فرهنگ و زیست فناوری معماری

نشریه علمی فرهنگ و زیست‌فناوری معماری
پاییز ۱۴۰۱، سال ۲، پیاپی ۶

تبیین اصول نگهداشت گرما در بافت‌های گیاهی برای معماری بیومیمتیکس بر اساس مدل‌سازی مبتنی بر TPM؛ موردپژوهی: جنگل‌های هیرکانی گرگان

زمان دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۷/۳ زمان پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۸/۲۹

فرانچسکو فرا- رییس دپارتمان معماری دانشگاه بولونیا، ایتالیا
مرجان کوزه‌ساز زاده[1]- کارشناس ارشد معماری و پژوهشگر حوزه معماری بیونیک، تهران، ایران

چکیده

گیاهان در طول تاریخ تکاملی خود مقاومت شگفت انگیزی را در برابر شرایط مختلف آب و هوایی مختلف کسب کرده‌اند. بخصوص در برابر آب و هواهای بسیار سرد و در نقطه انجماد. در مقابل، تغییر فاز از حالت مایع به جامد در مصالح ساختمانی استاندارد، سبب آسیب می‌شود. بنابراین، هدف و تصور انتقال برخی از استراتژی‌ها و خواص ساختاری گیاهان مقاوم به مصالح ساختمانی و ساخت-وساز است. نمونه موردی این تحقیق، گیاهان «جنگل هیرکانی ایران» بوده از روش شبیه‌سازی TPM در تحلیل نگهداشت گرما و آنالیز حرارتی آن استفاده شده است. یافته‌های تحقیق ضمن بیان استراتژی‌های اساسی و خصوصیات ساختاری گیاهان مقاوم جنگل هیرکانی در برابر سرما، نشان داده است که استراتژی مدل‌سازی سفارشی از آنجایی‌که بافت‌های گیاهی با یک آرایش بسیار مرتب از سلول‌های تکی و در اندازه‌ها و اشکال مختلف شکل گرفته‌اند، نمایانگر مواد طبیعی منفذدار طبقه-بندی شده قابل استفاده در معماری و مصالح ساختمانی هستند. این صفات ساختاری مناسب برای مقاومت در برابر آب و هوای بسیار سرد بوده که این صفات یک رویکرد مکانیکی مستمر بر مبنای تئوری محیط متخلخل ارائه کرده‌اند، به بیان دیگر به بازتولید مصالح ساختمانی ساخته‌شده از مواد چندوجهی و چند فازی کمک می‌کند و شبیه‌سازی‌های اولیه نیز نشان‌دهنده نفوذ صفات ساختاری در انتقال آب در بافت‌های گیاهی و یقیناً مصالح سبک کاربردی مانند بتن‌های هبلکس است.

واژگان کلیدی: بافت گیاهی، اصل حمل گرما، مدل‌سازی مبتنی بر TPM، جنگل هیرکانی.

[1] مقاله حاضر بطور مشترک با «دکتر فرا» توسط «مرجان کوزه ساز» با هماهنگی دانشگاه بولونیا در قالب پروژه اپلای گروه معماری دانشگاه در ترجمه فارسی برای نشریه ارسال شده است.

(*) نویسنده مسئول مکاتبات، شماره تماس: ۰۶۱۲۵۸۴۶۹۳، رایانامه: kozesazzade@yahoo.com

۱- مقدمه و بیان مساله

در جنگل‌های هیرکانی ایران درختان متخلخل دارای عرضی به طول ۲۰۰ متر هم هستند، بنابراین بافت‌های گیاهی نمایانگر ساختارهای درجه‌بندی شده هستند. این ماده ناهمسان هادی آب، توانایی هدایت طولی آب را دارد اما در هدایت عرضی آن با مشکل مواجه می‌شود. می‌توان انتظار داشت که این صفات ساختاری نه تنها جریان آب را کنترل می‌کنند، بلکه انتقال حرارت و تشکیل یخ را نیز تحت نظر و هدایت خود دارند. در طول تاریخ تکاملی، گیاهان مقاومتی شگفت‌انگیز را در برابر شرایط مختلف آب و هوایی ایجاد کسب کرده‌اند (*Francesco Fera, 2012, p. 39*). این ویژگی درباره گیاهان مقاوم در برابر یخزدگی کاملاً مشهود است که قادرند کاملاً دربرابر چرخه‌های انجماد ایستادگی کرده، آسیب نبینند. علاوه بر فرایندهای فیزیولوژیکی، یکی دیگر از عوامل مهم مقاومت در برابر یخبندان، ساختار درجه بندی شده مواد گیاهی است. در مقابل، تغییر حالت فیزیکی آب‌های معدنی متراکم در میان مواد ساختمانی، سبب آسیب می‌شوند. به طور خاص، این آسیب به دلیل گرم و سرد شدن پیوسته آب با توجه به حجم آب معدنی است. از آنجایی که گیاهان جنگل هیرکانی استراتژی‌هایی فردی برای انطباق با چنین شرایطی درنظر گرفته‌اند، چشم انداز ما این است که از این بخش‌ها در مواد ساختمانی استفاده کنیم. انتقال خواص اساسی گیاهان به مصالح ساختمانی متخلخل صنعتی منجر به تغییرات قیزیکی ساختمان شود که این تغییرات شامل مقاومت در برابر یخبندان، انزوا حرارتی و انتقال رطوبت در سازه های متخلخل ناهمگن است (محمودی‌نژاد: الف، ۱۳۹۹، ص ۸۷). مواد متخلخل در تکنولوژی کاملاً فراگیر هستند و برای اهداف مختلف مثل فیلترها، کاتالیزورها، عایق‌ها و کاربردهای بیومدیکال مورد استفاده قرار می‌گیرند. مصالح ساختمانی هم طبیعتی متخلخل دارند و شامل مواد ساختمانی طبیعی می‌شوند. علاوه بر این، ساختارهای زیستی هم عمدتاً متخلخل هستند چراکه همه مواد زنده از سلول تشکیل شده‌اند و یا مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها از سلول درست شده است. منشاء سلولی مواد بیولوژیکی به ساختارهای پیچیده این اجازه را می‌دهد که بتوانند به مقیاس نانومتری تقسیم‌بندی شوند. ساختار متخلخل در بسیاری از بافت‌های گیاهی شایع است. در این مقاله بدیع به تبیین اصول انباشت و نگهداشت گرما در بافت‌های گیاهی مقاوم در برابر سرما در معماری بر اساس مدل‌سازی مبتنی بر TPM؛ موردپژوهی: گیاه سوزن‌پهن جنگل‌های هیرکانی ایران پرداخته می‌شود.

۲- روش‌شناسی و پیشینه تحقیق

نمونه موردی این تحقیق، گیاهان «جنگل هیرکانی ایران» بوده از روش شبیه‌سازی TPM در تحلیل نگهداشت گرما و آنالیز حرارتی آن استفاده شده است. مکان تحقیق جنگل هیرکانی گرگان است. جنگل‌های مختلط کاسپی هیرکانی به انگلیسی (*Caspian Hyrcanian mixed forests*) یک زیست منطقه در زیست‌بوم جنگل‌های مختلطِ پهن‌برگِ حاشیه جنوبی دریای مازندران و کناره شمالی البرز

به مساحت ۵۵,۰۰۰ کیلومتر مربع (۲۱,۰۰۰ مایل مربع) (۷٪ مساحت ایران است که در کناره جنوبی و جنوب باختری دریاچه کاسپین در بخش‌هایی از ۵ استان شمالی ایران قرار گرفته و در دو کشورِ ایران و جمهوری آذربایجان است. متاسفانه درحالی این پوشش گیاهی ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع مساحت دارد که ٪۵۱ آن تاکنون منقرض شده و تنها از ٪۱۰,۳ آن حفاظت صورت می گیرد. در حال حاضر جنگل‌های هیرکانی زیست‌بوم ۲۹۶ گونه پرنده و ۹۸ گونه پستاندار هستند. همچنین ۱۵۰ گیاه بومی درختی و بوته‌ای (مانند شمشاد و انجیلی) نیز در آن یافت می‌شوند. این جنگل از منطقه پارک ملی هیرکان جمهوری آذربایجان آغاز و تا استان خراسان شمالی در ایران امتداد دارد و در ایران، مورد حفاظت مشترک سازمان جنگلها مراتع و آبخیزداری کشور یگان حفاظت از منابع طبیعی و آبخیزداری، سازمان حفاظت محیط زیست ایران و سازمان میراث فرهنگی است. واژه هیرکان تلفظ یونانی از نام گرگان است.

۳- ادبیات تحقیق

۳-۱ معماری بیومیمتیکس

معماری همیشه خود را به محیط طبیعی اضافه می‌کند و با محیط تعامل می کند. مخصوصاً، معماری پناهگاهی در طبیعت برای محافظت از ساکنان خود از طبیعت فراهم می‌کند. در طول تاریخ، شکل منبع اساسی الهام از طبیعت بوده است، که از تأثیرات ساده تا ترجمه به زبان معماری متفاوت است. یونانیان باستان، تزئینات ستون‌ها و مقبره ها را بر اساس گیاه بومی محل زندگیشان چیده اند تا طبیعت را نمادین سازند. امروزه طراحان به صورت دیجیتال زبان معماری را گسترش داده‌اند که شبیه به اشکال طبیعت است. آیا می‌توانیم راه‌های تازه‌ای برای لمس این زمین از طریق طراحی بیومیمتیک و تحلیل سازگاری‌های فیزیکی و رفتاری جانوران برای شرایط محیطی بیابیم؟ دانش ما از طبیعت باید بیشتر به عنوان منبعی برای طراحی و برای فهم و درک بهتر ساختمان ها به کار رود. طبیعت بینش‌های بیشتری با توانایی‌های غیرمستقیم برای داشتن تأثیر کلی‌تر در معماری انجام می‌دهد. این با مثالی از ارتباط بین اکوسیستم‌ها نشان داده شده است. مناظر اکولوژیکی هیچ مرز مشخصی ندارد بلکه آنها لبه هایی دارند که تحت تأثیر جوامع مجاور است. این منجر به ایجاد توالی پاسخ‌ها و شبکه ارتباطاتی می‌شود که امکان سازگاری در طول زمان در هر عنصری برای جامعه یا اکوسیستم را فراهم می‌سازد. از ساختمان‌ها گرفته تا محیطی که در آن زندگی می کنیم، می توانیم اکوسیستم های پیچیده با راه حل های مرتبط با هم ایجاد کنیم که گستره بی‌پایانی از نتایج را پیشنهاد می‌دهد. یادگیری از ارتباط بینابینی کارآمد به طراحان امکان بررسی توانایی‌ها برای پاسخ های چند کاره را فراهم می‌کند. این همچنین نمونه هایی را ارائه می کند که در جانوران دیده می‌شود. با استقبال از روندهای طراحی الهام گرفته از زیست‌شناسی، فرصت‌هایی برای کمک به توسعه محیط-های ساخت بشر در تناسب با طبیعت پیش می‌آید که شروع به حذف جدایی بین سازه ها و قلمروی

زندگی را می کند. فعل و انفعالات تاریخی معماری الهام گرفته از زیست‌شناسی بین علوم، هنر و طراحی: مکان‌های باستان‌شناسی این حقیقت را به اثبات می‌رساند که طبیعت منبعی برای مشاهده طراحی‌های جدید از زمان تمدن بشر در زمان باستان است. نمونه‌هایی از محصولات مصنوعی و نقاشی‌های قدیمی اتروسکان در غارها یافت شده است که نشان‌دهنده نیاز جوامع به عبادت است. پیروان مذاهب چند خدایی یونان، سازه هایی را به عنوان خدایان و الهه ها می پرستیدند که نامشان از عناصر طبیعت گرفته شده بود. فیلسوف مهم یونان و دانشمند ارسطو (۳۸۴–۳۲۲ بعد از میلاد) طبیعت را در مرکز این مطالعات علمی قرار می داد. در کتاب تاریخچه جانوری‌اش، او بسیاری از پدید های جانورشناسی را توصیف کرد. در معماری باستان، اشکال طبیعت به صورت نمادین و متافیزیکی به کار می‌رود. طبیعت همیشه چیزی برای مشاهده، حضور، احترام، و عبادت بوده است. با اینحال، با استثنا بزرگی از لئوناردو دا وینچی، تا قرن نوزدهم که متفکران قدمی در زمینه بررسی‌هایی برای عملیات انجام دادند. لئوناردو می توانست به عنوان اولین طراح بیومیمتیک در نظرگرفته شود. با شروع عصر کاوش و افزایش اکتشافات آمریکایی‌ها (۱۴۹۲)، هجوم طبیعت‌گرایان اروپایی زمینه‌های مطالعاتی آنان را به شکل نقاشی‌های طبیعت نشان داد. نتیجتاً، علم با استفاده از ابزارهای قرض گرفته از جهان هنر پیشرفت کرد. بزرگترین طبیعت-گرایان تاریخی، مانند لئوناردو داوینچی (۱۴۵۲–۱۵۱۹)، کنراد گسنر (۱۵۱۶–۱۵۶۵)، و اولیسه آلدروواندی (۱۵۲۲–۱۶۰۵)، نقاشی‌های شگفت انگیزی را خلق کردند. تاریخچه جانوری گسنر که در ۱۵۵۵ در سوئد منتشر شد، به عنوان اولین کار دایره المعارفی در نظر گرفته شد که به سندسازی تمام حیوانات مخصوصاً از طریق نقاشی‌ها که مخصوصا توسط «لوکاس شان» کشیده شده است، می‌پردازد. این کتاب منجر به اتفاقی شد که چندسال بعد تمام نقاشی‌هایش در کتاب جداگانه‌ای به نام تصاویر جانوران (۱۵۶۰) گردآوری شد. می‌توانیم اولین اهمیتی که به مشاهدات مستقیم علمی آلدروواندی داده شده است، پرداخت. نقاشی‌های آبرنگی و تمپرایی همراه با مجموعه نقاشی هایی که در این آتلیه جمع‌آوری شده است، ارگانیسم هایی که به طور مستقیم مشاهده شده و واقعیت را به تصویر کشیده نشان می دهد. در قرن حاضر، در عصر روشن فکری، ۱۶۵۰–۱۸۰۰، کاوشگران

تصویر ۱. نمایش جغد. اولسی آلدرو واندی. ۱۵۹۹

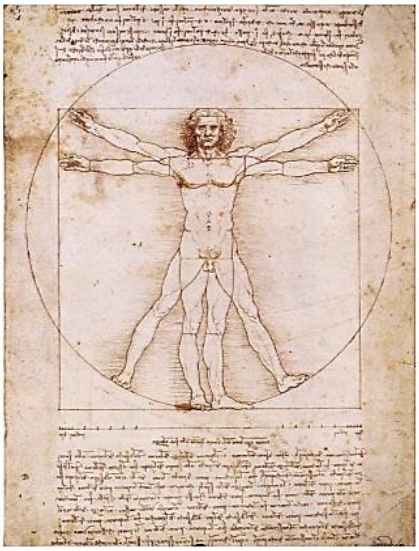
دانشمند و مسافرانی مانند الساندر وان هومبلت (۱۷۶۹-۱۸۵۹) سواحل و جزایری در آمریکای جنوبی و مرکزی یافتند که اکتشافات آنها را با جزئیات نقاشی‌ها به طرز زیبایی نشان می‌دهد. وان هومبلت تأثیر زیادی بر کارهای کاوشی چارلز داروین گذاشت، زمانی که ارنست وان هکل (۱۸۳۴-۱۹۱۹)، زیست‌شناس و هنرمند، به سندسازی نقاشی‌های گرافیکی مشاهدات داروین کمک می‌کرد. این جهان انتزاعی با یافته‌های پیشتازانه و کاوشگرانه جالب‌تر شد، آنقدر که دنیس دیدروت (۱۷۱۳-۱۷۸۴)، در دایره المعارف خود، ۱۲ صفحه را به خوبی به تصویر کشیده است. جوانب غیرملموس‌تر و ظاهرا نامرئی طبیعت نیز در پیشرفت تکنولوژی الهام‌بخش بوده است که منجر به بررسی‌های بیشتری شده است. اختراع میکروسکوپ در اواخر قرن شانزدهم در هلند و پس از آن میکروسکوپ ترکیبی گالیلئو گالیله (۱۵۶۴-۱۶۴۲) در سال ۱۶۲۵ به دانشمندان این امکان را داد تا به مطالعه و مشاهده دقیق و نزدیک و یا فواصل دورتر با استفاده از این تکنولوژی بپردازند (محمودی‌نژاد: ب، ۱۳۹۹، ص ۲۳۱).

۳-۳ تاریخچه معماری بیومیمتیکس

امروزه، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی، می توانیم ساختار کامل یک سلول را به صورت مجزا مشاهده کنیم و با اسپکتروسکوپی رزونانس مغناطیسی هسته‌ای (NMR)، ساختار پروتئینی آن را مشاهده کنیم. رابرت هوک (۱۶۳۵-۱۷۰۳) اولین تصویر مکیروسکوپی که جهان را متحیر کرد، از حالت غیر قابل مشاهده به حالت قابل مشاهده با چشم غیر مسلح از طبیعت جهان در نظر گرفت (گروبر، ۱۳۹۹، ص ۵۶).

تصویر ۲. گونه‌های خفاش. ارنست وان هکل، چیروپترا، ماخذ: گروبر، ۱۳۹۹، ص ۶۷

این طبیعت‌شناسان و متفکران جدید همگی از طریق تحلیل و تحقیقات علمی نشان دادند که ایجاد تفاسیر گرافیکی از جهان طبیعی ممکن است. تنها لئوناردو داوینچی بود که برخلاف معاصرانش، بررسی‌هایش به ایده‌های طرح و مفاهیم تبدیل شد. چندین نقاشی معروف لئوناردو داوینچی نشان-دهنده تغییر از پرس و جوها به جهان طراحی و خلق بشر است. در حقیقت، لئوناردو با توجه به نقاشی‌هایش از پرواز پرنده که منجر به اختراع اولین ماشین پرواز شده، به عنوان اولین طراح بیومیمتیک در نظر گرفته می‌شود. مشارکت حیاتی و مهم دیگر داوینچی، پیچیدگی متون داوینچی است که از آن روابط هندسی بدن انسان برای اشکال هندسی مربع و دایره ایجاد شد. این راه پیشرفته «مشاهده» جهان را به سمتی برد که آن را «جوانب مرتبط» می‌نامند. نقاشی های لئوناردو ارتباط اساسی بین مشاهدات ابتدایی در نقاشی‌ها نشان می‌دهد که همه چیزها در طبیعت به یکدیگر مرتبط هستند و این قواعد روشن و مرتبط از طبیعت می تواند از طریق هندسه عملی شود. به این ترتیب، خلاقیت نقش مهمی در متعادل سازی دلایل علمی نقشی و اصطلاحات نقاشی و طراحی فراهم آورد.



تصویر ۳. لئوناردو داوینچی، مرد ویتروویوسی، جوهر و خودکار روی کاغذ، ۱۴۸۷ ماخذ: گروبر، ۱۳۹۹، ص ۶۷

همزمان با اکتشافات دانشمند بزرگ، هنر در زمان رنسانس بود. مخصوصاً، نقاشانی که سعی کردند با مشاهدات طبیعت-گرایان تصورات خود را ترسیم نمایند. جهان هنر شگفتی-های بزرگی با جهان طبیعی داشته است. مشتریان این هنر که غالبا از مناظر روستایی دور شده‌اند، از هنرمندانشان می-خواهند تا آن مناظر ایده‌آل از خانه‌هایشان را به تصویر بکشند. اگرچه برخی نگاه های واقع‌گرایانه به مناظر طبیعی داشته اند، دیگران سطح آزادتری از تفسیر و خلاقیت را انتخاب کرده‌اند. هنر تصمیم داشت که بین ثبت واقعیت‌های حاضر و تخیلات و تصویرسازی از دیگر فضاها و جهان‌ها قرار گیرد. نابغه خلاق چنین اختراعی می تواند در کارهای استثنایی گوسپ آرکیمبولدو (۱۵۲۷-۱۵۹۳) یافت شود.

تصویر ۴. گوسپه آرکیمبولدو، آب، روغن، ۱۵۶۳-؛ ماخذ: گروبر، ۱۳۹۹، ص ۶۷

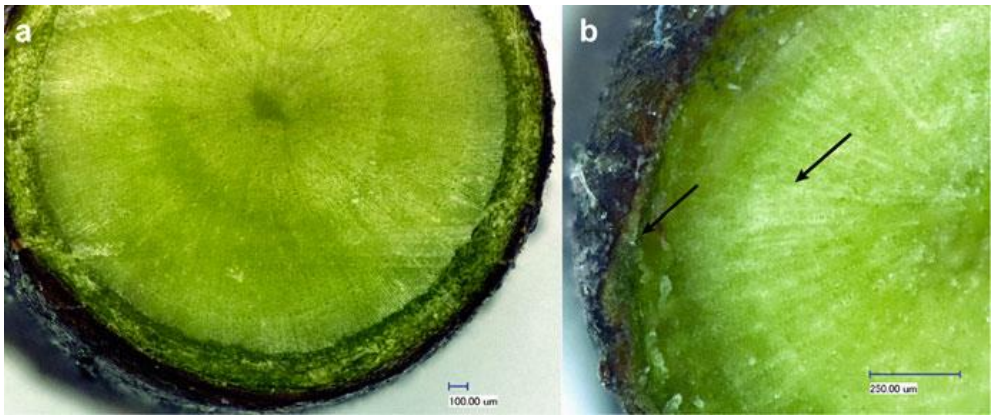
نقاشی‌های عالی او که به جمعی از جانوران و گونه‌های گیاهی شبیه بود نمونه‌ای از الهام علم از طبیعت بود که در قالب هنر تجلی یافته بود و چگونه این تصویرسازی هنرمندانه می‌تواند این عناصر را به طریقی شگفت انگیز و خلاقانه در کنار هم قرار دهد.

۳-۳ ساختار منفذی گیاهان

معمولا در ساقه برش‌خورده گیاهان منافذ و روزنه هایی با چشم غیرمسلح هم قابل مشاهده هستند. این منافذ متعلق به بافت (آوند) چوبی، بافت هدایت‌کننده آب هستند که از از سلول‌های مرده یا سلول‌های زنجیره‌ای تنظیم شده به موازات یکدیگر تشکیل شده است و همراه باهم قسمتی از پارانشیم بافت چوبی را به‌وجود می‌آورند. قطر سلول‌های چوبی معمولاً بین ۲۰ تا ۲۰۰ متر است. قسمت اعظم چوب متشکل از بافت‌های چوبی است و خواص فوق‌العاده مکانیکی خود را از دیواره‌های سلولی لیگنین گرفته است. بافت‌های دیگر که کمتر به چشم می‌آیند، بافت‌هایی هستند که ساقه گیاه را میسازند و عموماً از سلول‌هایی کوچکتر از بافت‌های چوبی تشکیل شده‌اند. حتی در نگاه اول هم‌ساقه ای نمایانگر ترتیب بافت‌های متنوع است. اگرچه حتی با چینه‌شناسی ساقه گیاهان هم ساختار سه‌بعدی بافت‌های مختلف مشخص نمیشوند. لوله‌های بافت‌های چوبی عموماً بسیار بلند هستند و دیواره‌های سلول‌های چوبی هم متخلخل هستند اما آن‌ها دارای منافذی باریک‌تر و در محدوده نانومتری دیده می‌شوند. به این ترتیب مواد متخلخل کاملا ناهمسان ساخته میشوند.

۳-۴ مدل‌سازی مبتنی بر TPM

برای دستیابی به این هدف، مراحل و ملاحظات اساسی ضروری است. در اینجا استراتژی‌های اساسی و ویژگی های ساختاری گیاهان مقاوم در برابر یخ ارائه می‌شوند. علاوه بر این، یک ابزار مدل‌سازی مبتنی بر TPM معرفی شده است که ما را در توصیف مواد چند وجهی و چند فازی یاری می‌کند.



تصویر ۵. بافت‌های گیاهی منجمد شده؛ ماخذ: Lenné T, Bryant G, Hocart CH, Huang 2010

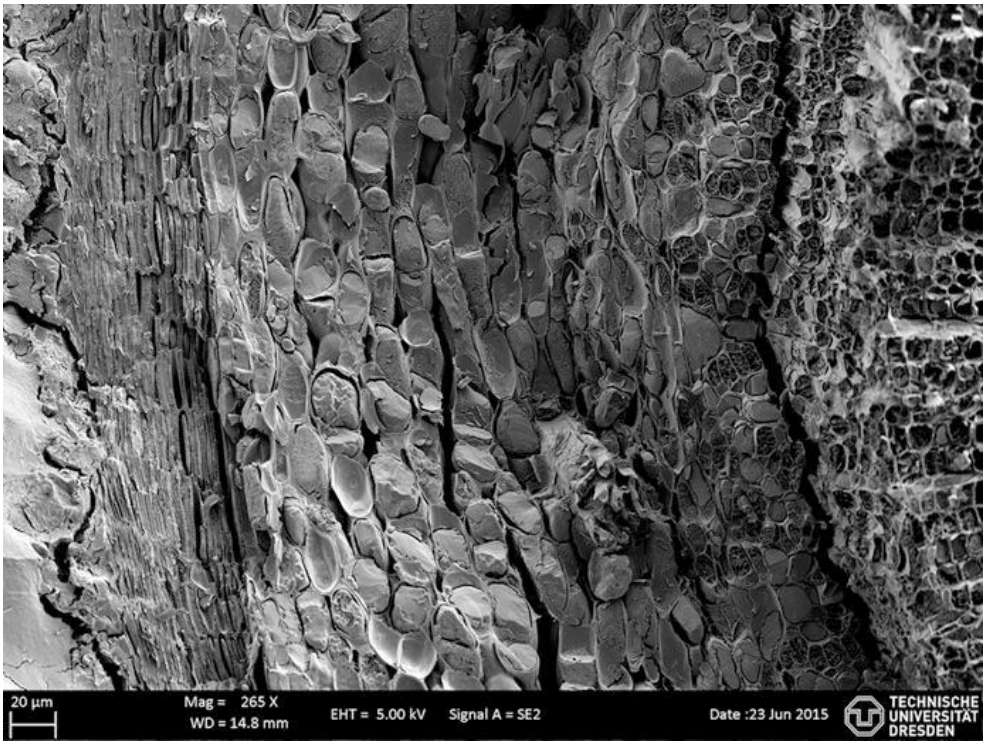
مدیریت یخ کنترل‌شده در بافت‌های گیاهی دیده شده است که با استفاده از ساختارهای خاص متخلخل که در در طی انجماد، پتانسیل آب بدنه کاهش می یابد و منجر بهایجاد جریان خالصی از آب می‌شود. بافت‌های گیاهی از آپوپلاست و سیمپلاست تشکیل شده‌اند. آپوپلاست شامل همه

قسمت‌های غیر زنده، یعنی دیواره‌های سلولی و فضاهای بین سلولی، می‌شود. سیمپلاست شامل تمام اجزای زنده، یعنی محتوای زنده سلول‌ها است. تشکیل کریستال یخ سیمپلاست یک فرایند ریسکی است که یکپارچگی ساختارهای زنده را تهدید می‌کند و باید از آن جلوگیری شود. گیاهان با استفاده از پدیده کاهش پتانسیل آب در طی انجماد می‌توانند درحالی‌که همزمان سیمپلاست را خشک می کنند، از گیاهان برای هدایت آب به سمت محل‌های انجماد آپوپلاستی خاص نیز استفاده کنند. این روند بارها تکرار میشود. اولین اثبات چشمگیر به قرن ۱۹ برمیگردد که پریلیوکس در گیاهان علفی مقاوم در برابر یخ زدگی نشان داد که یخ در فضاهای بین سلولهای چسبی جمع می شود. مثال دیگر هم سوزن کاج مقاوم در برابر یخ است. از آن‌جا که حمل و نقل گرما و آب در این روند متصل است، ساختار بافت مورد نظر اهمیت ویژه‌ای دارد. در این راستا، این جنبه های فیزیکی انجماد بافت گیاهی در ارگان‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است. البته، فرآیندهای فیزیولوژیکی به ویژه در تطبیق غشاهای سلولی ضروری است. به همین دلیل از مداخله در فرآیندهای متابولیکی باید اجتناب شود.

۳-۵ ساقه و چوب درختان هیرکانی

چوب یا بافت چوبی نمایانگر درجه قوی ناهمسان‌گردی متخلخل است که با نبود نشانه‌های طندگی در مجراها، دارای خاصیتی اضافی است. در نتیجه، انجماد در کانال‌های بافت چوبی با انجماد داخل مویرگ‌ها قابل مقایسه است. به علاوه، عموما جمع شدن یخ در بافت‌های چوبی شروع می‌شود. به همین ترتیب، ابتدا بدنه بافت چوبی یخ می‌زند. وجود مجراهای یخ زده در موارد مختلف گزارش شده است. به‌عنوان مثال، با نمونه برداری از چوب‌های زمستانی و مشاهده مقاطع با استفاده از میکروسکوپ الکترونی. درختان هیرکانی یک مثال خوب از قدرت تحمل انجماد ساقه‌های چوبی است. در شکل زیرساقه‌های یخ‌زده درختان هیرکانی به خوبی نشان داده شده است. قطعات یخ‌زده به خصوص در پوست و بافت چوبی قابل مشاهده است.

اهمیت مکانیکی فضاهای بین‌سلولی به عنوان فضاهای ممکن برای رشد کریستال‌های یخ شناخته می‌شوند چراکه آن‌ها بدون آسیب رسانی به سلول‌های زنده، امکان یخ‌زدگی را فراهم می‌کنند. این مکانیسم ها باید هر ساله قابل برگشت باشد. چوب مخروط جنگل هیرکانی به شکلی خاص در برابر یخ‌زدگی مقاوم است. ساختار آن از چوب انجنیری که تنها تراشه ها را نشان می‌دهد، متفاوت است. این‌ها تک‌سلولی‌هایی بی‌جان هستند که درازند و درون دیواره های سلولی محصور شده‌اند. در مخروط‌ها، مویرگ‌های انتقال آب به واسطه سلول‌های تک سلولی با حداکثر طول چند میلی متر و قطر حدود ۲۰ متر نشان داده شده اند. یکی دیگر از ویژگی‌های خاص تراشه‌های مخروطی، ساختار حفره‌های آن است که منافذی درون دیواره‌های تراشه‌ای هستند.



تصویر ۶. قطعات یخزده به خصوص در پوست و بافت چوبی درختان هیرکانی؛ ماخذ: آنالیز میکروسکوپی نگارندگان.

این ساختار ویژه همراه با تراشه‌های باریک به عنوان یکی از عناصر اصلی مقاومت چوب در برابر سرما محسوب می‌شود. با گرم شدن، حباب های هوا در آب به عنوان محصولات فرآیند انجماد حضور خواهند داشت. ابعاد کوچک تراشه‌ها شعاع حباب را کم می‌کند و سبب انحلال هوا در آب گرم می‌شود.

۳-۶ برگ‌ها در درختان هیرکانی

برگ‌ها و سوزن‌های همیشه سبز باید مقاوم در برابر یخزدگی باشند. مثل برگ‌های شمشاد جنگلی. برخلاف ساقه، برگ‌ها حاوی مواد چوب بسیار کمتری هستند و سلول‌های جذب شده در طول پروسه انجماد محافظت می شوند. بنابراین در طول فرایند پیری طبیعی خود، خود را به یک تغییر فیزیکی متفاوتی می‌رسانند. این سازگاری فیزیکی توسط «هکر و نونر» (۲۰۰۷) و «هاتاکیاما و کاتو» (۱۹۶۵) مورد بررسی قرار گرفت. باتوجه به مشاهدات بیرونی می‌توان گفت که این برگ ها در طول این فرایند پیری ضخیم‌تر و غیرقابل انعطاف‌ترمی شوند.

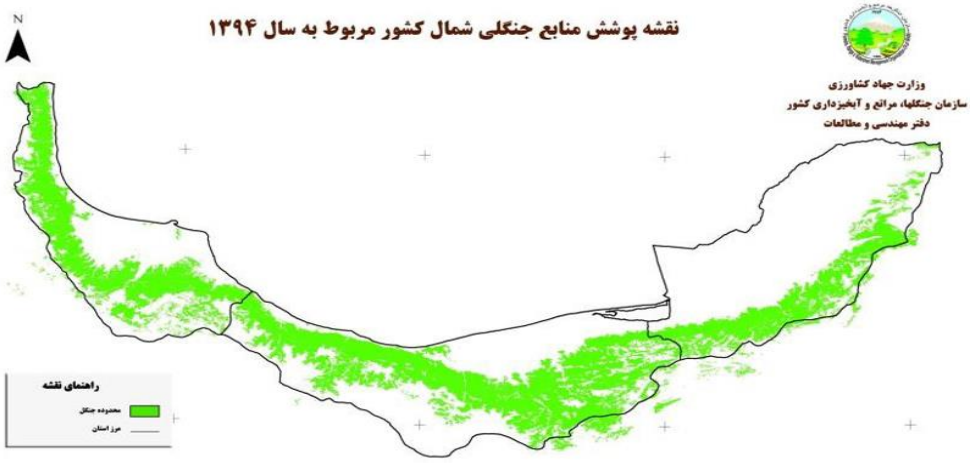
۴- یافته‌های تحقیق

۴-۱ محدوده مورد مطالعه و جنگل‌های هیرکانی

جنگل‌های هیرکانی ایران و آذربایجان از مهم‌ترین مناطق زیست‌کره در جهان به شمار می‌روند. این جنگل‌ها نقشی موثر در شکل‌گیری چرخه زندگی دارند؛ تا جایی که در فهرست میراث طبیعی

یونسکو، ثبت شده‌اند. گونه‌هایی منحصربه‌فرد از گیاهان و جانوران در طول زمان، در جنگل‌های هیرکانی رشد کرده‌اند که متاسفانه امروزه بعضی از آن‌ها منقرض شده‌اند. موقعیت خاص جنگل‌های هیرکانی در حاشیه دریای خزر و کوهستان‌های اطراف آن، شرایط اقلیمی خاصی برای گونه‌های گیاهی فراهم کرده است که در جنگل‌های سایر نقاط جهان دیده نمی‌شود و این مسئله سبب پیدایش گونه‌های نادر گیاهی و حیوانی شده است. بیشتر مساحت جنگل های هیرکانی در کشور ایران قرار دارد؛ اما قرار گرفتن بخش کوچکی از این جنگل‌ها در خاک کشور آذربایجان، بهره‌برداری از منابع طبیعی آن‌ها را در اختیار دو کشور قرار می‌دهد. صرف‌نظر از تعلق این جنگل‌ها به کشور مشخص، باید در نظر داشت که جنگل های هیرکانی بخشی از ثروت بزرگ جهانی هستند و میراثی برای تمام جهانیان محسوب می‌شوند و نگهداری و محافظت از آن‌هاا مسئولیتی بزرگ برای کشورهای ایران و آذربایجان است. به‌طورکلی جنگل های هیرکانی تنها یک درصد از مساحت ایران را تشکیل می‌دهند و تنها ۱۰ درصد از این جنگل‌ها حفاظت‌شده هستند. ۱۲ لکه جغرافیایی از این جنگل‌ها برای ثبت مجزا در فهرست میراث جهانی یونسکو پیشنهاد شده‌اند که نیمی از آن‌ها نیز در استان مازندران قرار دارند و باقی آن‌ها در استان‌های گیلان، گلستان و سمنان قرار گرفته‌اند. سایت‌های بولا در ساری، الیمستان آمل، و از چمستان، کجور نوشهر، خشکه داران تنکابن، چهار باغ چالوس، لیسار تالش، پارک ملی گلستان، پلنگ دره و جنگل ابر شاهرود، از معروف‌ترین بخش‌های جنگل های هیرکانی در شمال ایران هستند. گستردگی جنگل‌های هیرکانی در نقاط با ارتفاع مختلف و همین طور فاصله کم این جنگل‌ها تا دریا، تاثیر چشمگیری در تنوع پوشش گیاهی و جانوری در این مناطق گذاشته‌اند.

نقشه ۱. نقشه جنگل‌های هیرکانی؛ ماخذ: سازمان آبخیزداری کشور، ۱۴۰۱



نقشه ۲. نقشه جنگل‌های هیرکانی؛ ماخذ: سازمان آبخیزداری کشور، ۱۴۰۱

تصویر ۷. پوشش گیاهی جنگل‌های هیرکانی ماخذ: مطالعات میدانی، ۱۴۰۱

قدمت جنگل‌های هیرکانی به میلیون‌ها سال می‌رسد و باقی ماندن تنوع گیاهی در آن‌ها، نشان‌دهنده موقعیت خاص آب و هوایی در این جنگل‌ها است. آب و هوا و اقلیم خاص حاشیه دریای خزر، شرایط را برای رشد گیاهان خاص جنگل های هیرکانی فراهم می‌کند. گوناگونی گیاهان و درختان این جنگل‌ها، توجه بسیاری از زمین‌شناسان جهان را به خود جلب می‌کند. در جنگل های هیرکانی بیش از ۸۰ نوع درخت، ۵۰ گونه از درختچه‌ها و انواع مختلفی از نمونه‌های بومی دیده می‌شوند که بسیاری از آن‌ها در دیگر نقاط جهان رشد نمی‌کنند. در واقع بسیاری از گیاهان این منطقه اگر در سایر نقاط جهان روییده بودند، تا به امروز منقرض می‌شدند. اگرچه در طول سال‌های طولانی، بخش قابل‌توجهی از این منطقه از بین رفته است، هم‌چنان نمونه‌های برجسته‌ای از گیاهان در این جنگل‌ها دیده می‌شوند. فسیل گونه‌های از بین رفته در جنگل های هیرکانی، سال‌ها مورد تحقیق و پژوهش زمین‌شناسان و زیست شناسان بوده و هست. گیاهان و درختان این جنگل‌ها علاوه بر نقش موثری که در تامین اکسیژن جهان دارند، تاثیر قابل‌توجهی نیز بر ذخایر آب می‌گذارند. طبق تحقیق‌های انجام شده، در هر ۱۰ هزار مترمربع خاک این جنگل‌ها، بین ۵۰۰ تا دو هزار متر مربع، آب ذخیره

می‌شود. نفوذپذیری خاک جنگل‌های هیرکانی بسیار بالا است و همین امر منجر به فراوانی ذخایر آب در این منطقه می‌شود.

تصویر ۸. پوشش گیاهی جنگل‌های هیرکانی گرگان، ماخذ: مطالعات میدانی، ۱۴۰۱

با توجه به موارد مطرح شده می‌توان به نقش موثر گیاهان و درختان جنگل های هیرکانی در اکوسیستم محیط اطراف آن و جهان، پی برد.

تصویر ۹. پوشش گیاهی جنگل‌های هیرکانی ماخذ: مطالعات میدانی، ۱۴۰۱

در میان گونه‌های مختلف درختان و گیاهان در جنگل های هیرکانی می‌توان به درختان پهن برگ و سوزنی اشاره کرد. درختان زیادی در این جنگل‌ها همیشه سبز هستند یا دوره خزان کوتاهی دارند. بسته به ارتفاع بخش‌های مختلف جنگل، نوع گیاهان نیز با یکدیگر متفاوت است. نوع درختان در نقاط با ارتفاع کمتر، با گیاهان و درختان مکان‌های مرتفع، تفاوت زیادی دارد. نواحی نزدیک‌تر به دریا، مرطوب‌تر هستند و بسیاری از گیاهان این مناطق به‌دلیل رطوبت و اعتدال هوا، سال‌ها باقی مانده‌اند. در حالت کلی می‌توان آب و هوای داخل جنگل های هیرکانی را به سه دسته تقسیم کرد. آب و هوای خشک تابستانی، آب و هوای مرطوب پاییزی و اقلیم معتدل زمستانی. در بخش‌های مختلف جنگل، آب و هوا با یکدیگر تفاوت دارند. این تنوع اقلیمی در این جنگل‌ها در سایر نقاط جهان کمتر دیده می‌شود. از مهم‌ترین درختان این جنگل‌ها می‌توان به درختان راش، افرا، نارون، توسکا، زبان گنجشک، ممرز، بارانک، سرخدار، نمدار، انجیلی، لرگ، لیلکی، خرمندی، انجیر و انواع شمشادها اشاره کرد. رویش درختان مختلف در جنگل های هیرکانی در نواحی منحصربه‌فردی اتفاق می‌افتد .بر اساس شیب مناطق مختلف و ارتفاع جنگل، تنوع درختان و گیاهان در بخش‌های مختلف این جنگل‌ها متفاوت است. به‌طور کلی در نقاط مرتفع‌تر جنگل های هیرکانی می‌توان گونه‌هایی از درختان لور، سرو سابینا، کامونیس و اوری را مشاهده کرد. دامنه‌ها نیز که ارتفاع کمتری به نسبت بالای کوه‌ها دارند، محل رویش درختانی مانند ممرزستان و راش هستند. درختان راش برای رویش نیاز به موقعیت جغرافیایی خاص دارند و به همین دلیل پوشش گسترده این درختان در جنگل های هیرکانی را از برجسته‌ترین ویژگی‌های جنگل های هیرکانی می‌دانند .درختان انجیلی و بلوط ممرزستان، در دامنه‌های میانی با ارتفاع کمتر نیز می‌رویند و انواع درختان انجیلی، توسکا، بلوط و درختچه‌های کوتاه و شمشاد نیز، در مناطق پست جلگه‌ای، رشد می‌کنند. درختچه‌ها و بوته‌های زغال اخته، انار، آلوچه وحشی، سیب وحشی، خاس، ازگیل، زالزالک و انواع تمشک نیز، در جنگل های هیرکانی دیده می‌شوند. نمونه‌هایی از گیاهان موجود در این جنگل‌ها، میان زیست شناسان با عنوان گونه‌های بی‌نظیر و کمیاب در جهان، شناخته شده‌اند، که از بین آن‌ها می‌توان به درختان سرخدار، زربین و سرونوش اشاره کرد. بخش‌های پوشیده از درختان راش، بسیار متراکم و انبوه هستند و این درخت قسمت‌های زیادی از جنگل های هیرکانی را پوشانده است.

۴-۲ مدل‌سازی بافت‌های گیاهی

خواص ساختاری و بیولوژیکی گیاهان نشان می‌دهد که صرفاً توصیف مکانیک جامدات یا مکانیک سیالات کافی نیست. در عوض یک رویکرد مدل سازی نظری ترکیبی از جامدات و سیالات است که اهمیت دارد. اگرچه این رویکردها تنها برای مطالعه مناسب است و از نظر عددی قابل محاسبه نیست. بنابراین، ما به جای آن از یک مدل مکانیکی مبتنی بر TPM استفاده کردیم. TPM، تئوری مخلوط‌ها (میکسچر) را با مفهوم کسر حجمی گسترش می‌دهد که نمایانگر مقدار اجزای سازنده با

کسر حجم است. به‌طور خاص، اجزای تشکیل‌دهنده در محدوده میکرو در ابتدا روی یک حجم اولی REV پخش میشوند. که در نتیجه آن یک مدل همسان با اجزای تشکیل‌دهنده اضافی و تعاملی ایجاد می‌شود. به این ترتیب امکان استفاده از نظریه‌های مکمل مکانیکی را در اجزای تشکیل‌دهنده فردی فراهم می‌سازد. TPM یک چارچوب مناسب برای موادی فراهم می کند که متشکل از یک اسکلت جامد متخلخل با فضای خالی باشد. برای توصیف جامع TPM و زمینه‌های کاربرد آن، می‌توانید به مطالعه آثار الزر (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹)، دی‌بوار (۲۰۰۵) و بلام (۲۰۱۱) بپردازید. در TPM، معنای اعداد و نوع اجزای تشکیل‌دهنده ای که پیچیدگی مساله را مشخص میکنند، بسیار اهمیت دارد. در بحث بافت‌های گیاهی جنگل هیرکانی، موارد ذیر را در نظر می‌گیرد: سلول های بافت به عنوان اجزای ساختاری و هدایت کننده و دو جریا منفذ، یعنی گاز و مایع هستند که مایع با یک انتقال فاز میتواند به یخ تبدیل شود.

$$\varphi = \varphi^S \cup \varphi^G \cup \varphi^L \cup \varphi^I,$$

این فرمول منجر به مدلی می‌شود که در آن مولفه اول مدل جمع کل اجزای مربوطه است. تعریف کسر حجمی $N^\alpha = dv^\alpha / dv$ مربوط به حجم عنصر dv است و اجزای ϱ^α نسبت به حجم عنصری dv از مجموع کل است. علاوه براین شرایط اشباع در هر زمان فراهم است چراکه در دامنه مورد نظر فضای خالی وجود ندارد. برای سیستم بیولوژیک بافت گیاهی جنگل هیرکانی، TPM از معادلات تعادل مکانیکی پیوندی استفاده می کند. این مباحث نه تنها برای جمع کل بلکه برای هر مولفه به صورت انفرادی هم صدق می‌کند. همه این‌ها برای اجزای تشکیل‌دهنده خاصی هستند که در پایین آمده است (Coleman BD, Noll W (1963):

$$\sum_\alpha n^\alpha = n^S + n^G + n^L + n^I = 1$$

که در آن α (۰) نمایانگر مشتق مادی است که آن را با توجه به حرکت جزء ϱ^α نشان می‌دهد. علاوه بر این $\varrho^\alpha = n^\alpha \varrho^\alpha$ نمایانگر تراکم جزیی است. با استفاده از این مقدار، انتقال فاز از آب به یخ و بالعکس می‌تواند توضیح داده شود. بردارهای «اکس پریم آلفا» و «اکس دوپریم آلفا» به ترتیب نشاندهنده سرعت و شتاب اجزا هستند. فشاری جزیی توسط تی آلفا پارد شده است و بی آلفا بردار فشار بدنه است. همچنین لازم به ذکر است که ال آلفا شیب سرعت فضایی را توصیف میکند. مقادیر ε^α، r^α و q^α انرژی داخلی، تابش و حرارت را نشان می‌دهند. مقادیر باقی مانده، تولید مستقیم را به ترتیب و از لحاظ شتاب، لحظه شتاب و انرژی داخلی را نشان می دهد. با توجه به وجود محدودیت-ها، این مقادیر باقی مانده باید از جمع کل حذف شوند:

$$\sum_{\alpha=1}^{n} \widehat{\rho}^{\alpha} = 0$$
$$\sum_{\alpha=1}^{n} \left(\widehat{\mathbf{p}}^{\alpha} + \widehat{\rho}^{\alpha}\mathbf{x}'_{\alpha}\right) = \mathbf{0}$$
$$\sum_{\alpha=1}^{n} \widehat{\mathbf{m}}^{\alpha} = \mathbf{0}$$
$$\sum_{\alpha=1}^{n} \left[\widehat{\varepsilon}^{\alpha} + \widehat{\mathbf{p}}^{\alpha} \cdot \mathbf{x}'_{\alpha} + \widehat{\rho}^{\alpha}\left(\varepsilon^{\alpha} + \frac{1}{2}\mathbf{x}'_{\alpha} \cdot \mathbf{x}'_{\alpha}\right)\right] = 0$$

در اینجا، رو به توان آلفا اکس پریم الفا، تولید مولد را با توجه به تولید تراکم و انرژی تولید شده را باتوجه به تولید انرژی نسبت به تولید تراکم نشان می‌دهد. مجموعه‌ای از قوانین برای هر ماده‌ای که در مکانیک محیط های پیوسته مواد چند جزیی مورد استفاده قرار می‌گیرد، وجود دارد. به‌منظور پیشنهاد قوانین منطقی، باید توجه داشت که این قوانین مطابق قانون دوم ترمودینامیک باشند. این قانون محدودیت‌هایی را برای جهت فرایندهای حرارتی مکانیکی ایجاد می کند. خوانندگان علاقه مند به این موضوع می‌توانند برای مطالعه کلی به مطالب کلمن و نول رجوع کنند و برای یک مطالعه دقیق‌تر، از مبحث‌های فوق کمک گیرند (Bluhm J, Ricken T, BloßfeldM(2011).

۳-۴ شبیه‌سازی عددی

با مدل‌سازی مکانیک محیط‌های پیوسته مواد متخلخل، استراتژی راه حل برای سیستم به دست آمده از معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی تلفیقی حاصل از فرمول بندی معادلات حاکم برای متغیرهای اصلی انتخاب شده است. در بحث بافت‌های گیاهی، این به عنوان جانشین سازی اجزای جامد، فشار مایع و دمای کل محسوب می‌شود. معادلات اضافی که عموماً می‌توانند از معادلات تعادلی بدست آیند، مساله مکانیک محیط‌های پیوسته را حل می‌کنند. برای رسیدن به چیزی که بتواند مساله‌ها را عددی حل کند، می‌توان با استفاده از روش المان محدود (FEM) و با انتقال فرمول های قوی معادلات به فرمول‌های ضعیف، استفاده کرد. همچنین یک راه حل یکپارچه می‌تواند استفاده از مخلوط المان‌های مختلف باشد.

۴-۴ حرکت آب در ساقه

اولین مطالعه در جنگل هیرکانی به منظور توصیف چگونگی حرکت آب در ساقه انجام شد. ساختار چنین ساقه ای بسیار بینظیر است. به طور خاص نفوذپذیری در جهت محوری بسیار بیشتر از نفوذپذیری عرضی است. پرفیوژن را می‌توان با توجه به سرعت نفوذ مایع و با استفاده از مواد متخلل مشخص کرد. برای مدل فعلی، معادله دارسی با توجه به مسایل ترمودینامیکی بدست می‌آید:

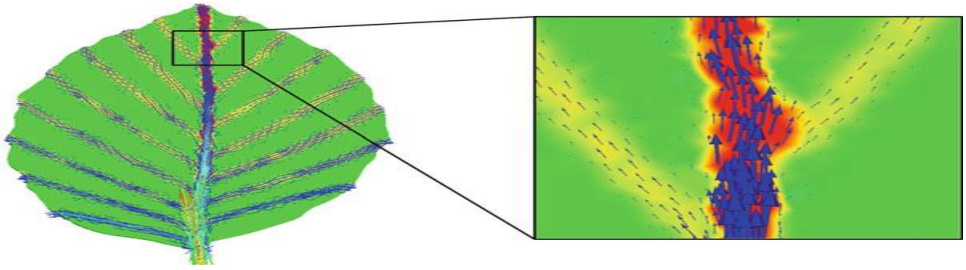
$$\mathbf{w}_F = -\frac{\mathbf{K}^{SF}}{n^F \mu^{FR}} \left(\operatorname{grad} p^{FR} - \rho^{FR}\mathbf{g}\right).$$

در این‌جا، نفوذپذیری ذاتی KSF درختان جنگل هیرکانی یک تانسور مرتبه دومی است که به طور کلی پرفیوژن انیزوتروپیک را توصیف میکند. همانطور که در مدل فعلی هم نشان داده شده است، این تانسور می‌تواند در جهات دلخواه حرکت کند. نفوذپذیری محوری در مرکز ساقه بالاتر از پوست

است. نمایش سرعت نفوذ نمایانگر نیروی محرک قابل توجهی است که توسط فشار گرادیان ایجاد می‌شود.

۴-۵ شبیه‌سازی تامین آب در یک برگ

با استفاده از یک نفوذپذیری متفاوت، میتوان انتقال آب در یک برگ درخت جنگل هیرکانی را شبیه‌سازی کرد که طرح این شبیه‌سازی در این مثال نشان داده شده است. نفوذپذیری در وریدهای یک برگ مشخصا بالاتر از بقیه قسمت‌های برگ است. تخصیص واقعی قسمت هایی با نفوذپذیری بالا نشان داده شده است که در آن منحنی اطراف نشان‌دهنده شکل یک برگ و خطوط داخلی سیاه است که رگه‌هایی با نفوذ پذیری بالا را نشان می‌دهد.



تصویر ۱۰. استفاده از شرایط مرزی در برگ، مثلا استفاده از فشار گرادیان، و جریان حاصل از نظر سرعت نفوذ را نشان می‌دهد؛ ماخذ: یافته‌های تحقیق.

هماهنگی سرعت جابه‌جایی نشان‌دهنده میزان پرفیوژن بالا در ورید اصلی در مرکز برگ، پرفیوژن متوسط در وریدهای دیگر و میزان ضعیف آن در دیگر قسمت‌های برگ است. این خاصیت همچنین با استفاده از آزمایش‌های مختلف با استفاده از فشار گرادیان که عمدتاً با تبخیر مایع روی برگ ایجاد می‌شود، نشان داده شده شده است.

۵- نتیجه‌گیری و جمعبندی

در مقاله حاضر هدف، معرفی مسئله انتقال مکانیزم‌ها و خواص ساختاری بافت‌های مقاوم به سرما به ساختمان‌های مهندسی و معماری خاصه در تطبیق با درختان بومی جنگل هیرکانی است. بنابراین فرآیندهای بیولوژیکی و خواص ساختاری بافت‌های مقاوم به سرما هم که به ما در توصیف مواد چند جزیی و چند فازی کمک می‌کند، معرفی شده‌اند. مثال‌های عددی ارایه شده نشان‌دهنده امکان-پذیر بودن استفاده از این روش است. با این وجود، تعامل بین مدیریت جریان آب و فرآیند انجماد هنوز تحت بررسی است.

(*) اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند که در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی برای ایشان وجود نداشته است. (تعارض منافع به حالتی گفته می‌شود که منافع شخصی مادی یا غیرمادی نویسنده یا نویسندگان

با نتایج پژوهش در تعارض باشد و این موضوع بر روند انجام پژوهش یا اعلام صادقانهٔ نتایج تأثیر بگذارد).

۶- منابع و ماخذ

۱. گروبر، یورگ (۱۳۹۸) بیومیمیتیکس در معماری، ترجمه دکتر هادی محمودی نژاد، تهران: هله.

۲. گلاچی و محمودی نژاد (۱۴۰۰) دانشنامه معماری بیوفیلی و بیومیمکیری، تهران: انتشارات دانشگاه پارس.

۳. محمودی نژاد: الف (۱۳۹۹) بیومیمیتیک در معماری، تهران: هله.

۴. محمودی نژاد: ب (۱۳۹۹) بیومیمیتیک در معماری، تهران: هله.

5. Bluhm J, Ricken T, BloßfeldM(2011) Ice Formation in porous media. In:Markert B (ed) Advances
6. in extended & multifield theories for Continua, vol 59, LNACM. Springer, Berlin, pp 153–174
7. Bowen RM(1976) Theory of mixtures. In: Eringen AC (ed) Continuum physics, vol III. Academic, New York, pp 1–127
8. Coleman BD, Noll W (1963) Thermodynamics of elastic materials with heat conduction and viscosity. Arch Ration Mech Anal 13:167–178
9. de Boer R (2005) Trends in continuum mechanics of porous media, vol 18, Theory and applications of transport in porous media. Springer, Dordrecht
10. Ehlers W (2002) Foundations of multiphasic and porous materials. In: Ehlers W, Bluhm J (eds) Porous media – theory, experiments and numerical applications. Springer, Berlin, pp 3–86
11. Ehlers W (2009) Challenges of porous media models in geo- and biomechanical engineering including electro-chemically active polymers and gels. Int J Adv Eng Sci Appl Math 1:1–24
12. Hacker J, Neuner G (2007) Ice propagation in plants visualized at the tissue level by infrared differential thermal analysis (IDTA). Tree Physiol 27:1661–1670
13. Hatakeyama I, Kato J (1965) Studies on the water relation of Buxus leaves. Planta (Berl)
14. 65:259–268
15. Lenné T, Bryant G, Hocart CH, Huang CX, Ball MC (2010) Freeze avoidance: a dehydrating moss gathers no ice. Plant Cell Environ 33:1731–1741
16. McCully ME, Canny MJ, Huang CX (2004) The management of extracellular ice by petioles of frost-resistant herbaceous plants. Annals Bot 94:665–674
17. Prillieux E (1869) Sur la formation de glaçons a l'intérieur des plantes. Ann Sci Nat 12:125–134
18. Roden JS, Canny MJ, Huang CX, Ball MC (2009) Frost tolerance and ice formation in Pinus adiata needles: ice management by the endodermis and transfusion tissues. Funct Plant Biol
19. Utsumi Y, Sano Y, Funada R, Ohtani J, Fuhikawa S (2003) Seasonal and perennial changes in the distribution of water in the sapwood of conifers in a sub-frigid zone. Plant Physiol 131:1826–1833

چکـــــــــــــیده لاتین

Francesco Fera , Head of architecture university, university of Bologna
Marjan KozeSaz- MSC. Of architecture, Member of Bionic and Art Think Thank

Explaining the principles of heat retention in plant tissues in biomimetic architecture based on TPM-based modeling; Case study: Hyrcanian forests of Gorgan

Abstract

Throughout their evolutionary history, plants have acquired amazing resistance to different climatic conditions. Especially against very cold weather and freezing point. On the other hand, phase change from liquid to solid in standard building materials generally causes damage. Therefore, our goal and idea is to transfer some strategies and structural properties of resistant plants to building and construction materials. The case study of this research is the plants of "Iranian Hyrcanian Forest" and the TPM simulation method was used in the analysis of heat retention and thermal analysis. The findings of the research, while expressing the basic strategies and structural characteristics of plants resistant to cold in the Hyrkani forest, have shown that the customized modeling strategy since the plant tissues with a very regular arrangement of single cells and in Different sizes and shapes have been formed, they represent classified porous natural materials that can be used in architecture and building materials. These structural features are suitable for resistance against very cold weather, and these features have presented a continuous mechanical approach based on the theory of porous media, in other words, it helps to reproduce building materials made of multi-faceted and multi-phase materials. The preliminary simulations also show the influence of structural features in water transport in plant tissues and certainly in functional light materials such as Heplex bitons.

Key words: *plant tissue, principle of heat transport, modeling based on TPM, Hyrcanian forest.*