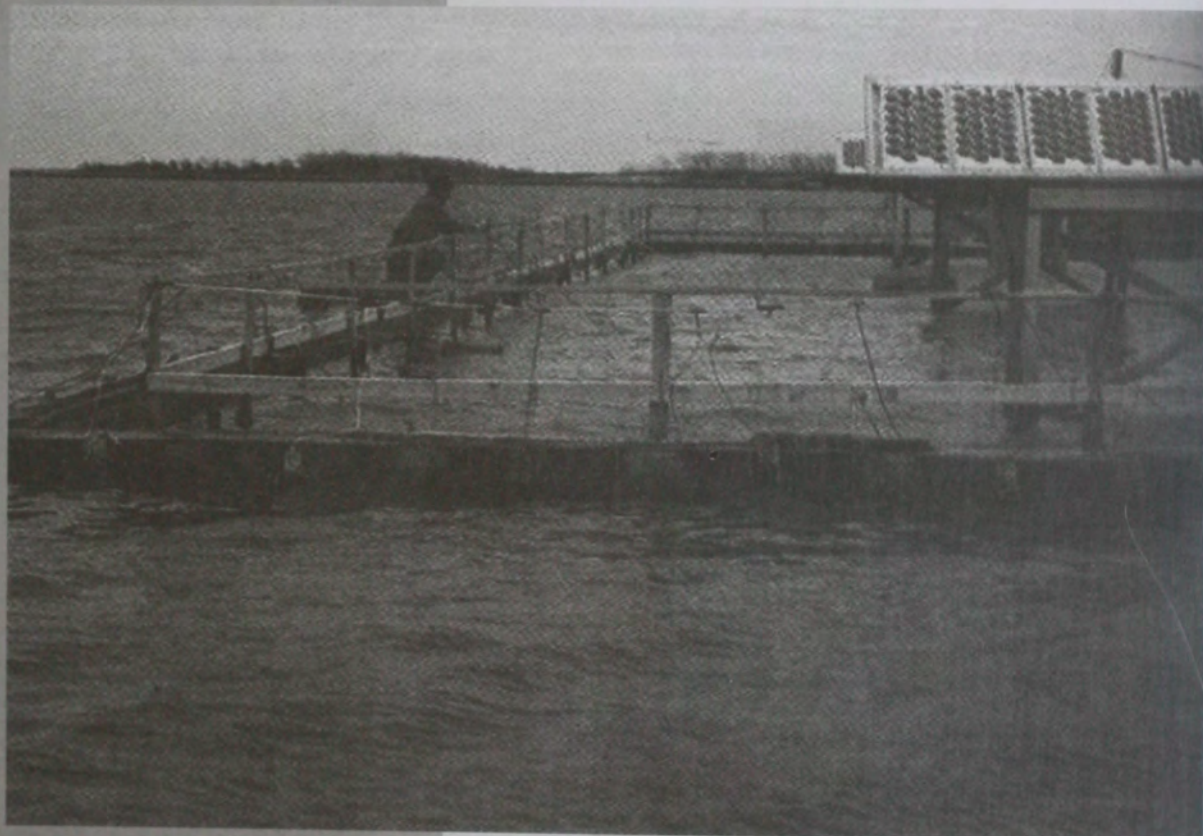
تصویری از دیواری که به منظور افزایش مقاومت صفحات ۸ میلی متری به صورت موجدار ساخته شده است. از این تجربه، که در آرژانتین به دست آمد، می‌توان به منظور افزایش مقاومت پانل‌های تولید شده از تجمع کانی‌ها استفاده کرد. تجمع کانی در بیشتر مواقع ۲۴ ساعت، برای لایه‌های ضخیم‌تر چندین روز و برای لایه‌های خیلی کلفت حتی هفته‌ها زمان نیاز دارد.

صفحه

شماره پنجم

مترمربع مواد کاتدیک تغییر می‌کند. به منظور صرفه‌جویی در مصرف نیروی الکتریسیته، ولتاژ در حداقل ممکن ثابت نگه داشته می‌شود. برای تولید اجزای ساختمانی با مقاومت بالاتر از جریان الکتریسته ضعیف‌تر اما طول زمان بیشتر استفاده می‌شود. اجزای ساختمانی‌ای که به هر دلیل نتوانسته‌اند به وسیله جریان الکتریکی به هم متصل شوند. برای مدت زمان بیشتری در آب دریا باقی می‌مانند تا یکپارچگی آن‌ها به وسیله ارگانسیم‌های دریایی کامل شود.

تولید الکتریسته مورد نیاز برای تجزیه مواد معدنی موجود در آب دریا به طرق مختلف امکان پذیر است. انرژی خورشید و باد از جمله این منابع هستند. هیلبرت هر نوع منبع را در خلیج مکزیکو به کار گرفت.



۳
صفحه

۱۳۳
شماره چهارم

نتیجه گیری

فن آوری لازم برای تجمع الکتروشیمیایی کانی های محلول در آب دریا از فن آوری هایی است که توان بالقوه زیادی برای حل یکی از نیازهای اساسی بشر، یعنی تأمین مسکن و سرپناه از طریق کانی های موجود در آب دریاها و اقیانوس ها، فراروی ما قرار می دهد. هر چند آب دریاها و اقیانوس ها به قدری زیاد است که استفاده محدود از منابع کلسیمی و منیزی می آن برای سکونتگاه های مستقر حاشیه آن ها خطر زیست محیطی خاصی ندارد (MIMAR, 1989)، اما بررسی ابعاد آن ضروری به نظر می رسد. از آنجا که

ماهیت اتم ها و مولکول های عناصر ساختمانی به وجود آمده با روش تجمع کانی های موجود در آب دریا دگرگون نمی شود امکان بازیافت آن ها از طریق تجزیه و به کارگیری مجددشان وجود دارد.

البته با توجه به وجود معادن و منابع سرشار کلسیم و منیزیم در خشکی ها می توان این فرایند را از طریق تجزیه معدنی مواد و محلول کردن آن ها (سوسپانسیون) در استخرهای آب به وجود آور. بنابراین، کاربرد این فن آوری برای فعالیت ها ساختمانی موضوعی است که صرفاً به آب دریا محدود نمی شود.

سنگ های مرجانی با همان ساختار شیمیایی شکل می گیرند که در فن آوری ساخت بتن دریایی استفاده می شود. استفاده از سنگ های رسوبی مرجانی در احداث مسکن: بافت قدیم شهر بوشهر.



نمونه ای اجرایی از سقف ها و دیوارهای ساخته شده با روش تجمع کانی ها که محققان مرکز اسکان بشر سازمان ملل (UNCHS) تهیه کرده اند. این روش ایده ای اساسی برای افزایش مقاومت اجزای ساختمانی از طریق دادن شکل هندسی به آن است. از این طریق می توان در هزینه های احداث بام، که بیش از ۳۰٪ هزینه تمام شده خانه های ارزان قیمت است، صرفه جویی کرد.

مقادیر عظیم کانی‌های محلول در اقیانوس‌ها یکی از آخرین منابع شناخته شده و در دسترس برای تولید مصالح ساختمانی مقاوم و در عین حال ارزان قیمت است که می‌توان برای تأمین مسکن از آن استفاده کرد. بتن دریایی به دست آمده با این شیوه مقاوم‌تری شبیه به سیمان پرتلند دارد.

این فن‌آوری، فن‌آوری ساده‌ای برای تولید اجزای ساختمانی است که می‌توان آن را یکی از گزینه‌های پیش روی خود در تأمین مصالح ساختمانی در تعداد قابل توجهی از شهرها و روستاهای حاشیه مرز طولانی ایران با دریای عمان و خلیج فارس به شمار آورد. البته رد یا قبول به‌کارگیری این فن‌آوری در ایران مستلزم بررسی دقیق مزایا و معایب آن است.

یادداشت‌ها

۱. ۳۰٪ از واحدهای مسکونی شهری و ۷۵٪ از واحدهای مسکونی روستایی از مصالح کم‌دوام و بی‌دوام ساخته شده است.

۲. مطالعات سازمان یافته و پی‌گیر برای شناخت منابع دریاها و اقیانوس‌ها از سال ۱۸۷۰ مورد توجه برخی کشورها بوده است. اولین سازمانی که به همین منظور شکل گرفت مؤسسه‌ای بین‌المللی در کپنهاگ دانمارک بود که در سال ۱۹۰۲ میلادی تأسیس شد. در پی تأسیس این سازمان مؤسسه دیگری در سال ۱۹۱۱ میلادی تحت عنوان 'Oceanographic' در پاریس شکل گرفت که هدف آن تهیه نقشه‌های اقیانوس‌شناسی بود. مؤسسات دیگر در سال‌های ۱۹۴۵ در شهرهای مسکو و واشنگتن ایجاد شد. مرکز فرهنگی یونسکو وابسته به سازمان ملل متحد. در سال ۱۹۷۰؛ مؤسسه ملی هواشناسی و اقیانوس‌شناسی و کمی بعد، در سال ۱۹۷۳، کمیته بین‌المللی تهیه نقشه‌های اقیانوسی را تشکیل داد که هدف آن هماهنگی علمی بین جوامع علاقه‌مند به موضوع در سطح جهانی بود.

۳. کربنات کلسیم در ارگانسیم موجودات زنده نیز نقش مهمی در استخوان‌سازی دارد. کاهش کلسیم باعث پوکی استخوان و شکنندگی آن می‌شود.

۴. مکانیزم تولید شیمیایی برق که با استفاده از مواد کربن‌دار یا گرافیت انجام می‌شود.

منابع

سرتپی‌پور، محسن، "آسیب‌شناسی مشکلات مسکن در ایران"، نشریه صفا، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، ش ۳۹، ۱۳۸۳.

---، طرح پژوهشی "مصالح در معماری"، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۳.

---، جزوه درس "آشنایی با مواد و مصالح ساختمان"، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۴.

---، شاخص‌های معماری مسکن روستایی در ایران، نشریه هنرهای زیبا، دانشکده هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ش ۲۲، ۱۳۸۴.

Hilbertz, W.H, "Growing Architecture in Oceans" Accretion, Washington D.C. USA., 1978.

Korlipara R. "The Properties of Electrodeposited Minerals in Seawater" R.A. in Zatorski and H. Herman Department of Material Science, State University of New York, Stony Brook, New York, USA.

Ortega, Alvaro, "Mineral Accretion for shelter. Seawater as Source for Building" MIMAR NO. 32. April 1989.

US Patent No. 4.246.07-5, Jan. (1981), Inventor, Hilbertz. Wolf H.

US Patent No. 4.44-.605, April. (1984), Inventor Wolf, H. Hilbertz.