صفحات ۱۲-۵

طراحی سازه‌های پیش‌ساخته و پایدار با رسوب نمک با الهام از الگوی بهینه‌سازی مصرف مصالح در استخوان ترابکولار انسان

مهندس آذین جلالی*، دکتر محمود گلابچی**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۰۲/۱۵

چکیده

معماری بیونیک، رویکرد نوینی در جهان معاصر اســت که از راه‌حل‌های پایدار طبیعت برای پاسخگویی به مشکلات انسان بهره می‌برد. برای حل مشکل استخراج بیش‌ازحد مصالح از محیط‌زیست که یکی از عوامل ایجادکننده ناپایداری در صنعت ساخت‌وساز و معماری است، به کشف و بازخوانی راه‌حل بهینه‌سازی مصرف مصالح در طبیعت پرداخته می‌شود. سازه‌های طبیعی، مانند استخوان انسان، به‌تدریج مصالح خود را از محیط استخراج می‌کنند. چگونگی شبیه‌سازی ساختار پیش‌ساخته هوشمند که توانایی تخریب و ترمیم خود را دارد و به‌مرورزمان با جذب مصالح از محیط اطراف خود، رشــد می‌یابند ارائه می‌شــود. آب‌های خلیج‌فارس و دریاچه ارومیه با بحران شورشدگی بیش‌ازحد مواجه‌اند. استخراج نمک، به‌عنوان مصالح تکمیل‌کننده، از آب‌شور و برگرداندن آب با غلظت کمتر ، پایداری زیست‌محیطی این روش ساخت‌وساز را تأمین می‌کند.

واژه‌های کلیدی

معماری پایدار، معماری بیونیک، بهینه‌سازی مصرف مصالح، رسوب‌گذاری نمک، خاصیت پیزوالکتریک استخوان

* دانش آموخته کارشناسی ارشد فناوری معماری بیونیک، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران،ایران. (مسئول مکاتبات)
Email: azin.jalali@ut.ac.ir

** استاد دانشکده معماری،پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، ایران.
Email: golabchi@ut.ac.ir

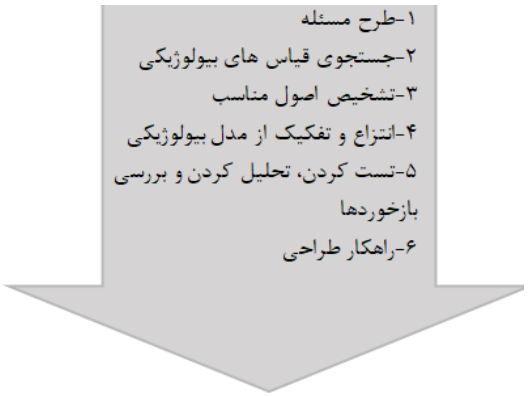
مقدمه

امروزه واژه توسعه پایدار، حرکتی است برای نیل به توافق‌های بین‌المللی، که منافع همگان را محترم می‌داند و از یکپارچگی محیط‌زیست جهان و نظام توسعه حمایت می‌کند. یکی از اهداف توسعه پایدار، حفظ و ارائه بهتر محیط‌زیست و کاهش اتلاف منابع و انرژی است (محمودی نژاد، ۱۳۹۰). بیونیک یا علم بررسی نظام حیات جانداران، امروزه به‌عنوان یکی از سه علم برتر جهان (بیونیک، آی تی، فنّاوری نانو) است. بیونیک علم سیستم‌هایی است که شالوده آنها سیستم‌های زنده‌اند ویا خصوصیات سیستم های زنده را دارند یا به سیستم‌های زنده شبیه‌اند (ژراردن، ۱۳۹۰). بیونیک از تلفیق دو واژه «بیولوژی» و «تکنیک» به معنای دانشی است که مسائل فنی را از راه‌حل‌های زیستی پاسخ می‌دهد. بیونیک دانشی است که از ترکیب مفاهیم متفاوت علوم طبیعی و مهندسی شکل‌گرفته و بامطالعه سیستم‌های حیاتی پیچیده موجودات زنده و فرم‌های طبیعی، پاسخگوی خوبی برای حل مسائل فنی و ساختاری مهندسان است. هدف از مطالعه طبیعت، دستیابی به این نگرش سیستمی و نظام‌مندانست که قدرت فهم و تحلیل و درک ساختارهای قاعده مدار موجود در طبیعت را فراهم می‌سازد.

روش‌های طراحی بیونیک

روش مبتنی بر مسئله یا روش بالا به پائین

این روش با این مراحل شکل می‌گیرد: ۱) این فرایند به‌طورمعمول با یک سؤال مهندسی آغاز می‌شود. ۲) جست‌وجوی الگوهایی از طبیعت که احتمال پاسخ به سؤال مطرح‌شده از طریق آنها وجود دارد. این مرحله با کمک و همکاری بیولوژیست ها انجام می‌شود. به‌طورمعمول در این فرآیند، غربالگری تعداد متفاوتی الگوی بیولوژیکی که بهترین شرایط را برای تولید ایده‌های پاسخگو به الزامات فنی سؤال مطرح‌شده رادارند، از طریق بیولوژیست‌ها و مهندسین ارائه می‌شوند. ۳) انتخاب یک یا دو نمونه از امیدوارکننده‌ترین راه‌حل‌های بیولوژیکی و تجزیه‌وتحلیل بیش‌تر و بررسی‌های تجربی کامل‌تر برای اطمینان از نمونه‌های انتخابی. ۴) انتزاعی نمودن؛ که در این مرحله راه‌حل‌های یافته شده از الگوهای بیولوژی جدا می‌شوند. ۵) مرحله نهایی پس از انتقال موفقیت‌آمیز دانش برگرفته از طبیعت به حوضه معماری، بررسی قابلیت‌های پیاده‌سازی فنی، ارائه طرح‌ها و الگوهای اولیه و آزمایش آنها توسط مهندسین است. در صورت موفقیت‌آمیز بودن آزمایش‌ها، محصول به‌دست‌آمده وارد مراحل تولید صنعتی می‌شود. البته فرایند بالا به پایین ممکن است در مراحل یادشده به‌طور کامل خاتمه نیافته و چرخه پژوهش‌های بیولوژیکی بعد از مراحل غربالگری اولیه، مجدداً برای چندین مرتبه تکرار شود. این امر گاهی اوقات برای تضمین یافتن یک الگوی مناسب بیولوژیکی که دارای اطلاعات موجود بیش‌تری بوده یا ما را به راه‌حل‌های بهتری هدایت کند، ضرورت دارد (متینی، ۱۳۹۳). (شکل ۱). «طراحی سازه‌های نیمه پیش‌ساخته و خود تکمیل شونده با الهام از الگوی رشد استخوان ترابکولار انسان» نیز یک روش مبتنی بر مسئله یا طراحی به روش بالا به پایین محسوب می‌شود.

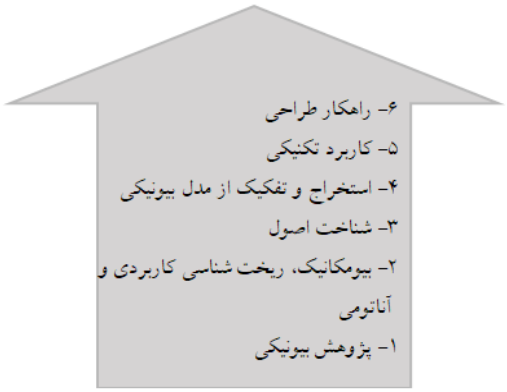


شکل ۱. روش بالا به پایین *(Source: Speck et al,. 2008)*

روش مبتنی بر راهکار یا روش پایین به بالا

این روش با این مراحل شکل می‌گیرد: ۱) نقطه شروع این فرایند، نتایج جدید و الهام‌بخش پژوهش‌ها و مطالعات پایه بیولوژیست‌ها است. ۲) تحلیل بیومکانیک و ریخت‌شناسی کاربردی یک سیستم بیولوژی. ۳) درک دقیق‌تر و گسترده‌تر از اصول و قوانین پنهان در پشت شکل‌ها، کاربری‌ها و ساختارهای بیولوژیکی به کمک تجزیه‌وتحلیل‌های کمّی. ۴) انتزاعی نمودن که در آن اصول و قوانین کشف‌شده از مدل بیولوژی جدا می‌گردند. این بخش از مهم‌ترین و دشوارترین مراحل است زیرا باید بینش و شناخت عمیق اصول و قوانین طبیعت برای بهره‌گیری هرچه بهتر در کاربردهای فنی توسط افراد غیر بیولوژیست درک شوند. ۵) گام نهایی، به مسائل فنی اجراشده که در ابتدا در مقیاس آزمایشگاهی و سپس در مقیاس مهندسی و واقعی انجام می‌گیرد، می‌پردازد. ۶) تکنیک‌ها و روش‌های تولید صنعتی مورداستفاده قرار می‌گیرند تا محصولات الهام گرفته‌شده از طبیعت با توجه به اولویت‌ها و هزینه‌ها، بهینه و وارد مرحله تولید شوند.(متینی، ۱۳۹۳) (شکل ۲)

برای کشف سیستمی در معماری که به‌مرورزمان مصالح موردنیاز خود را از بستر ساختش جمع‌آوری می‌کند، به پدیده‌های مشابه در طبیعت که همین رفتار رادارند باید مراجعه شود. پدیده‌های طبیعی مانند رشد اسفنج‌های دریایی، رشد استخوان و غیره می‌توانستند الگوهای فرض شده برای شروع تحقیق باشند. به کمک روش نمونه پژوهی، با بررسی اولیه الگوهای متفاوت رشد پدیده‌ها در طبیعت، الگوی رشد استخوان انسان که در جهت نیروهای وارده خود را رشد می‌دهد و مستحکم‌تر می‌کند، منطبق‌ترین نمونه با سؤال اصلی پژوهش انتخاب شد.



شکل ۲. روش بالا به پایین *(Source: Speck et al,. 2008)*

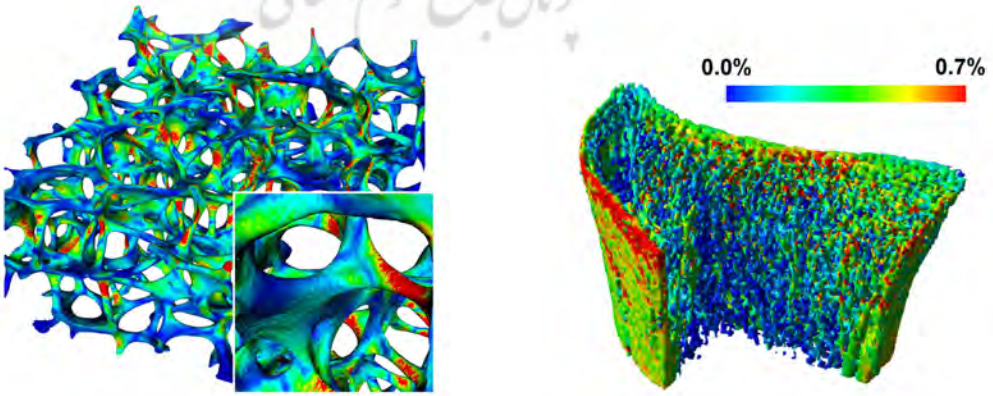
ساختارهای طبیعی و تکمیل شونده به‌مرورزمان

تعریف مسئله: هدف طبیعت استفاده از کمترین مصالح در عین دستیابی به بیشترین کارایی است. یکی از راهکارهای طبیعت در تولید ساختارها،که طی هزاران سال تکامل ایجادشده، فراهم کردن ساخت مایه به‌مرورزمان است. تلاش این مقاله در ارائه‌ی پیشنهادی برای سازه‌های نیمه پیش‌ساخته است که به‌مرورزمان با جذب مصالح از محیط اطراف خود، رشد می‌یابند و خود را تکمیل می‌کنند. نمونه‌ی این ساختارها در طبیعت استخوان‌های بدن انسان است که به‌مرورزمان و با توجه به نیاز لازم از خون کلسیم و دیگر مواد آلی و معدنی را جذب می‌کند و در جهت بارهای وارده خود را تقویت می‌کند و رشد می‌یابد. برای الهام گیری و سپس طراحی چنین سیستمی ابتدا نیاز به شناخت بیشتر منبع الهام اولیه از طبیعت یا همان استخوان انسان، است. در ادامه شناخت پدیده طبیعی به انتزاعی کردن پدیده و سپس آماده‌سازی برای تولید صنعتی، سیستمی پیشنهاد می‌شود.

شناخت بیشتر الگوی اولیه از طبیعت: اُستُخوان جسم جامدی است که تشکیل‌دهندهٔ اسکلت انسان است. استخوان به ریخت‌های گوناگون و اندازه‌های بسیار مختلف در بخش‌های اندام جای گرفته و سازه‌ی درونی و بیرونی پیچیده‌ای دارد. استخوان‌ها دارای وزن کمی هستند ولی محکم و پایدارند.

استخوان‌های اسفنجی [1]: استخوان‌های اسفنجی که به آنها استخوان‌های ترابکولار [2] هم می‌گویند. قسمت داخلی آنها از جنس بافت استخوان اسفنجی است. استخوان ترابکولار بسیار متخلخل است. استخوان اسفنجی یک ساختار سه‌بعدی پیچیده متشکل از اجزایی به نام ترابکولا است که از دیدگاه مهندسی عملکردی شبیه به تیرهای سه‌بعدی دارد . شکل میکروسکوپی استخوان اسفنجی به‌صورت تیغه‌هایی است که به‌صورت سه‌بعدی در کنار هم قرارگرفته‌اند. استخوان اسفنجی به خاطر همین فضاهای خالی، تراکم کمتری داشته و مانند اسفنج متخلخل است. درجهٔ تخلخل آن حدود ۹۰-۳۰ درصد است. در این استخوان‌ها مقدار و جهت قرار گرفتن تیغه‌ها بسته به نیروهایی است که به استخوان وارد می‌شود. هرچه استخوان تحت تأثیر نیروهای بیشتری باشد تراکم این تیغه‌ها بیشتر و تیغه‌ها قوی‌تر است. جهت قرار گرفتن تیغه‌ها هم در جهت و امتداد نیروهایی است که به استخوان وارد می‌شوند. سلول‌های سازنده استخوان این تیغه‌ها را در جهاتی می‌سازند و هم‌راستا قرار می‌دهند که استخوان باوجود داشتن کمترین وزن بیشترین مقاومت را برای تحمل نیروهای وارده به آن داشته باشد. (سلیمانی راد، ۱۳۹۴ *Keaveny, 2001; iranorthoped, 2016; daneshnameh , 2016;*)

در آزمایش‌های بسیار دقیق و شبیه‌سازی‌ها و اسکن‌های سه‌بعدی که دانشمندان از استخوان ترابکولار انجام داده‌اند مشخص می‌شود که توزیع استخوان و توزیع فضاهای خالی در بافت ترابکولار به‌گونه‌ای است که اجزا تحت کمترین تنش بارهای وارده را انتقال می‌دهند *(Acquaah 2015,)*. (شکل ۳)



نواحی قرمز حداکثر تنش و نواحی آبی حداقل تنش را دارند.

شبیه سازی توزیع تنش در استخوان تحت بارهای محوری

شکل ۳ . بررسی توزیع تنش در استخوان انسان *(Source: Van Lenthe,2008)*

شکل ۴. استفاده از پرینترهای سه بعدی و مصالح اولیه موجود در طبیعت *(Source: Philippawagner, 2017)*

انتزاع و شبیه‌سازی

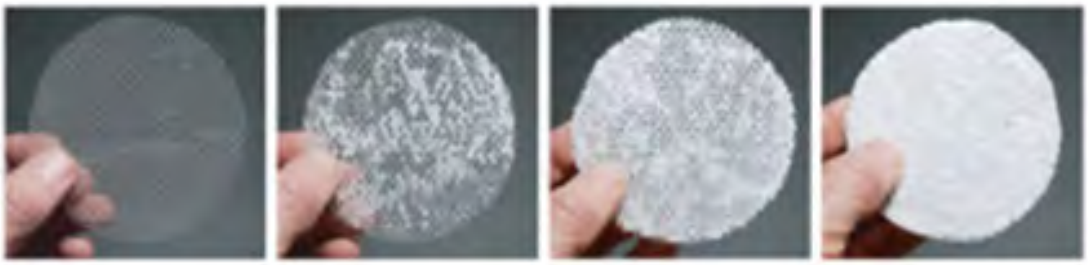
طبق اعلام سازمان محافظت از محیط‌زیست آمریکا، صنعت ساخت‌وساز ۴۰٪ از دی‌اکسید کربن جهان را تولید می‌کند. از بعد از انقلاب صنعتی بتن و آجر و سیمان ساخت مایه‌های اصلی این صنعت باقی‌مانده‌اند و با توجه به مشکلات زیست‌محیطی کنونی همه به دنبال راه‌حلی از طبیعت می‌باشند *(Van Lenthe, 2008)*. پس از مطالعهٔ کامل منبع الهام اولیه (پدیدهٔ طبیعی) و استخراج الگوهای رشد استخوان انسان، این فرآیند باید به مرحله شبیه‌سازی و سپس مرحله تولید صنعتی برسد. با توجه به مشکلات زیست‌محیطی که معماری و صنعت ساختمان سرمنشأ بسیاری از آن است، حتی‌الامکان راه‌حلی باید ارائه بشود که کمترین میزان آلودگی محیط‌زیست و کمترین میزان مصرف مصالح (برداشت از طبیعت) را در بربگیرد.

شبیه‌سازی اسکلت اولیه: به کمک پرینترهای سه‌بعدی و استفاده از مصالح اولیهٔ ارزان و در دسترسی مانند شن‌های ساحل ساختار اولیه با تراکم حداقلی ساخته می‌شود. (شکل ۴)

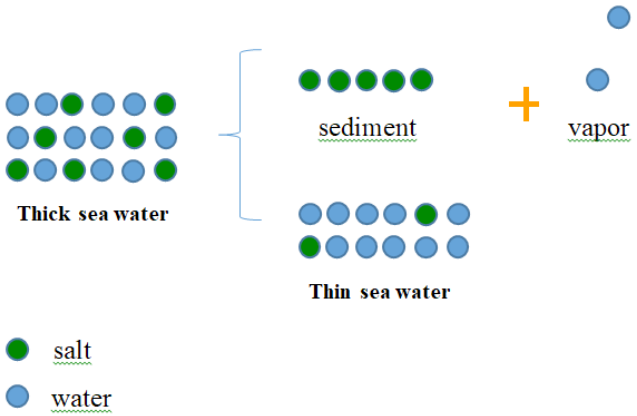
شبیه‌سازی رشد استخوان اسفنجی: با قرار گرفتن این اسکلت اولیه کنار سواحلی مانند ساحل دریاچه ارومیه یا ساحل خلیج‌فارس و تغذیه ساختار با آب بیش‌ازحد شور شده محیط، به‌مرورزمان بلورهای نمک خلل و فرج اسکلت اولیه را متراکم‌تر و مقاوم‌تر می‌کند (شکل ۵)

مزیت این روش در نوع نگاه به الهام گیری از طبیعت است. با نگاه به نحوه‌ی رشد استخوان انسان و اینکه در ابتدا بدن ساخت مایه کمی را برای اسکلت مصرف می‌کند و به مرور زمان ساخت مایه موردنیاز خود را جذب می‌کند این نوع از سازه‌های نیمه پیش‌ساخته نیز با مصالح ارزان‌قیمت و موجود در محیط به‌مرورزمان خود را تکمیل می‌کنند. مزیت دیگر این سازه‌های نیمه پیش‌ساخته در هماهنگی با اکوسیستم محل ساخت است و با گرفتن آب غلیظ از محیط و برگرداندن آب رقیق به اکوسیستم می‌توان اطمینان داشت که آسیبی به محیط‌زیست و اکوسیستم محل ساخت وارد نمی‌شود. (شکل ۶)

شبیه‌سازی شرایط رسوب‌گذاری: برای تشکیل نمک‌های تبخیری به شرایطی از قبیل حوضهٔ مناسب رسوب‌گذاری (ماتریس پایه در استخوان) ، تغذیه ماتریس با مقدار محدودی از آب‌شور علاوه بر شرایط مساعد آب و هوایی نیاز است. ذخایر تبخیری را تنها در مناطقی که میزان تبخیر بیش از بارندگی باشد می‌توان مشاهده نمود، این قبیل ذخایر در مناطق قاره‌ای، مناطق کم‌عمق حاشیه دریاها و بالاخره در آب‌های محدود بزرگ یا کوچک می‌تواند به وجود



شکل ۵ . مراحل رسوب گذاری نمک روی ماتریس پایه *(Source: Inhabitat, 2016)*



شکل ۶ . دیاگرام ساز و کار رسوب گذاری و رشد سازه، استفاده از آب غلیظ برای تامین شرایط رسوب گذاری و بازگشت آب رقیق به اکوسیستم

آید (حلمی، ۱۳۸۳).

طبق شـــرایط ذکرشده این نوع از سازه‌های پیش‌ســـاخته را برای قرارگیری در مکان‌هایـــی از قبیـــل ســـاحل دریاچـــه ارومیـــه و حاشـــیه خلیج‌فارس، گزینه‌های مناســـبی محسوب می‌شوند. هر دو مکان یادشده براثر آسیب‌های زیست‌محیطی بیش‌ازحد طبیعی شور شده‌اند و این روش ساخت‌وساز هرچند مشکل شورشدگی بیش‌ازحد این اکوسیستم‌ها را برطرف نمی‌کند اما می‌توان اطمینان داشت که نمک برداشت‌شده از آب منطقه نه‌تنها ضرری به اکوسیستم وارد نکرده بلکه در جهت تعدیل غلظت و شوری آب منطقه رفتار کرده است. برای رســـوب نمک رطوبت نســـبی محیط باید حدود ۸۰ باشد. برای افزایش رســـوب‌گذاری نمک وجود ترکیبات ارگانیکی در حوضه رســـوب‌گذاری لازم است. افزایش کلرور منیزیم در آب‌های شور با کاهش انحلال کلرور سدیم در آب همراه اســـت و شرایط رسوب آن را مساعد می‌سازد. چون بیشترین میزان تبخیر در فصول خشـــک قبل از طلوع خورشید است لذا نمک در ساعات اولیه صبح رســـوب می‌شود. بلورهای درشت نمک نشـــانه وجود آرامش در محیط رسوبی است و بافت دانه‌ای معرف محیط آشفته رسوب‌گذاری است. (حلمی، ۱۳۸۳) بنابراین برای تولید بلورهای ســـخت و شـــفاف نمک تزریق آب‌شور خارج‌شـــده از دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن جنوب کشـــور باید به‌صورت آرام و هنگام صبح صورت بگیرد.

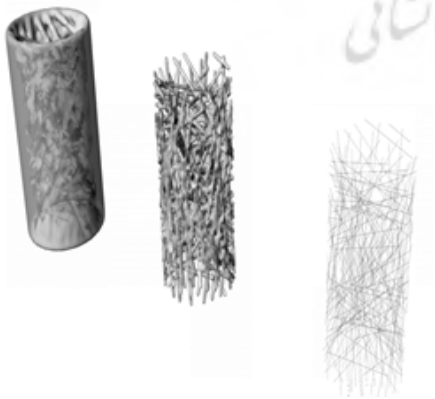
شبیه‌سازی بافت استخوان

مدل‌سازی رایانه‌ای: پس از شـــناخت الگوی رشد استخوان ترابکولار و تبدیل مدل اولیه طبیعی (استخوان) به مدل انتزاعی، رسوب‌گذاری نمک روی ماتریس اولیه، نوبت به شبیه‌ســـازی سیستم پیشنهادی به کمک نرم‌افزارهای ســـه‌بعدی ســـازی می‌رســـد. برای تولید فرم‌های ارگانیک و تنوع بخشیدن پارامتریکی به مدل‌سازی بهترین گزینه استفاده از نرم‌افزار گرس هاپر[۳] است.

پس از جســـت‌وجو و مقایســـه افزونه‌های[۴] موجود برای گـــرس هاپر، افزونه کوکون[۵] برای شبیه‌سازی انتخاب شد. سازه‌های فضا کار رایج از اعضای توپر یا مقاطع لوله‌ای اســـتفاده می‌کنند. در این سیستم هر عضو از اعضای سازه فضا کار یک استخوان در نظر گرفته می‌شود که متخلخل ولی پایدار است که باید به‌مرورزمان با رسوب‌گذاری نمک

خود را تقویت کند. نحوهٔ فرم یابی هر عضو سازه‌ای به این شرح است.

روش الف: ابتدا یک اســـتوانه ترسیم می‌شود. سپس به‌صورت تصادفی[۶] تعداد زیادی نقطه روی پوسته آن انتخاب می‌شود. بین هر دونقطه یک خط کشیده می‌شـــود. این خطوط اولیه همان ساختار اولیه یا ماتریس پایه تک‌بعدی است که توســـط پرینترهای ســـه‌بعدی باید تولید شـــود. به کمک پلاگین کوکون می‌توان نحوه رشـــد و رســـوب‌گذاری بلورهای نمـــک را روی ماتریس اولیه پیش‌بینی کرد. (شکل ۷)

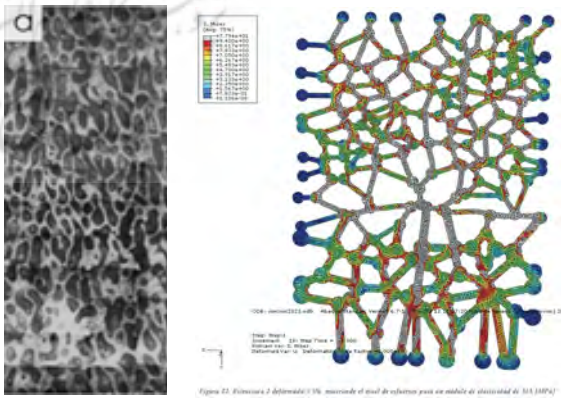


شـــکل ۷. مدل سازی دیجیتالی الگوی رشد استخوان به کمک نرم grasshopper و پلاگین cocoon

روش ب: درروش‌های قدیمی‌تر مدل‌ســـازی استخوان اسفنجی، با استفاده از مکانیک جامدات و شبیه‌ســـازی اجزای محدود با ماهیت تیر و صفحه صورت می‌گرفت. اما اخیراً تلاش‌هایی در جهت مدل‌ســـازی استخوان با شبیه‌سازی ســـلول‌های بی‌قائده در جامدات از طریق روش تقسیم‌بندی ورونوئی صورت گرفته است *(Gan, 2005 ؛ Kowalczyk, 2003)*. شبیه‌سازی استخوان اســـفنجی از طریق سلول‌سازی مســـیرهای جریان نیروی بهتری را نسب به روش اجزای جدا هم از ارائه می‌دهد *(Ruiz et al., 2017)*.

هر ســـطحی که به‌عنوان دیوار یا سازه‌ی دوبعدی موردنظر است را می‌توان با روش ورونوئی[۷] ســـه‌بعدی به کمک نرم‌افزار گرس هاپر پوشش داد. خطوط اولیه و تولیدشده توسط الگوریتم ورنوئی همان ماتریس پایه دوبعدی یا داده‌ی ورودی پرینترهای سه‌بعدی می‌شود. (شکل ۸ و ۹)

شـــکل ۸. شبیه ســـازی بافت استخوان با اســـتفاده از روش تقســـیم بندی ورونوئی *(Source: matsysdesign, 2016)*

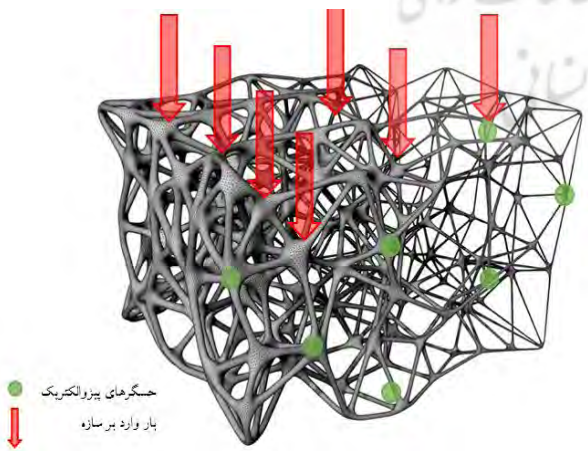


شکل ۹: سمت چپ تصویر میکروسکوپی بافت استخوان، سمت راست شبیه سازی بافت با اســـتفاده از منطق و هندســـه ورونوئـــی *(Source: Ruiz et al,. 2010 cited in Ruiz et al,. 2017)*

شبیه‌سازی الگوی رشد

خاصیت پیزوالکتریک: اثر پیزوالکتریک، قابلیت برخی از مواد و کریستال‌ها برای تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و تبدیل انرژی الکتریکی به مکانیکی اســـت. تولید اختلاف‌پتانســـیل الکتریکی در برخی بلورهای نارسانا مثل کوارتز تحت کشـــش یا فشار اثر پیزوالکتریک است. اثر پیزوالکتریک در کریســـتال‌ها برخی از سرامیک‌ها و اجسام زیســـتی مانند استخوان، DNA و پروتئین‌ها روی می‌دهد. (گلابچی، ۱۳۹۰) خاصیت پیزوالکتریک در استخوان به خاطر وجود کلاژن‌ها اســـت. هنگامی‌که تعـــدادی از مولکول‌های کلاژن در یک‌جهت تحت‌فشـــار قرار بگیرند مقدار بار زیادی از داخل به سطح نمونه حمل می‌شـــود. اثر پیزوالکتریک به طور عمومی به‌عنوان یک حسگر نیروی بیولوژیکی عمل می‌کند. استفاده پیوســـته از پتانسیل الکتریکی می‌تواند هم تخریب استخوان‌ها و هم رشد استخوان‌ها را (بسته به پلاریته یا قطبیت آنها) باعث شود. *(Drake et al,. 2009)*

شبیه‌ســـازی رفتار پیزوالکتریک: بهینه بودن سازه‌ای بافت استخوان اسفنجی به خاطر پویایی و تغییر تراکم پیوسته آن تحت بارگذاری‌های متفاوت است و صرفاً یک شبیه‌سازی اولیه از بافت ارگانیک استخوان نمی‌تواند منجر به دستیابی به ساختار و رفتاری بهینه مشابه استخوان باشد. ازآنجایی‌که مواد با خاصیت پیزوالکتریک توانایی تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی را دارند می‌توان با تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی گرمایی در بعضی نقاط سازه اختلاف دمایی ایجاد کرد که منجر به افزایش سرعت رسوب‌گذاری نمک در محدوده گرم‌تر، بشود. یعنی هوشمندی و قابلیت انطباق استخوان با بارگذاری وارد بر آن می‌تواند در این ســـازه‌های نیمه پیش‌ساخته به کمک حسگرهای پیزوالکتریک شبیه‌سازی شود و درنهایت سازه‌ای هوشمند با توانایی تقویت یا تضعیف خود در جهت بارهای وارده بشود. (شکل ۱۰)



شکل ۱۰. بارگذاری بیش تر روی قسمت هایی از سازه منجر به تولید جریان الکتریکی و گرمای بیشتری توسط حسگرهای پیزوالکتریک شده در نتیجه در نواحی گرم تر تحت جریان دائمی آب شور، رسوب گذاری بیش تر می شود.

جدول ۱. فرآیند طراحی (مأخذ: ستون اول و دوم: *Helms , 2009*)

مصداق عملی گام‌های موجود درروش مبتنی بر مسئله (مؤسسه فنّاوری تکنولوژی جرجیا)		
گام‌ها	فرایند طی شده در هر مرحله	نمونه
گام اول	تعریف مسئله	تولید سازه‌ای سبک و مقاوم
گام دوم	بیان دوباره مسئله	استفاده از حداقل مصالح و حداکثر کارایی
گام سوم	جستجوی راه‌حل بیولوژیکی	فهم سازوکار استخوان انسان
گام چهارم	تعریف راه‌حل بیولوژیکی	استخوان انسان باوجود سبکی، بسیار مقاوم است
گام پنجم	استخراج اصول	فرم متخلخل و الگوی رشد استخوان
گام ششم	کاربرد این اصول- راهکار طراحی	تولید اجزای سازه‌ای مقاوم اما سبک با ساختار خودسازمان یافته

جمع‌بندی

الهـــام گیـــری از طبیعت به معنی تقلید فرم های ارگانیک و طبیعی نیســـت بلکه الهام از طبیعت به معنی تقلید از پاسخ‌ها و راه‌حل‌های طبیعت برای حل مســـائل اســـت. در الهام از طبیعت می‌توان دو نوع برخورد با طبیعت داشت. یکـــی روش مبتنی بـــر راهکار (طراح ایده‌ای را از طبیعت می‌گیرد و ســـپس مســـئله‌ای را در زندگی بشـــر ارتقا می‌دهد) و دیگری روش مبتنی بر مسئله (طراح با مســـئله‌ای روبه‌رو می‌شـــود و در طبیعت به دنبال پاسخی مشابه با مســـئله می‌گردد). پس در این نوع نگرش ابتدا بـــه طبیعت توجه می‌گردد و ســـپس طراحی انجام می‌گیرد. «طراحی ســـازه‌های نیمه پیش‌ساخته و خود تکمیل شونده با الهام از الگوی رشد استخوان ترابکولار انسان» نیز یک روش مبتنی بر مسئله یا طراحی به روش بالا به پایین محسوب می‌شود. (جدول ۱)

نتیجه‌گیری

معماری بیونیک، رویکرد نوینی در جهان معاصر است که از راه‌حل‌های پایدار طبیعت برای پاســـخگویی به مشکلات انســـان بهره می‌برد. در ابتدای مقاله مســـئلهٔ ساخت‌وساز با استفاده از حداقل مصالح و حداقل آسیب به اکوسیستم محل ســـاخت مطرح شـــد. برای حل مشکل اســـتخراج بیش‌ازحد مصالح از محیط‌زیســـت که یکی از عوامل ایجادکننده ناپایداری در صنعت ساخت‌وساز و معماری اســـت، به کشـــف و بازخوانـــی راه‌حل‌های بهینه‌ســـازی مصرف مصالح در طبیعت پرداخته شـــد.یکی از این راه‌حل‌های طبیعت، برداشـــت و جمع‌آوری تدریجی مصالح از محیط اســـت. سازه‌های طبیعی، مانند استخوان انســـان، به‌تدریج مصالح خود را از محیط اســـتخراج می‌کنند. راه‌حل طبیعت برای ســـاختارهای سبک، مقاوم و خود تکمیل شـــونده یا خود ترمیم شونده در اســـتخوان انسان قابل‌بررسی و تبدیل به نمونه یا طرح‌ها و الگوهای اولیه معماری به نظر می‌رسید. چگونگی شبیه‌سازی سازه پیش‌ساخته هوشمند که توانایی تخریـــب و ترمیم خود را دارد و به‌مرورزمان با جذب مصالح از محیط اطراف خود، رشـــد می‌یابند پرسش اصلی این مقاله مطرح شد. با واکاوی این پدیده و به کمک نرم‌افزارهای شبیه‌ســـازی و فنّاوری و ابزارهای جدید مانند پرینترهای ســـه‌بعدی این نوع از ساختارها برای ساخت‌وساز در آینده پیشنهاد می‌شـــود. محصول این مقاله ارائه ایده‌ای برای ســـاخت دیوارهای سبک که عمدتاً در فضاهای داخلی اســـتفاده می‌شوند، اســـت. البته برای جلوگیری از تحلیل نمک در مواجهه با حلال‌هایی مانند آب ممکن اســـت برای استفاده در فضاهای خارجی، این ســـاختارها نیازمند یک پوشـــش محافظتی ضد آب باشـــد که در این صورت رشد و توانایی ترمیم و تخریب سازه و تطبیق‌پذیری با نیروهای وارده متوقف می‌شـــود. در ســـال‌های اخیر آب‌های خلیج‌فارس و دریاچه ارومیه با بحران شورشـــدگی بیش‌ازحد مواجه شـــده‌اند. هرچند انتظار نمی‌رود که روش پیشـــنهادی این مقاله مشـــکل شورشـــدگی خلیج‌فارس یا دریاچه ارومیه را حل کند اما می‌توان اطمینان داشـــت که اســـتخراج نمک، به‌عنوان مصالح تکمیل‌کننده، از آب‌شـــور و برگردانـــدن آب با غلظت کمتر، پایداری زیست‌محیطی این روش ساخت‌وساز را تأمین می‌کند.

پی‌نوشت‌ها

1. Cancellous bone
2. Trabecular bone
3. grasshopper
4. plugin
5. cocoon
6. Random
7. voronoi

فهرست مراجع

۱.حلمی، فریده. (۱۳۸۳). *شـــرحی بر نمک طعام - پتاس و پراکندگی آنها در ایران*. تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران.

۲. ژراردن، لوسین. (۱۳۹۰). *بیونیک -تکنولوژی از جانداران الهام می گیرد*. (محمود بهزاد و پرویز قوامی، مترجم). چاپ چهارم. تهران: انتشارات سروش.

۳. سلیمانی راد ،جعفر. (۱۳۹۴). *بافت شناسی*. چاپ پنجم. تهران: انتشارات گلبان.

۴. گلابچی، محمود؛ تقی زاده ، کتایون؛ و ســـروش نیا، احسان. (۱۳۹۰). *نانوفناوری در معماری و مهندسی ساختمان*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

۵. متینـــی، محمدرضـــا. (۱۳۹۳). بهره گیـــری از الگوهای طبیعت بـــرای طراحی ساختارهای تغییرپذیر خم شو در معماری. *نشریه هنرهای زیبا معماری و شهرسازی*، ۲۰(۱)، ۶۷-۸۰.

۶ محمودی نژاد، هادی. (۱۳۹۰). *معماری زیست مبنا*. تهران: انتشارات هله/طحان

7. Acquaah, F., Robson Brown, KA., Ahmed, F., Jeffery, N.,& Abel, RL. (2015). *Early trabecular development in human vertebrae: overproduction, constructive regression and refinement*. Front Endocrinol. 6,67.

8. Drake, R., Wayne Vogl, A., Adam, W., & Mitchell, M. (2009). *Gray's anatomy for students*. London: Churchill Livingstone. Edition 40.

9. Gan, Y. X., Chen, C., & Shen, Y. P. (2005). Three-dimensional modeling of the mechanical property of linearly elastic open cell foams. *International Journal of Solids and Structures*, 42(26), 6628-6642.

10. Helms, M., Vattam, S. S., & Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: process and products. Design Studies, 30(5), 606-622.

11. Keaveny, T. M., Morgan, E. F., Niebur, G. L., & Yeh, O. C. (2001). Biomechanics of trabecular bone. *Annual review of biomedical engineering*, 3(1), 307-333.

12. Kowalczyk, P. (2003). Elastic properties of cancellous bone derived from finite element models of parameterized microstructure cells. *Journal of biomechanics*, 36(7), 961-972.

13. Ruiz-Cervantes, O., Lara-Ramírez, J. S., Ramírez-Díaz, E. I., & Ortiz-Prado, A. (2017). Trabecular bone modeling methodology using geometric representations. Ingeniería. *Investigación y Tecnología*, 18(4),379-387

14. Osvaldo, R. Rafael, S. Ramírez, E. Víctor, H. Ortiz, A. (2010). *Analysis of the architecture and mechanical properties of cancellous bone using 2D voronoi cell based models. Proceedings of the world congress on engineering.* 2010 Vol I WCE 2010. (June 30 - July 2). London, U.K.

15. Speck, T., Speck, O., Beheshti, N., & McIntosh, A. C. (2008). *Process sequences in biomimetic research. Design and Nature IV*, 114, 3-11.

16. Van Lenthe, G. H., & Müller, R. (2008). CT-based visualization and quantification of bone microstructure in vivo. *IBMS BoneKE*y, 5(11), 410-425.

17. *Iranorthoped.* (2016). Retrieved March, 2016. from https://www.iranorthoped.ir/fa/news/2408.

18. *Daneshnameh.roshd*. (2016) Retrieved March, 2016, from https://www.daneshnameh.roshd.ir/mavara.

19. *Matsysdesign*. (2016). Retrieved March, 2016, from https://www.matsysdesign.com/self-organization.

20. *Philippawagner*. (2017). Retrieved March, 2017, from https://www.philippawagner.co.uk

21.*Frontiersin.* (2016). Retrieved March, 2016, from https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fendo.2015.00067/full.

22. *Inhabitat.* (2016). Retrieved March, 2016. from https://www.inhabitat.com/salt-crystalized

©I.A.U

Sustainable Prefabricated Structure Design by Salt Sediment Inspired by Material Distribution Optimization of Human Trabecular Bone

Azin Jalali**, M.A. of Bionic Architecture Technology, Faculty of Fine Arts, Tehran University, Tehran, Iran.

Mahmoud Golabchi, Professor, Department of Architecture, Faculty of Fine Arts, Tehran University, Tehran, Iran

Abstract

Nature can be an interesting source of human inspiration for design and inventions. Man has been always related to the nature in different levels. Bionic Architecture is a new trend in contemporary world that benefits from sustainable nature`s solutions for human problems. There are two main methods of bio inspired design, First: Bottom-Up or solution based method, Second: Top-Down or problem based method. The authors used Top-Down or problem based method to find the article`s main question: How to design a sustainable self-growing and self-compacting structure which is cheap and uses minimum material. First there was problem of construction with minimum material usage and ecosystem damage, then human bone as an inspiring source was focused on, and abstracted form modeled by 3D printers can lead this basic prototype to industrial mass production. This article aims to find a solution for problem of over extracting materials from environment which is a factor of unsustainability in architecture and construction industry. It tries to discover the pattern of how structures optimize their material usage to build their selves. Natural structures extract needed materials from their context gradually, an example of these structures in nature is human bone that have balance between strength, weigh and material distribution. How to simulate this semi prefabricated, self-compacting and intelligent structure able to self-healing and self-destroying itself in essential parts and gradually extract material from its context environment grows and completes itself is the result of this article. The process of simulation from natural model to industrial sample is discussed in the main text. The process contains these steps: Discovering bone structure, Abstracting bone pattern, Simulating bone growth, and providing sediment phase. Bone structure can be simulated into two different ways. One of them is using random points as basic matrix and the other one is Voronoi pattern. Both of these methods can be modeled by Grasshopper plugin and Rhino software. After modeling abstracted Trabecular pattern as basic matrix, it can be made by 3D printers which use cheap and abundant material like sand. The basic sand matrix is put into over salinized water to become more and more compacted by time duration and salt sediments. The Piezoelectric property of the bone cells could be ignited by external forces is the basic cause of calcium ions absorption from bloodstream and calcium precipitation on bone matrix. Bone grows up according to the direction of the external force vectors. Simulation of this dynamic process in a smart structure that builds and destroys and repairs itself is proposed to use Quarts sensors which has the same piezoelectric feature and can simulate the behavior of bone calcium precipitation by making heat from the forces that have to bear and making heat as reaction. The material for process of structure growth is salt (sea salt). As the water of Persian Gulf or Lake Urmia is facing over salinization crisis, extracting salt from these over salty water and returning less salty water to its source can supply environmental sustainability of this kind of construction method.

Keywords: Sustainable Architecture, Bionic Architecture, Material Usage Optimization, Salt Sediment, Bone Piezoelectric Feature

* Corresponding Author:Email: azin.jalali@ut.ac.ir