طراحی و برنامه ریزی در معماری و شهرسازی
سال اول، شمارهٔ اول، پائیز ۱۴۰۲، صص ۷۷-۵۶
ISSN: ۲۷۱۷-۴۳۸۷
DOI: 10.30495/dpau.2023.706776

کاربست دانش زیست الگو جهت ارتقاء بازده پوسته‌های ساختمانی با الهام از مورفولوژی و سازوکار جذب رطوبت کاکتوس (مورد مطالعه یک ساختمان بلند مرتبه اداری در شهر تهران)

تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۲/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

علیرضا کریم پور [۱] (نویسنده مسئول)
الهه کرمی[۱]، آرزو ملک[۲]

چکیده

یکی از مؤلفه‌های طراحی معماری که میزان مصرف انرژی و شرایط آسایش محیطی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، پوسته‌های ساختمانی است. از جمله راهکارهای امروزین در راستای ارتقا بازده پوسته‌های ساختمانی، برقراری ارتباط ساختاری میان معماری، محیطزیست و زیست-شناسی است. تمرکز این پژوهش بر روی ساختار و ویژگی‌های گیاه کاکتوس در جذب آب است و هدف آن، نوآوری در طراحی الگویی با قابلیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ارتقا کیفیت روشنایی و میزان رضایتمندی کاربران از شرایط نوری فضا از نظر مقدار نور روز و خیرگی، با به کارگیری زیست‌الگو در طراحی پوسته ساختمان می‌باشد. پژوهش حاضر در دو گام صورت گرفته است؛ در گام اول گردآوری اطلاعات در رابطه با گیاه کاکتوس، از طریق مطالعه منابع اسنادی ـ پژوهشی صورت گرفته و با روش توصیفی ـ تحلیلی به تجزیه و تحلیل داده‌ها پرداخته شده است. سپس با استفاده از نتایج تحلیل، مدل پوسته ساختمان طراحی و شبیه‌سازی می‌گردد. در گام دوم، یک مدل ساختمانی به عنوان مبنا جهت شبیه‌سازی در نظر گرفته شده و میزان روشنایی و خیرگی حاصل از نور روز در نمای جنوبی، با استفاده از افزونه Climate Studio، یکبار در حالت عادی و بار دیگر در حالتی که پوسته بر روی مدل ساختمانی مبنا شبیه‌سازی شده بود، محاسبه گردید. نتایج پژوهش نشان داد با بررسی ساختار و مکانیزم جذب و ذخیره آب در کاکتوس، می‌توان با الهام از این سازوکار طبیعی و معادل‌سازی تریکوم، اپیدرم و مخاط این گیاه، به طراحی مدلی برای پوسته‌های ساختمانی مبتنی بر جذب حداکثری آب باران و رطوبت در سپیده‌دم و همچنین ایجاد سایه‌اندازی بر روی نمای ساختمان، دست یافت. گرچه بر اساس شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، مدل ارایه شده، شاخص پراکندگی نور در فضا (sDA) را به میزان ۱/۴٪ کاهش می‌دهد اما در مقابل شاخص خیرگی و نارضایتی بصری و حرارتی (ASE) را ۴۸٪ تقلیل داده که میزان قابل توجهی در ارتقا آسایش کاربر در فضای داخلی می‌باشد.

کلمات کلیدی:
زیست‌الگو، پوسته ساختمان، کاکتوس، شبیه‌سازی، نور روز، خیرگی

[۱] گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب. (پست الکترونیک: alireza.karimpour@yahoo.com)
[۲] گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب.

طراحی و برنامه ریزی در معماری و شهرسازی
سال اول، شمارهٔ اول، پائیز ۱۴۰۲، صص ۷۷-۵۶
ISSN: ۲۷۱۷-۴۳۸۷
DOI: 10.30495/dpau.2023.706776

۱- مقدمه

امروزه برنامه گسترش شهرهای کم کربن در بین کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، محبوبیت بیشتری پیدا کرده و این طرح به کاهش مصرف منابع طبیعی انرژی و سازگاری با تغییرات آب و هوایی کمک می‌کند (Ali et al., 2013). با این حال، ساختمان‌ها هنوز هم یک دغدغه شاخص در زمینه مصرف انرژی می‌باشند چرا که تقریباً ۲۳٪ از انرژی جهانی و ۳۰٪ از انرژی جهانی برق را مصرف می‌کنند (Ürge-Vorsatz et al., 2015). علاوه بر این، ۶۰٪ از کل انرژی مصرفی در ساختمان‌ها مربوط به گرمایش و سرمایش فضا است (Omrany et al., 2016). در حال حاضر مصرف انرژی در ایران بطور قابل ملاحظه‌ای بالاتر از استانداردهای جهانی است و مهمترین دلیل آن وضعیت نامطلوب ساختمان‌ها از حیث مصرف انرژی می‌باشد. از آنجا که بالاترین سهم مصرف انرژی در بین بخش‌های مصرف کننده مربوط به حوزه ساختمان با حدود ۴۰٪ از کل انرژی می‌باشد، بهینه‌سازی مصرف انرژی در این بخش منطقی و ضروری به نظر می‌رسد (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). پوسته ساختمان با جلوگیری از اتلاف گرما و ایجاد سایه برای کنترل استفاده از خورشید، نقش مهمی در کنترل مصرف انرژی ساختمان‌ها و آسایش داخلی بر عهده دارد (Al-Obaidi et al., 2014). امروزه تمایل به طراحی پوسته‌های ساختمانی، با استفاده از سیستم‌های انطباق‌پذیر، پویا و چند لایه، نزد معماران و طراحان افزایش چشم‌گیری یافته است (Fiorito et al., 2016).

از زمانی که انسان نخستین غار را به عنوان مسکن خویش برگزید تا امروزه که رفته رفته به سمت زندگی در خانه‌های هوشمند می‌رود به طبیعت اطرافش به عنوان منبع بی‌پایانی از الهام نگریسته است. دانسته است الهام و الگوگیری از طبیعت امکان پاسخگویی به سوالات فنی و تکنیکی در حوزه‌های گوناگون را فراهم می‌نماید (گلابچی و خرسندنیکو، ۱۳۹۳). به عقیده آرمسترانگ[۱] آموختن از طبیعت، جواب است. در حال حاضر از تلفیق ترمینولوژی زیست الگو[۲] (بیومیمیک‌ـــری) و معماری، رویکرد کارآمدی مطرح گردیده که هدف غایی آن هماهنگی با طبیعت و کاهش آسیب بر محیط و منابع انرژی در طبیعت می باشد. این رویکرد می‌تواند در طراحی پوسته‌های ساختمانی مدنظر قرار گیرد تا در حوزه ارتقا رفتار حرارتی در فضای بیرون و سطح آسایش فضای داخل، بهترین پاسخ را ارائه دهد. زیست‌الگو امکانات بیشماری را برای الگوبرداری از طبیعت در راستای نیل به ساختمان-های پایدار فراهم می‌کند (López et al, 2017). آب بعد از هوا مهم ترین ماده مورد نیاز موجودات زنده است و متابولیسم[۳] همه موجودات زنده اعم از انسان‌ها، گیاهان و جانوران به وجود آن بستگی دارد (Kim et al., 2016). در گیاهان خاکی، معمولاً مقدار کمی از آب برای رشد و متابولیسم استفاده می‌شود و بیشتر آب باقیمانده با تعرق برگ از بین می‌رود (Waring & Running, 1978). بنابراین، گیاهانی که در مناطق خشک زندگی می‌کنند ـ از جمله کاکتوس‌ها ـ برای زنده ماندن خود مجبورند به طور موثری مصرف آب را مدیریت نمایند. آنها علاوه بر به حداقل رساندن تبخیر آب از طریق تعرق، باید آن را طی فرانید خاصی در ساختار خود جذب کرده و از دست دادن آب را به حداقل برسانند (Ju et al., 2012). از این رو پژوهش حاضر که با هدف ایجاد یک فرآیند طراحی دقیق و مبتنی بر مورفولوژی و جنبه‌های زیستی جذب رطوبت توسط کاکتوس‌ها به منظور تطبیق‌پذیری با محیط زیست برای طراحی پوسته‌های انرژی کارا انجام شده است، در آغاز به مطالعه و تعیین مدلی از این گیاه که یک پوسته سازگار بهینه شده با مکانیزم طبیعی است پرداخته، و سپس تأثیر این پوسته بر شاخص‌های sDA[۴] و ASE[۵] به عنوان دو شاخص مناسب برای پیش‌بینی رضایت کاربران از مقدار نور و آزاردهندگی خیرگی را با استفاده از شبیه‌سازی در یک مدل ساختمانی نمونه مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد.

۲- فرضیات پژوهش

۲-۱- فرضیه اصلی:

استفاده از دانش زیست الگو در طراحی پوسته‌های ساختمانی بر ارتقا کیفیت و کارایی آن تاثیرگذار است.

۲-۲- فرضیه‌های فرعی:

۱- با استفاده از ساز و کار جذب رطوبت در گیاه کاکتوس می‌توان به طراحی پوسته‌ای برای جذب حداکثری آب باران و رطوبت هوا دست یافت.

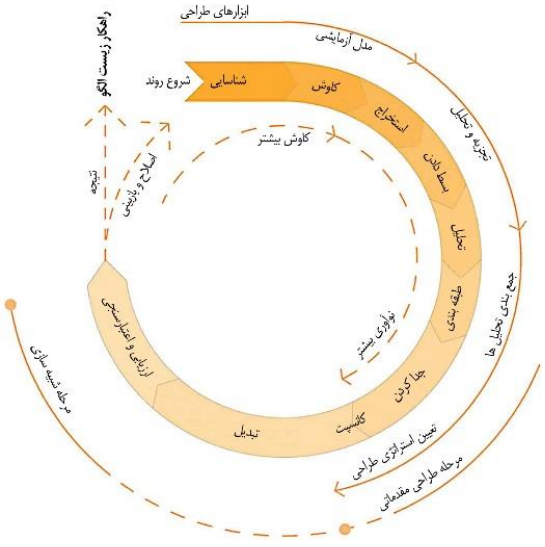
۲- با استفاده از مورفولوژی گیاه کاکتوس می‌توان به طراحی پوسته‌ای جهت حداکثر بهره‌وری از نور روز و کاهش خیرگی دست یافت.

۳- پیشینه تحقیق

۳-۱- زیست‌الگو؛ رویکردی هوشمندانه برای پیروی از طبیعت

ساختارها و فرایندهای طبیعی هزاران سال است که در حال توسعه و تکامل هستند. از این رو مطالعه مواردی که شامل میلیون‌ها سال تکامل و انتخاب طبیعت است، می‌تواند زمینه حل بسیاری از مشکلات ساختمانی را فراهم کند (Royall, 2010). تقلید از طبیعت مستلزم درک تفاوت بین سیستم‌های بیولوژیکی (زیستی) و غیرزیستی است؛ سیستم‌های بیولوژیکی میلیون‌ها سال است که در حال تحول و فرگشت هستند، در حالی که سیستم‌های غیرزیستی تنها چند در صد سال اخیر است که توسعه یافته‌اند. در واقع تکامل سیستم‌های بیولوژیکی فرایندی است مبتنی بر گزینش طبیعی[۶]، در حالی که سیستم‌های غیرزیستی بر اساس طراحی انسانی شکل و بسط یافته است (Cohen et al., 2015).

نگرش زیست الگو توسط فروچ[۷] و گالاپولوس[۸] معرفی شد. آنها با ایجاد تعادل بین طبیعت و انسان، کانسپت خاصی از شباهت اکوسیستم‌ها ارائه دادند. زیست الگو طی بیش از ۳۰ سال با الهام از حشرات، خزندگان، پستانداران و سایر موجودات زنده و ارگانیسم ها توسعه یافته است. بنیوس[۹] زیست الگو را به عنوان یک رویکرد جدید علمی که راه‌حل‌هایی پایدار و نوآورانه را با تحقیق و توسعه مدل‌های طبیعی بیولوژیکی و با مطالعه فیزیولوژی آن‌ها ارائه می‌دهد، تعریف می‌کند (تصویر ۱). به عقیده بنیوس چارچوب زیست الگو برای کاربرد آن در طراحی سامانه‌های نوین در سه سطح تقلید یعنی سطح ارگانیسم، سطح رفتاری ـ فرایندی و سطح اکوسیستم طبقه‌بندی می‌گردد (Al-Obaidi et al., 2017). در سطح اول از ویژگی‌های یک ارگانیسم، یعنی ظاهر، شکل بصری، اجزاء، متریال و خصوصیات مورفولوژیکی آن تبعیت می‌گردد. به عبارت دیگر، این به معنای کپی کردن از ساختار یک ارگانیسم است. سطح دوم، نگاهی عمیق‌تر به مدل‌های زنده و تحلیل عوامل و محدودیت‌های عملکردی، رفتاری، فرمی و ... آنها دارد. در سطح سوم، نه تنها ارگانیسم‌ها را به صورت مجرد، بلکه در بستر روابط نظام‌مند و هدفدار آنها با محیط و در قالب یک اکوسیستم شبیه‌سازی و تولید می‌گردند تا بازخورد و تاثیر متقابل میان الگوی شکل گرفته و محیط پیرامون آن مشخص گردد (Reap et al., 2005). به عقیده ووگل، تقلید از تکنولوژی‌های طبیعی بدون در نظر گرفتن اکوسیستم و سازگاری با محیط، باعث ایجاد بسیاری از طراحی‌های ناموفق شده است (Vogel, 2013).



تصویر ۱. فرایند شناخت، تحلیل و طراحی با رویکرد زیست الگو (Badarnah, L. & Kadri, 2015).

۲-۳- فرایندهای استفاده از دانش زیست الگو در معماری

گارسیا و همکاران دو رویکرد را در استفاده از دانش زیست الگو در طراحی معماری تعریف می‌کنند؛ رویکرد پایین به بالا و بالا به پایین (Garcia-Holguera et al., 2015). رویکرد پایین به بالا یا غیرمستقیم، رویکردی راه حل محور است. در این روش یکی از شاخصه‌های بیولوژیکی که قابلیت انطباق در حوزه طراحی دارد، شناسایی شده و در ادامه مسائل فنی و تکنیکی معماری که این راه‌حل قابلیت پاسخگویی به آنها را دارد، مشخص می‌شود. رویکرد دوم (بالا به پایین) یا مستقیم، به دنبال پاسخی از طبیعت برای یک مسئله کاملاً دقیق و مشخص در معماری است. در این روش ابتدا ضرورت‌های طراحی و نیازهای انسانی برای پاسخگویی به آن مسئله مشخص شده و در ادامه با بهره‌گیری هدفمند از طبیعت، تحقق یک معماری مطلوب و بهینه میسر می-گردد (تصویر ۲) (Helms et al., 2009). به عقیده وینسنت و زاری نتیجه استفاده از این رویکردها در معماری، سازگاری و تکامل، خود سازماندهی، بهینه‌سازی و بهبود حوزه زیستی با استفاده از مواد و فرایندهای سازگار با زندگی است (Vincent et al., 2006) و (Zari, 2009).

رویکرد (پایین به بالا) مبتنی بر راه حل ــ غیر مستقیم یا القا	رویکرد (بالا به پایین) مبتنی بر مسئله ــ مستقیم یا قیاسی
گام اول: شناسایی راه حل بیولوژیکی	گام اول: تعریف مسئله
گام دوم: تعریف راه حل بیولوژیکی	گام دوم: تغییر مجدد معضل
گام سوم: استخراج اصول و قواعد	گام سوم: جستجوی راه حل بیولوژیکی
گام چهارم:تغییر مجدد راه حل	گام چهارم: تعریف راه حل بیولوژیکی
گام پنجم: جستجوی مشکل	گام پنجم: استخراج اصل
گام ششم: تعریف مسئله	گام ششم: کاربرد اصلی
گام هفتم: کاربرد اصلی	

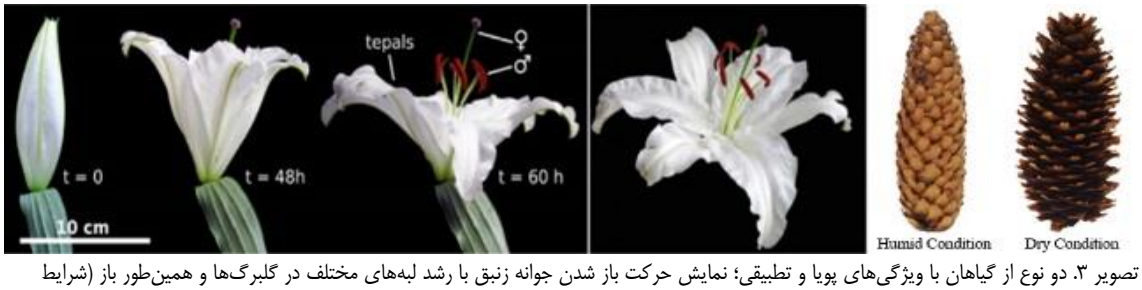
تصویر ۲. دو رویکرد اصلی در استفاده از دانش زیست الگو در معماری (Helms et al., 2009).

۳-۳- گیاهان منبع الهام

لوپز و همکاران معتقدند گیاهان یکی از اصلی‌ترین منابع الهام در طراحی معماری هستند که شناخت و بهره‌گیری هدفمند از آنها، امکان تحقق معماری مطلوب و بهینه را فراهم می‌سازند. گیاهان خشکی (آوندی و غیر آوندی) دارای ویژگی‌های خاصی در حوزه مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و رفتاری هستند و قابلیت پاسخگویی به متغیرهای محیطی مانند تاریکی، نور، رطوبت، آب باران، درجه حرارت، یخ زدگی، حرکت هوا و ... دارا می‌باشند. از این رو شناخت فرایندهای الگوگیری از گیاهان می‌تواند روش انتخاب الگوها و بهره‌گیری از اصول موجود در الگوهای انتخابی و تحلیل آنها را امکان‌پذیر نماید (López et al, 2017). همانطور که در جدول (۱) و تصویر (۳) نشان داده شده است، برخی از گیاهان دارای ویژگی‌هایی مانند تروپیسم[۱۰] هستند که به آنها اجازه می‌دهد بسته به جهت یا موقعیت محرک‌های خارجی، رشد و حرکت کنند.

جدول ۱. برخی از شاخصه‌های فوق‌العاده گیاهان جهت الهام‌بخشی در طراحی (Al-Obaidi et al., 2017).

	ویژگی‌ها	گیاهان	توضیحات
۱	حرکت الاستیکی	گل مرغ بهشت	مکانیسم کاربردی لولایی برای ساختمان‌هایی با نمای شیشه‌ای خمیده شده که سایه‌اندازی آنها سخت است.
۲	تغییرات یک جهته پیرامونی	گل لیلیوم (از خانواده زنبق)	نمونه‌ای از یک گیاه بسته با حرکت یک طرفه که گل‌های آن از سه گلبرگ بیرونی و داخلی منحنی تشکیل شده‌اند
۳	سیستم بسته شدن هوشمند	برگ های خرزه هندی، بذرهای گل نیم روز	مکانیسم‌های دریچه مانند که می‌توانند از آب باران برای تحریک و گیر انداختن طعمه و پراکنده کردن استفاده کنند.
۴	حساسیت لمسی و لرزش به داخل با واکنش در برابر تماس	گل حساس و برگ‌های گیاه قهر و آشتی	مکانیسم‌های سنجش حرکت مرتبط با سیستم بازخورد سیگنال و پاسخ، به گونه‌ای که به محض تماس با محرک، به سمت داخل برگ جمع می‌شود
۵	چین‌خوردگی و متمایل شدن با حساسیت به دما	گیاه سوبابلMaranta Leuconeura	-
۶	تغییر سطح دما به صورت منفعل	مریم گلی، بنفشه دو رنگ	با سیستم‌های پاسخگو و منفعل، دارای ساختارهای مهمی برای محافظت در برابر نور بیش از حد آفتاب
۷	راندمان مصرف آب	گیاه ساق عروس	CAM plant؛ مصرف CO_2 و آزاد کردن O_2
۸	بازتاب نور خورشید با سطوح مویی	برگ‌های مویی Gynandriris Setifolia	منعکس کردن نور خورشید از سطح خود



تصویر ۳. دو نوع از گیاهان با ویژگی‌های پویا و تطبیقی؛ نمایش حرکت باز شدن جوانه زنبق با رشد لبه‌های مختلف در گلبرگ‌ها و همین‌طور باز (شرایط خشک) و بسته شدن (شرایط مرطوب) مخروط صنوبر (Zari, 2007).

۳-٤- جذب رطوبت در گیاهان

یکی از اولین تحقیقات در این زمینه به‌وسیله هیلز[۱۱] با بررسی گیاهان جاذب رطوبت هوا با عنوان «شبنم و باران» انجام شد. در اوایل قرن بیستم، لوید[۱۲] این دیدگاه را مطرح کرد که تحقیقات آینده بر روی این موضوع خواهد بود که چگونه گیاهان رطوبت هوا را جذب می‌کنند و به‌طور دقیق‌تر، چگونه ساختار و ویژگی‌های سطح جاذب، بر تسریع جذب رطوبت اثر می‌گذارد. باران، مه، غبار صبحگاهی و شبنم، همگی از انواع منابع رطوبت هوا بوده و در موضوع جذب رطوبت هوا حائز اهمیت هستند (Malik et al., 2014). در سال ۱۹۵۷، مطالعه‌ای به‌وسیله استون[۱۳] جهت بررسی شبنم و جذب آب توسط گیاهان در شرایط مختلف آب و هوایی انجام شد. در جهت گسترش تحقیقات استون، انواع جانوران و گیاهانی را که در شرایط آب و هوایی خشک و بدون بارندگی زندگی می‌کنند و برای زنده ماندن به جذب شبنم و مه به صورت مستقیم و غیرمستقیم نیاز دارند، بررسی گردید و نهایتاً

همه جانوران و گیاهانی که به‌عنوان جاذب‌های مستقیم شبنم یا مه ذکر شده بودند، شناسایی شد. این اطلاعات در مورد گونه‌هایی که توانایی آب‌گیری از شبنم یا مه را دارند در جدول (۲) برای گیاهان نشان داده شده است (Lurie-Luke, 2014).

جدول ۲. برخی از گونه‌های گیاهی که در مناطق خشک زندگی کرده و رطوبت هوا را جذب می‌کنند (Badarnah, L. & Kadri, 2015).

گیاه	گونه	توضیحات
درختان	Sequoia Sempervirens	این درختان در جنگل قرمز ایالت کالیفرنیا مه را جذب کرده و آب حاصل از آن را استفاده می‌کنند
	Pseudotsuga Menziesii	به دنبال افزایش این گونه، آب حاصل از مه در اکوسیستم کاهش می‌یافت
گیاهان نامیبیا	Welwitschia Mirabilis	گیاه صحرای نامیبیا: این گیاه احتمالاً جاذب قطرات مه است؛ هر چند این نظر همچنان قطعی نیست
	Trianthema Hereroensis	این گیاه فقط در صحرای نامیبیا در محل دارای مه می‌روید. این گیاه قطرات آب را به وسیله برگ‌های خود به سرعت جذب می‌کند
	Stipagrostis Sabulicola	چمن تپه بوشمن نامیب؛ جاذب مه و احتمالاً شبنم. این گیاه می‌تواند با تشکیل قطرات آب روی برگ‌ها، مقادیر زیادی آب را در شرایط مه شبانه جذب کند
کاکتوس‌ها	Opuntia Microdasys	کاکتوس کویر چیهواهوا. سامانه جذب مه کارآمدی دارد
	Copiapoa Haseltomiana	این کاکتوس از شبنمی که بر سطح خارهای آن می‌نشیند، استفاده می‌کند
	Discocactus Horstii	این کاکتوس‌ها با توانایی جذب آب از هوا به وسیله خارهای خود شناخته می‌شوند
	Turbinicarpus Schmiedickeanus Klinkerianus	
	Mammillaria Theresae	
	Eulychnias	این گونه از کاکتوس‌ها در شیلی، از مه و شبنم برای زنده ماندن استفاده می‌کنند

۵-۳- پوسته‌های ساختمانی سازگار و انطباق‌پذیر

پوسته‌های ساختمانی به واسطه آنکه مرز بین فضای داخل و خارج ساختمان می‌باشند، نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی بر عهده دارند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). شرایط محیطی به طور مداوم در حال تغییر است و چالش‌های جدیدی برای پوسته-های ساختمانی ایجاد می‌کند (Hasselaar, 2009). نور خورشید، درجه حرارت، رطوبت نسبی، بارندگی، باد و ... عوامل موثر بر ساختمان هستند. این عوامل روی میزان راحتی و آسایش ساکنین تاثیرگذار است. به عقیده عمرانی و همکاران، ویژگی‌های آب و هوایی هر منطقه پارامترهای متنوع و متغیری دارد در حالیکه نماهای مرسوم و سنتی به طور گسترده‌ایی ایستا و بدون انعطاف هستند در نتیجه میزان زیادی انرژی می‌بایست صرف شود تا شرایط آسایش فضای داخل فراهم گردد (Omrany et al., 2016). انطباق فرایند تکاملی و پویایی است که موجودات زنده برای اینکه بتوانند در مکان زیست خود زندگی کنند، پیدا می‌کنند (Badarnah, 2018). به عقیده رزازی و مظفری، اکنون ما به راه‌حل‌های منطبق با ساختار محیط زیستی علاقه‌مند هستیم زیرا اغلب آنها پیچیده، چند عملکردی و با مسئولیت پذیری بالا هستند. بنابراین برخلاف پوسته‌ها و نماهای سنتی و صلب قدیمی، نماهای معمارانه انطباق‌پذیر جدید برای بهبود عملکرد ساختمان ضروری هستند (رزازی و مظفری، ۱۳۹۷). پوسته ساختمانی سازگار به تکامل مورفوژنتیک و سازگاری فیزیکی آن در رابطه با محیط اطراف آن اشاره دارد. در حالی که انطباق‌پذیری، در پی حل پیچیدگی‌های چند بعدی در طراحی و ارائه مدل با در نظر گرفتن پارامترهای متعدد است، از این رو پوسته‌های تطبیق‌پذیر، گستره و دامنه بسیار وسیعتری را نسبت به پوسته‌های پاسخگو پوشش می‌دهند (Al-Obaidi et al., 2017).

گیاهان فرصت‌های بسیاری را برای الهام گرفتن محققان در طراحی انواع پوسته‌های ساختمانی ایجاد می‌کنند. گیاهان از طریق تکامل فیزیولوژیکی با محیط اطراف خود سازگار شده و تکامل می‌یابند (Knippers & Speck, 2012). گیاهان مانند ساختمان‌ها فاقد حرکت هستند و در یک مکان خاص باقی می‌مانند. آنها خود را با محیط اطرافشان منطبق کرده و در مقابل عوامل خارجی تغییر می‌کنند. گیاهان با هوشمندی بسیار زیادی حداقل پانزده متغیر محیطی را به طور پیوسته بررسی می‌کنند (گلابچی و خرسندنیکو، ۱۳۹۳). بر اساس مطالعات کوچ و بارتلت، تکامل و سازگاری گیاه بر سه عامل اصلی متکی است: مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و رفتاری. در حوزه رفتاری، گیاهان در قالب دو مکانیسم پویا (دینامیک) و ایستا (استاتیک) و در دو

مقیاس (یعنی سطح کلان و خرد) طبقه‌بندی می‌شوند. مکانیسم دینامیکی آن دسته از رفتارهایی است که گیاهان نسبت به محرک‌های خارجی از جمله دما، نور، تاریکی، آب و ... از خود نشان می‌دهند. در مقابل، مکانیسم استاتیک بر ویژگی‌های چند منظوره گیاه در راستای سازگاری با محیط مانند آبگریزی و بازتاب نور تأکید می‌کند (Koch & Barthlott, 2009). در نتیجه طراحی پوسته‌های سازگار ساختمانی، می‌تواند مبتنی بر این دو مکانیسم توسعه یابد: اول سازگاری از طریق مکانیسم‌های پویا بر اساس حرکت، که منجر به تغییر در نما و پوسته می‌شود و دوم رفتار انطباقی از طریق استراتژی‌های استاتیک که قابل تبلور در مصالح بایولوژیکی و نانو می‌باشد (جدول ۳). گرچه این مصالح از نظر سازه‌ای مصالح متوسطی به حساب می‌آیند ولی از جنبه تطابق‌پذیری با فرم و سازه و همین‌طور معیارهای زیست محیطی بسیار عالی می‌باشند (Al-Obaidi et al., 2017). لوپز و همکاران وظایف پوسته‌های ساختمانی سازگار را به شرح زیر بیان می‌کنند:

۱ـ تنظیم دما: بازتاب، جذب یا حفظ آن

۲ـ تنظیم شدت نور: پراکندگی اشعه، بازتاب یا جذب کردن

۳ـ تنظیم رطوبت: تبادل، اتلاف یا جذب

۴ـ تنظیم دی‌اکسیدکربن و کیفیت هوا (Lopez et al., 2015).

جدول ۳. انواع مکانیسم رفتاری گیاهان و طراحی پوسته‌های ساختمانی سازگار مبتنی بر این ساز و کار (مأخذ: نویسندگان)

نوع سازگاری	الگوی گیاهی	پوسته ساختمان با الگوی طبیعی	توضیحات
رفتاری (دینامیک)			پوسته باز و بسته شونده برج‌های البحر (Al Bahr Tower) با الهام از حرکت لولایی برگ‌های شبدر ایرلندی بنفش
رفتاری (استاتیک)			پوسته شفاف خود تمیز شونده با الهام از رفتار گل نیلوفر آبی

٤- روش تحقیق

در این پژوهش با مرور انواع رویکردها و طبقه‌بندی‌های تخصصی در حوزه زیست الگو در معماری و مکانیزم‌های طبیعی در طراحی انواع پوسته‌های ساختمانی به وضوح دریافت می‌شود که تنوع زیادی از لحاظ متریال و مکانیزم برای طراحی پوسته‌ها به کار گرفته شده است. از این رو لازم است که طراحی و استفاده از آنها بر اساس گونه‌شناسی آنها صورت پذیرد. به عبارت دیگر گونه‌شناسی آنها برای مشخص نمودن کارایی و یافتن بهترین مکانیزم طبیعی مورد توجه قرار گرفته است. روش تحقیق بر اســاس هدف پژوهش از نوع کاربردی برای یافتن مکانیزم و متریال مناسب و از نظر رویکرد اتخاذ شــده و ماهیت از نوع توصیفی ـ تحلیلی و شبیه‌سازی و مدل‌سازی است. در ابتدای پژوهش بر مبنای فرضیات پژوهش و همینطور تحقیقات موجود صورت گرفته، با بررسی انواع روش‌های برداشت رطوبت در گیاهان به طور عام و گیاه کاکتوس به طور خاص، مکانیزم مناسب برای طراحی پوسته جاذب رطوبت مشخص گردید و در نهایت پروتوتایپ اولیه پوسته طراحی و مدل‌سازی گردید. در گام بعد، یک ساختمان مسکونی نمونه از میان نمونه‌های رایج در شهر تهران، انتخاب شده و سپس اقدامات مربوط سنجش به میزان روشنایی ناشی از نور روز و آسایش بصری با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی، روی آن انجام شده است. پارامترهای بررسی شده در این گام از پژوهش، شامل شاخص میزان پراکندگی نور در محیط (sDA) و شاخص آسایش بصری (ASE) می‌باشد که با استفاده از شبیه‌سازی به صورت کمی محاسبه شده‌اند.

۴-۱- ابزار جمع‌آوری و روش تحلیل داده‌ها

جمع‌آوری داده‌ها در مرحله دستیابی به مبانی نظری، از طریق استفاده از اسناد و منابع کتابخانه‌ای و پایگاه‌های معتبر مقالات علمی و ISI بوده است. به منظور دستیابی به تحقیقات مرتبط با موضوع، ابتدا با واژگان کلیدی پژوهش بدون محدودیت در رشته یا سال انتشار، جستجو به عمل آمد. همچنین پس از یافتن پژوهش‌های مرتبط، با مراجعه به منابع آنها و نیز تحقیقاتی که به آنها ارجاع داده‌اند، پژوهش بسط یافت. تجزیه و تحلیل داده‌ها با توجه به کیفی بودن پژوهش در گام اول، از روش توصیفی ـ تحلیلی صورت گرفته است. در این روش از تبیین و نتیجه‌گیری کمی خودداری شده تا عمیقاً به بررسی مساله اصلی پژوهش پرداخته شود. در ادامه داده‌های کیفی دسته‌بندی شده و در قالب گزاره‌هایی کیفی برای مدل‌سازی پروتوتایپ پوسته ساختمانی استفاده شده است.

۴-۲- معیارهای گزینش داده‌ها

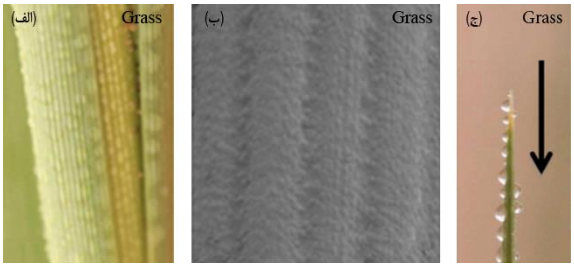
در این مقاله با توجه به محدود بودن منابع تخصصی در این حوزه، در مجموع، تعداد ۳۷ مورد از تحقیقاتی که طی ۳۰ سال اخیر[۱۴]، در نشریات معتبر علمی منتشر شده و به بررسی استفاده از رویکرد زیست‌الگو در معماری با تمرکز بر ارگانیسم‌های زنده و بخصوص گیاهان پرداختند، بررسی شده‌اند. استفاده از مقالات منتشرشده در نشریات معتبر علمی، اجتناب از دوباره‌کاری و تکرار در موضوع پژوهش، و استفاده حداکثری از مقالات ISI مهمترین معیارهای مدنظر در گزینش داده‌ها بوده است.

۵- چارچوب نظری پژوهش

۵-۱- ویژگی‌های ساختارهای سطحی جاذب آب در گیاهان

محققان ساختار سطحی را به‌عنوان یک عامل مهم در فرآیند جمع‌آوری آب در گیاهان ذکر کرده‌اند. مسلماً شناخت و تحلیل این فرایند و استفاده از آن در قالب یک الگو در معماری موجب کارایی بیشتر بناها به خصوص در زمینه مصرف انرژی خواهد بود. ساختار سطحی گیاهان به دو گونه ساختارهای شیاری و ساختارهای مخروطی شکل قابل دسته‌بندی است. در ساختارهای شیاری، چسبیدن قطرات آب به‌طور کاملاً موازی با شیارها اتفاق نمی‌افتد، بلکه عمود به شیارها بوده و به جریان هدایت‌شده آب موازی با شیارها کمک می‌کند (Ju et al., 2012). این شیارها آب را هدایت می‌کنند و از دست رفتن آب (از طریق تبخیر) را به حداقل رسانده و با دور کردن آب از کانون‌های جذب رطوبت (نظیر مکان‌های چگالش آب‌دوست) باعث می‌شوند تا فضا برای جذب آب بیش‌تر فراهم گردد. از این رو به نظر می‌رسد که عملکرد شیارها فقط گرفتن آب از هوا نیست، بلکه بیش‌تر به‌عنوان یک کانال راهنما برای هدایت قطرات آبی است که قبلاً شکل گرفته‌اند (Malik et al., 2014).

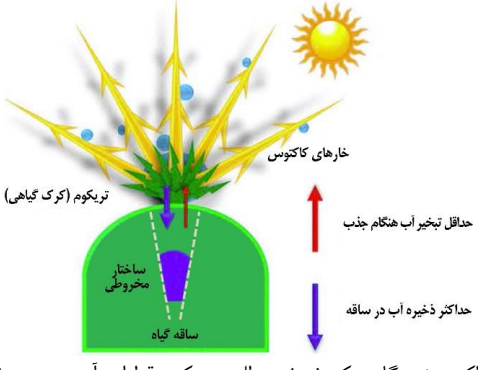
در مقابل، عملکرد ساختارهای مخروطی شکل ـ که گیاه کاکتوس نیز چنین ساختاری دارد ـ متفاوت است (تصویر ۴). شیب سطح، جریان آب در کاکتوس را، به ترتیب از یک منطقه با شیب سطحی کم‌تر به منطقه‌ای با شیب سطحی بیش‌تر هدایت می کند. آب از سطحی که آب‌گریزتر و زبرتر است، قابلیت ترشوندگی کمتری دارد و دارای انرژی سطحی کم‌تری است به سطحی با انرژی سطحی بالاتر جریان می‌یابد. این موضوع که آب می‌تواند در خلاف جاذبه و مطابق انرژی آزاد سطحی حرکت کند، مسئله‌ای اثبات شده است (Chaudhury & Whitesides, 1992). حرکت آب روی جسم مخروطی شکل از شعاع کوچک‌تر به شعاع بزرگ‌تر روی خارهای کاکتوس به‌وسیله گرادیان فشاری لاپلاس[۱۵] ایجاد شده و باعث شکل گرفتن نیروی محرکه برای هدایت جریان آب می‌شود (Ju et al., 2012). جالب است که آب بر روی خارهای کاکتوس بدون توجه به جهت قرارگیری خار از رأس خار به قاعده آن حرکت می‌کند (Zheng et al., 2010).



تصویر ۴. دو نمونه از ساختارهای سطحی جاذب آب در گیاهان؛ (الف) و (ب): گیاه بوشمن نامیب که دارای سطحی شیاردار است و مقادیر زیادی آب را در شرایط مه شبانه جذب می‌کند (ج): قطرات آب ناشی از مه، روی خار کاکتوس که ساختاری مخروطی دارد، تشکیل شده و به سمت پایین حرکت می‌کند (Al-Obaidi et al., 2017).

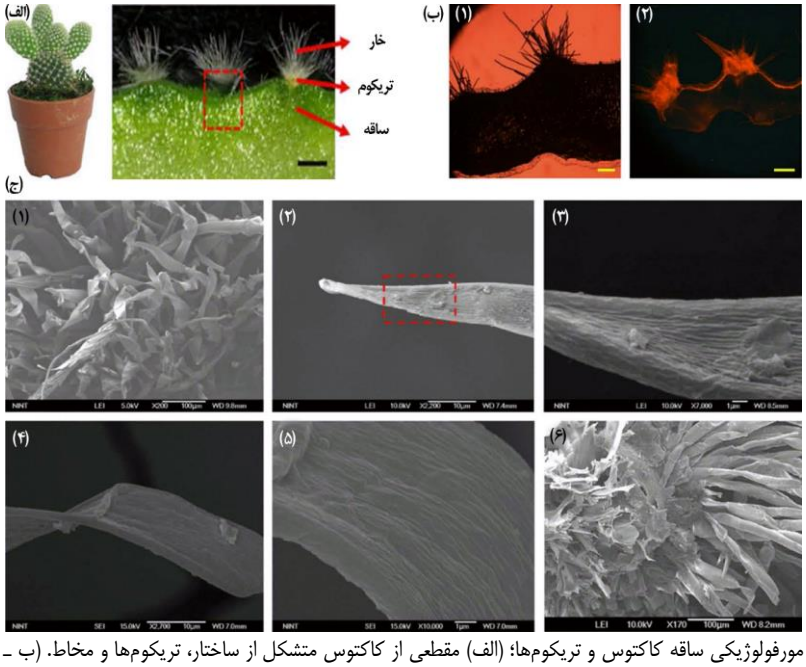
۲-۵- ساختار گیاه کاکتوس

گیاه مورد بررسی در این پژوهش کاکتوس اُپونتیا میکروداسیس[۱۶] می‌باشد که از انواع متداول و رایج کاکتوس‌ها بوده و تقریباً در تمام پهنه‌های جغرافیایی یافت می‌شود. تریکوم، اپیدرم و مخاط سه عنصر اصلی در گیاه کاکتوس می‌باشند. تریکوم (کُرک گیاهی)، عناصری روی برگ‌های گیاهان هستند و شبیه موهای کوچکی به نظر می‌رسند که از سطح برگ خارج شده است. کرک‌ها از سلول‌های زنده تشکیل شده‌اند که می‌تواند بسیار متفاوت باشد. کُرک موجب می‌شود که برگ از نور خورشید در امان بماند. آن‌ها از وزیدن باد زیاد در سطح برگ جلوگیری می‌کنند و این مسئله موجب می‌شود آب زیادی از برگ خارج نشود. اپیدرم مجموعه‌ای یک‌لایه از یاخته‌ها می‌باشند که روی برگ‌ها، گل‌ها، ریشه‌ها و شاخه‌های گیاهان را پوشش می‌دهند. این لایه، مرزی میان گیاه و محیط پیرامونی‌اش را پدید می‌آورد. عملکرد اپیدرم شامل محافظت در برابر از بین رفتن آب، تنظیم تبادل گاز، ترشح ترکیبات متابولیک به ویژه در ریشه‌ها و جذب آب و مواد مغذی معدنی است. آب جمع آوری شده از طریق تریکوم‌ها (کرک گیاهی) روی اپیدرم منتقل می‌شود و سپس در ساقه قرار می‌گیرد که همراه با مخاط است. مخاط کاکتوس خاصیت بالایی در جذب آب دارد و آب را بیش از وزن خود ذخیره می‌کند (Nobel, 2003). در بیابان تغییرات زیادی در دمای روز و شب مشاهده می‌شود. مه معمولاً هنگام طلوع آفتاب شکل می‌گیرد و خیلی زود بعد از گرم شدن هوا از بین می‌رود (Ju et al., 2012). بنابراین، کاکتوس‌ها که غالباً در مناطق گرم و خشک پرورش یافته‌اند، رطوبت مه را در سپیده دم برای زنده ماندن جذب می‌کنند. مقدار زیادی از قطرات آب جمع‌آوری شده از طریق خوشه تریکوم جذب می‌شود، و مقدار کمی از آب جذب شده از طریق مسیر در جریان حتی در شرایط دمای بالا تبخیر می‌شود (تصویر ۵). به عبارت دیگر، قطرات آب متراکم باید سریع قبل از طلوع آفتاب جذب شود و آب جذب شده باید در داخل ساقه ذخیره گردد (Kim et al., 2017).



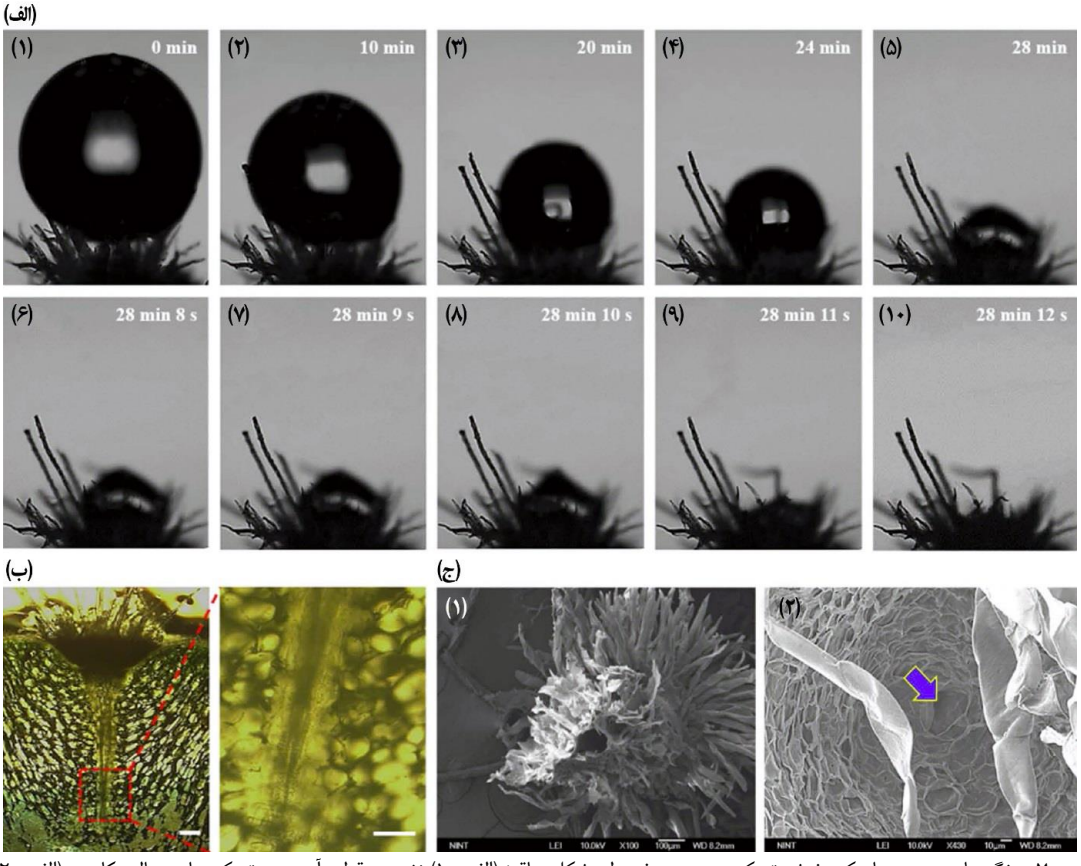
تصویر ۵. طرح شماتیک استراتژی بقا در کاکتوس؛ هنگامی که خورشید طلوع می‌کند، قطرات آب بر روی خارها متراکم شده و از طریق خوشه تریکوم (جهت رو به پایین؛ فلش آبی) جذب می‌شوند. به دلیل گرمای شدید و کم بودن آب موجود در جو، ممکن است آب جذب شده طی این مکانیسم تبخیر شود. از این رو ساقه کاکتوس باید تبخیر آب را به حداقل برساند (جهت رو به بالا ؛ فلش قرمز) (Kim et al., 2017).

ویژگی‌های مورفولوژیکی خوشه تریکوم کاکتوس با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته تصویربرداری زیستی تجزیه و تحلیل گردیده است. علاوه بر این، روند جذب سریع و استراتژی ذخیره آب کاکتوس از طریق آزمایش مورد بررسی قرار گرفته است. سطح تریکوم شامل صدها شیار در مقیاس نانو است و زبری آن بسته به قسمت آن متفاوت است. تریکوم شکل مخروطی با زاویه حداکثر ۱۷° دارد و خوشه تریکوم دارای سطح آبگریز با زاویه تماس ۹۲° است (تصویر ۶). انتقال از حالت کاسی[17] به حالت ونزل[18] زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار زیادی قطرات آب روی خوشه تریکوم ریخته شود. مشخص شده است زبری سطح نقش مهمی در توانایی جذب رطوبت سطح دارد که می‌تواند به حالت کاسی و حالت ونزل تقسیم شود (Lafuma & Quéré, 2003). در حالت کاسی، قطرات آب فقط بر روی قله‌های سطح خشن می‌نشیند و محفظه‌های هوا بین قطره آب و سطح خشن وجود دارد. از آنجا که قطرات آب تبخیر می‌شود، انتقال از حالت کاسی به حالت ونزل رخ می‌دهد. در حالت ونزل، شیارهای سطحی خیس شده و یا با آب پر می‌شوند (Manukyan et al., 2011). این ویژگی جذب آب را به حداکثر می‌رساند و تبخیر آب جذب شده از طریق مسیر جاری را تا حد امکان تقلیل می‌دهد (Kim et al., 2017).



تصویر ۶. خصوصیات مورفولوژیکی ساقه کاکتوس و تریکوم‌ها؛ (الف) مقطعی از کاکتوس متشکل از ساختار، تریکوم‌ها و مخاط. (ب ـ ۱) و (ب ـ ۲) تصاویر میکروسکوپی ساقه کاکتوس، (ج ـ ۱) تصویر ساختار و و خوشه تریکوم، (ج ـ ۲) نوک مخروطی شکل یک تریکوم با زاویه حداکثر ۱۷°، (ج ـ ۳) تصویر مگنتی منطقه‌ای که توسط مربع قرمز رنگ در (ج ـ ۲) مشخص شده است، (ج ـ ۴) قسمت پایه تریکوم، (ج ـ ۵) تصویر مگنتی پایه تریکوم که زبری آن نسبت به قسمت نوک کمتر است، (ج ـ ۶) نمایی از پایین خوشه تریکوم که تمام آنها در مرکز خوشه به هم متصل می‌شوند. (مقیاس تصویر (الف) ۲۵۰ میکرومتر و مقیاس تصویر (ب) ۲۰۰ میکرومتر می‌باشد) (Kim et al., 2017).

بر اساس تصاویر میکروسکوپی و بررسی‌های آناتومیکی، سطح ساقه کاکتوس آبگریز و مخاط آن آب دوست است، که بیشتر ساقه کاکتوس را اشغال می‌کند. قسمت نوک تریکوم در مقایسه با پایه سطح ناهمواری‌تری دارد. تمام تریکوم‌ها به سمت مرکز خوشه تریکومی متصل شده‌اند. این نتایج تأیید می‌کند که قطرات آب متراکم را می‌توان با کمک سطح آزاد انرژی و شیب نیروی مویرگی در ساقه کاکتوس جذب کرد (تصویر ۷). بنابراین، ادغام این ویژگی‌ها به جذب قطرات آب متراکم بر روی ساختار اسکلت کمک می‌کند (Kim et al., 2017). در مجموع می‌توان گفت که ترکیبی از تریکوم‌ها و مخاط‌های کاکتوس را می‌توان به عنوان لایه‌های دوگانه آبگریز/ آب دوست در نظر گرفت. بنابراین، جذب سریع هنگامی اتفاق می‌افتد که قطرات آب روی سطح آبگریز در ارتباط با سطح آب دوست، درست در زیر لایه آبگریز قرار بگیرد.



تصویر ۷. ویژگی‌های هیدرودینامیکی خوشه تریکوم و مسیر مخروطی شکل ساقه؛ (الف ـ ۱) نشستن قطره آب روی تریکوم‌ها در حالت کاسی، (الف ـ ۲ تا الف ـ ۷) با تبخیر مداوم آب و از بین رفتن محفظه‌های هوا بین قطره و تریکوم، آب به سمت پایین حرکت می‌کند (قطره از حالت کاسی به حالت ونزل تبدیل می‌شود)، (الف ـ ۸ تا الف ـ ۱۰) سرانجام، قطره آب در عرض چند ثانیه به سرعت در مخاط جذب می‌شود، (ب) تصاویر میکروسکوپی نوری از ساقه کاکتوس و مسیر مخروطی شکل آن، (ج ـ ۱) و (ج ـ ۲) تصاویر مسیر مخروطی شکل و نقطه شروع مخروط (فلش آبی) در خوشه تریکوم لیوفیلیزه شده (منجمد شده). (مقیاس تصویر (الف) ۳۰۰ میکرومتر و مقیاس تصویر (ب) ۳۰ میکرومتر می‌باشد) (Kim et al., 2017).

٦- بحث و یافته‌ها

در این پژوهش با هدف الهام از مکانیزم ذخیره و برداشت آب در کاکتوس‌ها، مدل پایه پوسته ساختمانی برای جذب رطوبت از مه در مناطق گرم ارائه گردید. با توجه به اختلاف زیاد دما در اقلیم گرم در شب و روز، کاکتوس‌ها رطوبت موجود در هوا هنگام طلوع را از طریق تریکوم‌ها (کرک گیاهی) جمع‌آوری کرده و به اپیدرم منتقل می‌کنند. آب جذب شده در ساقه مخاطی که خاصیت بالایی در جذب آب دارد، ذخیره می‌شود. مکانیزم عملکرد این پوسته نیز جذب حداکثر رطوبت از مه در سپیده دم و باقی ساعت روز و ایجاد سایه بر روی نمای ساختمان برای کاهش مصرف انرژی ساختمان است. این پوسته شامل سه لایه غشای اصلی است:

۱ـ مش آب گریز که با الهام از تریـکوم کاکتوس با خاصیت آب گریزی در نظر گرفته شده است.

۲ـ فوم آب دوست با الهام از اپیدرم کاکتوس که آب را بیشتر از وزن خود جذب می‌کند.

۳ـ مش آب گریز با الهام از تریـکوم کاکتوس که مجدداً در لایه آخر قرار می‌گیرد (تصویر ۸).

تصویر ۸. معرفی عناصر و نحوه عملکرد پوسته ساختمانی طراحی شده با مکانیزم جذب رطوبت کاکتوس و سایه‌اندازی آن بر نمای ساختمان (ماخذ: نویسندگان)

بخشی از رطوبت موجود در هوا در اثر برخورد با مش آب گریز بر روی آن می‌نشیند و بخشی از رطوبت که از مش گذر کرده توسط فوم آب دوست جذب می‌شود، مقداری از رطوبتی که بر روی مش آب گریز نشسته بر اثر جاذبه بر روی مش به سمت ناودانی که در پایین پوسته ساختمانی قرار گرفته حرکت می‌کند و از این طرق به سمت منبع ذخیره‌سازی آب هدایت می‌شود. کابل‌هایی فلزی که در دو طرف تعبیه شده و پوسته به آنها متصل شده، موجب حرکت کرکره‌ای پوسته به طرف غلطک‌های فلزی تعبیه شده در بالای ناودونی شده و با تحت فشار قرار گرفتن مجموعه سه گانه غشاء، پوسته فشرده می‌شود تا همه رطوبت جذب شده در فوم آب دوست و همچنین رطوبت باقی مانده بر روی مش نیز از این طریق در ناودونی تخلیه شده و به طرف محفظه ذخیره آب هدایت و در آن جمع‌آوری شود. لوله جمع کننده غشاء که غلطک‌ها در اطراف آن قرار دارند به بهبود و تسریع عملکرد کمک می‌کند. با این روش آب جمع‌آوری شده می‌تواند در بخش‌های مورد نیاز در ساختمان مورد استفاده قرار بگیرد با توجه به شرایط آب و هوایی و تحلیل سایت ساختمان برای برداشت حداکثری و جلوگیری از تبخیر آب جذب شده بر روی غشا، می‌توان بر اساس محاسبات میزان تبخیر، تعداد دفعات و ساعات حرکت پوسته و جذب آب از طرق غلطک‌ها درشبانه روز بررسی شود تا عملکرد پوسته با توجه به تغییر پارامترها به صورت مطلوب بهبود یابد. به منظور استفاده بهینه از روشنایی و انرژی خورشید در طول روز در اقلیم گرم و ایجاد محیط مطلوب برای کاربران و همچنین کاهش مصرف انرژی به منظور سرمایش و گرمایش فضا، امکان تعیین و کنترل میزان نور ورودی به فضا وجود دارد که این امر از دو طریق محاسبه و اجرا می شود:

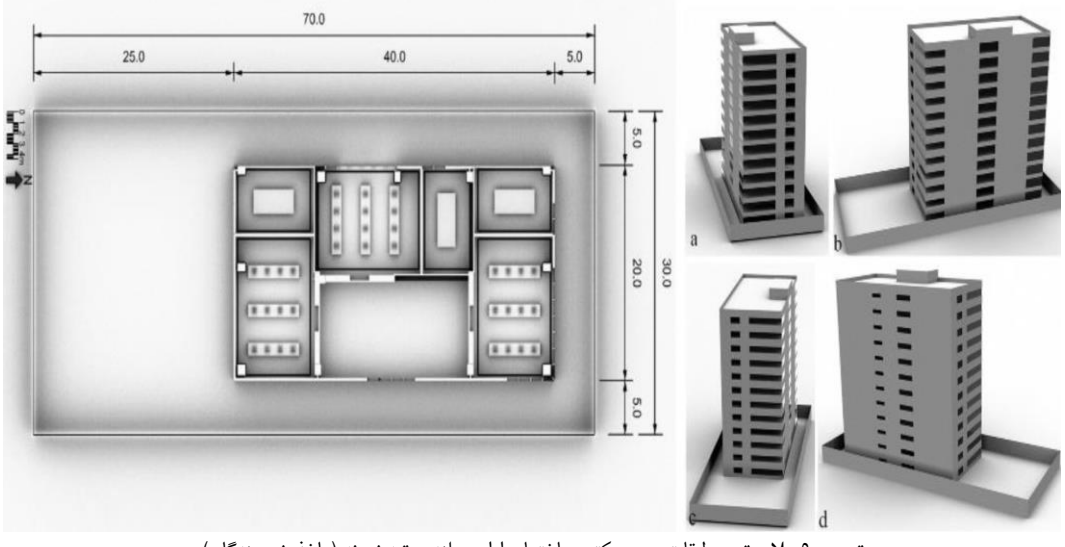
۱ـ تعیین میزان درصد سایه‌اندازی مش‌های دوگانه آب گریز غشاء.

۲ـ فرم فوم آب دوست در میانه غشا که با توجه به میزان نور ورودی مناسب به صورت پر و خالی و در ابعاد دلخواه طراحی می-شود.

همچنین فرم ظاهری پوسته با توجه به کاربری ساختمان و کنترل میزان نفوذ تابش خورشید به داخل فضا قابلیت تغییر و طراحی منحصر به فرد در هر پروژه را داراست. در این طرح تعداد لوورها، فاصله لوورها از پنجره و نمای ساختمان، میزان سایه‌اندازی، رنگ و طراحی فرم ظاهری پوسته برای بهره‌وری حداکثری از رطوبت موجود در هوا، میزان سایه‌اندازی دلخواه، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، هماهنگی و تطبیق با کاربری ساختمان، سبک معماری و هماهنگی با اقلیم مناسب با هر پروژه به صورت منحصر به فرد قابلیت طراحی دارد.

۱-٦- شبیه سازی و تحلیل تاثیر پوسته بر میزان پراکندگی نور روز و آسایش بصری در مدل ساختمانی مبنا

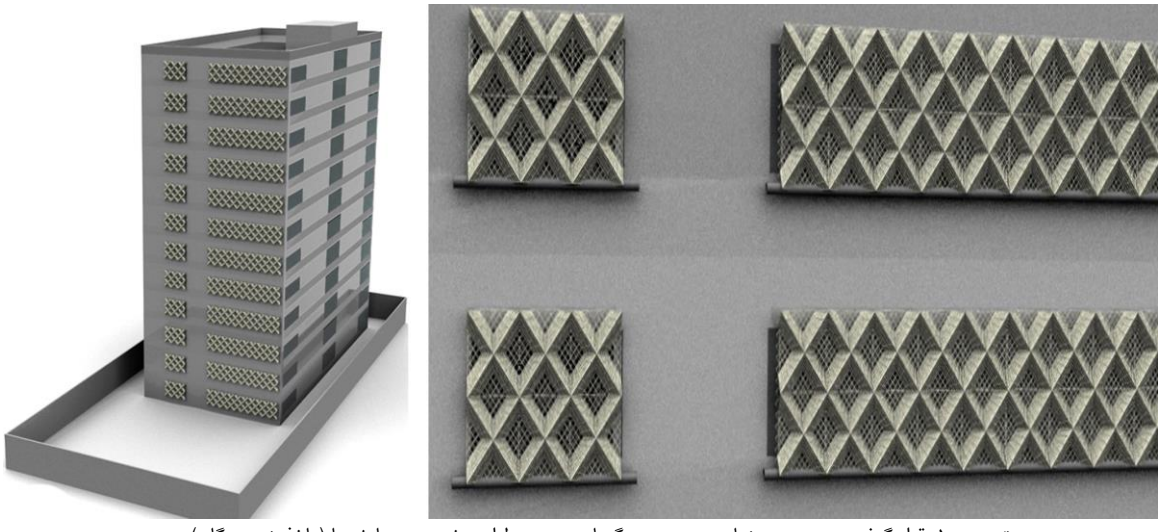
به منظور شبیه سازی و تحلیل تاثیر سیستم پوسته بر میزان خیرگی و دریافت نور روز، یک ساختمان نمونه ۱۲ طبقه شمالی، با توجه به گستردگی شهر تهران و ضوابط موجود انتخاب گردید (تصویر ۹). حدود مساحت زمین۲۰۰۰ مترمربع در بر شریان درجه اول و مساحت هر طبقه ۸۰۰ مترمربع می باشد همچنین بنا در همه وجوه دارای عایق حرارتی و پنجره دو جداره است. با توجه به اینکه محدوده آسایش حرارتی شهر تهران در بازه ۲۰/۴ تا ۲۶/۸ درجه سانتیگراد می‌باشد (Nasrollahi et al., 2013)، - فرض بر آن است که با عبور دمای محیط از این حدود، تجهیزات مکانیکی گرمایشی و سرمایشی ساختمان استفاده خواهند شد. همچنین ظرفیت حرارتی و انرژی گرمایشی ناشی از تجهیزات ساختمان هم در محاسبات در نظر گرفته شده است.



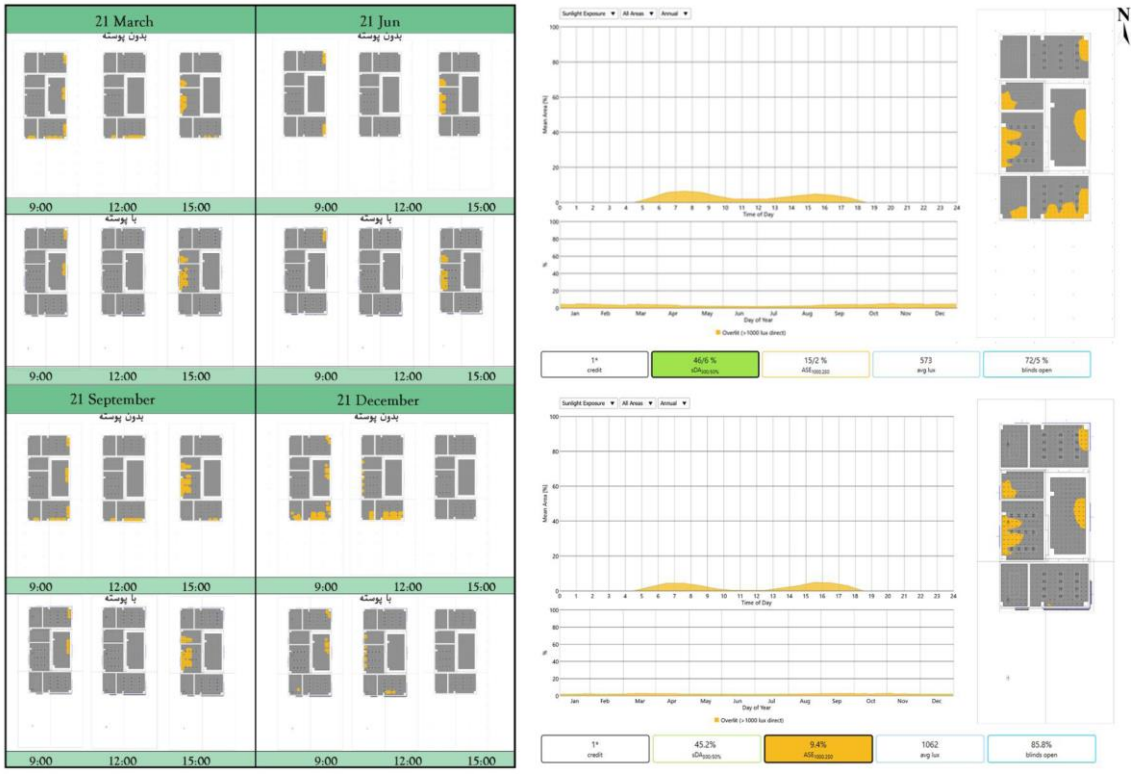
تصویر ۹. پلان تیپ طبقات و پرسپکتیو ساختمان اداری بلند مرتبه نمونه (ماخذ: نویسندگان)

پس از تعیین مدل ساختمانی مبنا که شمالی در نظر گرفته شده است، با استفاده از افزونه Climate Studio که بر روی Grasshopper 3D نصب می‌گردد، میزان پراکندگی نور روز و آسایش بصری صرفاً در نمای جنوبی، شبیه‌سازی و محاسبه - گردید. سپس ساختمان بار دیگر تحت همان شرایط و تنها با جایگزینی پروتوتایپ طراحی شده جهت پوسته جنوبی، شبیه‌سازی گردیده و در نهایت شاخص‌های sDA و ASE در هر دو حالت با هم مقایسه شد (تصویر ۱۰). داده‌های اولیه نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی به این ترتیب در نظر گرفته شد: ابعاد ساختمان شامل ۲۰ x ۴۰ x ۴۲متر، مساحت پنجره‌های جنوبی برای هر طبقه ۲۴/۵ مترمربع و پنجره‌های شمالی برای هر طبقه ۳۸/۵ مترمربع، مساحت پنجره‌های شرقی برای هر طبقه ۳۴/۵مترمربع و مساحت پنجره‌های غربی برای هر طبقه ۷/۸مترمربع، ضریب کل هدایت حرارتی دیوار w/m^2k ۰/۲۵، ضریب کل هدایت حرارتی کف و سقف w/m^2k ۰/۱۵ (Nasrollahi et.al, 2013, 35) ثابت نگه داشته شد. پنجره‌ها فاقد هرگونه آفتابگیر بوده

و قرارگیری پنجرها بدون زاویه نسبت به نمای ساختمان برای شبیه‌سازی‌ها در نظر گرفته شده است. در شبیه‌سازی ساختمان نمونه فرض بر آن است که از ساختمان‌های مجاور و روبرو بر هیچ یک از طبقات ساختمان موجود سایه اندازی وجود ندارد. آنالیزها در طول یک سال به صورت میانگین و در ساعات ۸ صبح تا ۱۸ بعد از ظهر و همچنین در ساعات ۹ صبح ۱۲ ظهر و ۱۵ بعد از ظهر منحصراً در زمان‌های انقلاب تابستانی و زمستانی و در گرمترین و سردترین روز سال به تاریخ اول فروردین، اول تیر، اول مهر و اول دی ماه در نظر گرفته شده است (تصویر ۱۱).



تصویر ۱۰. قرار گرفتن پوسته روی نمای جنوبی و بزرگنمایی پوسته طراحی شده روی بازشوها (ماخذ: نویسندگان)



تصویر ۱۱. بررسی شاخص‌های sDA و ASE با استفاده از شبیه‌سازی ساختمان مبنا در حالت عادی و همراه با پوسته با استفاده از افزونه Climate Studio (ماخذ: نویسندگان)

همانگونه که در تصویر (۱۱) مشاهده می‌گردد، در نمای جنوب، شاخص میزان پراکندگی نور در محیط (sDA) در حالت عادی ۴۶/۶٪ و با استفاده از پوسته ساختمانی، این شاخص به ۴۵/۲ ٪ تقلیل می‌یابد. در این بخش کاهشی در حدود ۱/۴٪ دیده می-شود که حاکی از تاثیر ناچیز پوسته بر میزان شاخص sDA است. در مقابل تاثیر پوسته بر میزان شاخص آسایش بصری (ASE) قابل توجه است به نحوی که در حالت عادی این شاخص معادل ۱۵/۲ و در حالت قرارگرفتن پوسته بر روی نمای ساختمان این شاخص به ۹/۴ کاهش می‌یابد که حدود ۴۸٪ کاهش خیرگی را در نمای جنوبی نشان می‌دهد.

۷- نتیجه‌گیری

امروزه الهام از طبیعت و استفاده از روش‌های نوین شبیه‌سازی این امکان را برای طراحان فراهم ساخته تا انتخاب‌هایی علمی و آگاهانه در فرآیند طراحی داشته باشند. تمرکز این پژوهش بر روی نحوه سازگاری گیاه کاکتوس با محیط می‌باشد و در این راه استراتژی انطباق پذیری این گیاه و نحوه جذب رطوبت در کاکتوس مورد بحث و تحلیل قرار گرفت. با شناسایی این سازوکار و انتقال تئوری ایده‌های رفتاری و عملکردی گیاه کاکتوس، طرح پوسته ساختمانی پیشنهادی ارائه گردید که می‌تواند در طراحی سیستم جذب و ذخیره‌سازی آب مورد استفاده قرار گیرد. در عین حال بهبود آسایش بصری و راحتی فضای داخلی با بهینه‌سازی سطح نور طبیعی، بخصوص در کشور ایران که به علت برخورداری از ساعات آفتابی زیاد، حائز اهمیت می‌باشد، در طراحی این الگو مورد توجه بوده است. آزمون فرضیه اول و فرضیه دوم پژوهش با استفاده از شبیه‌سازی‌ها مورد تائید قرار گرفت. در رابطه با فرضیه سوم گرچه کاهشی ناچیز (در حدود ۱/۴٪) در شاخص sDA ملاحظه گردید، با این حال نتایج شبیه‌سازی با بخش اول فرضیه سوم به علت کاهش پراکندگی نور در هنگام استفاده از پوسته، مغایرت دارد. در مقابل پوسته طراحی شده، شاخص خیرگی (ASE) را ۴۸٪ تقلیل داد که میزان قابل توجهی در ارتقا آسایش بصری کاربران بوده و در عین حال بخش دوم از فرضیه سوم را تائید می‌نماید. در مجموع این پژوهش با شناسایی سازوکار گیاهان انطباق‌پذیر در پی آن بود تا ضمن درکی روشن از توسعه پوسته‌های ساختمان با تکیه بر مکانیزم‌های گیاهی، ارتقاء سیستم‌های معماری نوآورانه و پایدار را تجربه و دنبال نمایند. گرچه مدل ارائه‌شده در این پژوهش می‌تواند رهیافتی برای طراحی پوسته ساختمان به منظور بهینه سازی انرژی و کنترل نور روز در ساختمان‌ها ارئه دهد، اما نتایج پژوهش حاضر ثابت می‌کند که انتقال راه‌حل‌های طبیعی برای طراحی پوسته‌های ساختمانی نیازمند مطالعات زیادی است و در طی آن نیاز به شناخت و تجربه شاخه‌های علوم جدید همچون مواد و فناوری‌های هوشمند، نانو تکنولوی، مصالح زیستی و ظرفیت‌های جدید در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی بیش از پیش آشکار می‌گردد.

پی‌نوشت ها:

۱ـ راشل آرمسترانگ، دانشمند و معمار بریتانیایی در کتاب «معماری زنده» پیشنهاد می‌دهد که در زمان حاضر باید ساختمان‌های سازگار با محیط زیست را توسعه داد. نتیجه این نگاه، نوع جدیدی از معماری است که در آن شهرها بیش از ماشین آلات بی‌روح مانند یک اکوسیستم در حال تکامل رفتار می‌کنند (Armstrong, 2012).

۲ـ بیومیمیکری (Biomimicry) از کلمه یونانی Bios به معنی زندگی و زندگانی می‌آید و به معنی تقلید و اقتباس از ساختارهای طبیعت است. این اصطلاح عنوان «انتزاعی از طراحی خوب طبیعت» را تعریف می‌کند (Vincent et al., 2006).

3- Metabolism

۴ـ شاخص sDA (Spatial Daylight Autonomy) میزان پراکندگی نور در محیط را نشان می‌دهد. این شاخص معیاری است برای این که نشان دهد در چه مقدار از سطح تنها با استفاده از نور روز، حداقل میزان روشنایی فراهم است. این شاخص به صورت درصد زمان اشغال شده در طول سال بیان می‌شود و درصد زمانی را نشان می‌دهد که تنها با استفاده از روشنایی نور، روشنایی در محیط فراهم است. بنابراین با استفاده از این شاخص می‌توان مقاطعی که نیاز به استفاده از سیستم روشنایی ندارند را مشخص نمود (شفوی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۸).

۵ـ قرارگیری در معرض تابش سالانه (Annual Sunlight Exposure)، شاخص دینامیک دیگری است که به عنوان روشی برای تشخیص شرایط آزاردهنده (بصری و حرارتی) معرفی شده است. شاخص ASE، تابش مستقیم خورشید را به عنوان عاملی برای ایجاد نارضایتی در نظر می‌گیرد و بر همین اساس درصد فضایی را که مقدار روشنایی مستقیم بیشتر از ۱۰۰۰ لوکس را در حداقل ۲۵۰ ساعت از

دورهٔ اشغال دریافت می‌کند، نشان می‌دهد. حداکثر مقدار قابل قبول پیشنهادی برای این شاخص، ۱۰٪ است (شفوی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۸).

۶ـ گزینش طبیعی یا انتخاب طبیعی، فرایندی است که طی آن عناصر سازگار با محیط شانس بیشتری برای بقا و تولید مثل دارند و می‌توانند ژن خود را به نسل بعد منتقل کنند. در مقابل عناصر ناسازگار با محیط از گونه حذف می‌شوند و نمی‌توانند ژن خود را منتقل کنند. این فرایند از سازوکارهای کلیدی فرگشت (تکامل) محسوب می‌گردد (Magner, 2002).

7- Richard Frosch
8- Nicholas Gallopoulos
9- Janine Benyus

۱۰ـ اگر گیاه یا اندامی از آن تحت شرایط متفاوتی از یک عامل فیزیکی قرار گیرد، تغییراتی به صورت رشد نامتقارن در آن پدید می‌آید. چنانچه عامل مورد مطالعه نور و روشنایی باشد، سطحی از گیاه که در نور یا تاریکی قرار می‌گیرد، نسبت به سطح دیگر رشد متفاوت پیدا می‌کند (Magner, 2002).

11- Stephen Hales
12- F.E. Lloyd
13- Edward C. Stone

۱۴ـ روند جستجوی تحقیقات، بدون محدودیت در سال انتشار انجام پذیرفت و تاریخ انتشار مقالات یافت شده در محدوده ۳۰ سال اخیر است، گرچه بیش از ۸۰٪ مقالات طی ۱۰ سال اخیر انتشار یافته است.

۱۵ـ فشار لاپلاس (Laplace pressure) اختلاف فشار بین داخل و خارج یک سطح منحنی است. کشش سطحی بین مایع و گاز باعث اختلاف فشار می‌شود (Butt et al., 2006).

16- Opuntia microdasys state
17- Cassie
18- Wenzel state

منابع

- رزازی، سمیرا و مظفری، فاطمه. (۱۳۹۷). پوسته‌های سازگار و انطباق‌پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت. *معماری سبز*، ۴(۱۱)، ۱-۱۸.
- کریم‌پور، علیرضا؛ دیبا، داراب و اعتصام، ایرج. (۱۳۹۶). تحلیل تاثیر آفتابگیرهای داخلی بر مصرف انرژی با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی. *هویت شهر*، ۱۱(۳۰)، ۱۷-۳۰.
- کریم‌پور، علیرضا؛ دیبا، داراب و اعتصام، ایرج. (۱۳۹۸). تحلیل‌های اقتصادی و ارزیابی میزان مصرف انرژی بر اساس نوع و نسبت پنجره‌ها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی. *هویت شهر*، ۱۳(۳۹)، ۱۹-۳۴.
- گلابچی، محمود و خرسندنیکو، مرتضی. (۱۳۹۳). معماری بایونیک. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- شفوی‌مقدم، نسترن؛ تحصیلدوست، محمد و زمردیان، زهراسادات. (۱۳۹۸). بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران (مطالعهٔ موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران). *مطالعات معماری ایران*، ۸(۱۶)، ۲۰۵-۲۲۸.
- Ali, G., Abbas, S. & Qamar F. M. (2013). How effectively low carbon society development models contribute to climate change mitigation and adaptation action plans in Asia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26, 632-638.
- Al-Obaidi, K., Ismail, M., Rahman, A. (2014). Design and performance of a novel innovative roofing system for tropical landed houses. *Energy Conversion and Management*, 85, 488-504.
- Al-Obaidi, K., Ismail, M., Hussein, H. & Abdul Rahman, A. (2017). Biomimetic building skins: An adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1472-1491.
- Armstrong, R. (2012). *Living architecture: how synthetic biology can remake our cities and reshape our lives*. Kindle Single: TED books.
- Badarnah, L. & Kadri, U. (2015). A methodology for the generation of biomimetic design concepts. *Architectural Science Review*, 58(2), 120-133.
- Badarnah, L. (2018). Environmental adaptation of buildings through morphological differentiation. *Conference on Advanced Building Skins*. Bern: Advanced Building Skins GmbH.
- Butt, H. J., Graf, K. & Kappl, M. (2006). Physics and Chemistry of Interfaces. New Hersey: Wile.
- Chaudhury, M. K. & Whitesides, G. M. (1992). How to make water run uphill. *Science*, 256(5063), 1539-1541.

- Cohen, Y. H., Reich, Y. & Greenberg, S. (2015). What can we learn from biological systems when applying the law of system completeness? *Procedia Eng*, 131, 104-14.
- Fiorito F, Sauchelli M, Arroyo D, Pesenti M, Imperadori M, Masera G, Ranzi G. (2016). Shape morphing solar shadings: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 863-884.
- Garcia-Holguera, M., Clark, O. G., Sprecher, A. & Gaskin, S. (2015). Ecosystem biomimetics for resource use optimization in buildings. *Building* Research & *Information*, 44(3), 1-16.
- Hasselaar, B. L. H. (2009). Climate adaptive skins: towards the new energy-efficient façade. *WIT Transactions on Ecology and the Environmen*t, 99, 351-360.
- Helms, M., Vattam, S. S. & Goel, A. K. (2009). Biologically inspired design: process and products. *Design Studies*, 30(5), 606-622.
- Ju, J., Bai, H., Zheng, Y., Zhao, T., Fang, R. & Jiang, L. (2012). Multi-structural and multi-functional integrated fog collection system in cactus. *Nature Communications*, 3(1247).
- Kim, K., Seo, E., Chang, S. K., Park, T. J., Lee, S. J. (2016). Novel water filtration of saline water in the outermost layer of mangrove roots. *Scientific Reports*, 6(20426).
- Kim, K., Kim, H., Park, S. H. & Lee. S. L. (2017). Hydraulic Strategy of Cactus Trichome for Absorption and Storage of Water under Arid Environment, *Frontiers in Plant Science*, 8(1777): 1-8.
- Knippers, J. & Speck, T. (2012). Design and construction principles in nature and architecture. *Bioinspiration & Biomimetics*, 7(1), 015002.
- Koch, K. & Barthlott, W. (2009). Superhydrophobic and superhydrophilic plant surfaces: an inspiration for biomimetic materials. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1893), 1487-1509.
- Lafuma, A. & Quéré, D. (2003). Superhydrophobic states. *Nature Materials*, 2, 457-460.
- Lopez, M., Rubio, R., Martín, S., Croxford, B. & Jackson, R. (2015). Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. *Journal of Facade Design and Engineering*, 3(1), 27-38.
- Lopez, M., Rubio, R., Martín, S., Croxford, B. (2017). How plants inspire façades. From plants to architecture: biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 692–703.
- Lurie-Luke, E. (2014). Product and technology innovation: what can biomimicry inspire? *Biotechnology Advances*, 32(8), 1494-1505.
- Malik, F. T., Clement, R. M., Gethin, D. T., Krawszik, W. & Parker, A. R. (2014). Nature's Moisture Harvesters: a Comparative Review. *Bioinspiration & Biomimetics*, 9(3), 031002.
- Magner, L. N. (2002) *A History of the Life Sciences, Revised and Expanded*. Florida: CRC Press.
- Manukyan, G., Oh, J., Van Den Ende, D., Lammertink, R. G. & Mugele, F. (2011). Electrical switching of wetting states on superhydrophobic surfaces: a route towards reversible Cassie-to-Wenzel transitions. Physical Review Letters, 106, 014501.
- Nobel, P. S. (2003). *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. New York, NY: Cambridge University Press.
- Nasrollahi, F., Wehage, P., Shahriari, E., & Tarkashvand, A. (2013). Energy Efficient Housing for Iran Pilot Buildings in Hashtgerd New Town. Berlin: Universitäts-verlag der TU Berlin.
- Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., Raahemifar, K. & Tookey, J. (2016). Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 1252-1269.
- Reap, J., Baumeister, D. & Bras, B. (2005). Holism, Biomimicry and Sustainable Engineering. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition.* Orlando: ASME.
- Royall, E. (2010). Defining biomimicry: architectural applications in systems and products. *UTSoA-Seminar in Sustainable Architecture*. Austin: The University of Texas at Austin.
- Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F, Serrano, S., Barreneche, C., Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 85-98.
- Vincent, J., Bogatyreva, O., Bogatyrev, N., Bowyer, N. & Pahl, K. (2006). Biomimetic: it's Practiceandtheory. *Jornal of the Royal Society Interface*, 3(9), 471-482.
- Vogel, S. (2013). *Comparative Biomechanics: Life's Physical World*. New Jersey: Princeton University Press.

- Waring, R. & Running, S. (1978). Sapwood water storage: its contribution to transpiration and effect upon water conductance through the stems of old-growth Douglas-fir. *Plant, Cell & Environment*. 1(2), 131-140.
- Zari, M. P. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. *The SB07 NZ Sustainable Building Conference*. Auckland: New Zealand Victoria University.
- Zari, M. P. (2009). An architectural love of the living: bio-inspired design in the pursuit of ecological regeneration and psychological wellbeing. *WIT Transactions on Ecology and the Environmen*t, 120, 293-302.
- Zheng, Y., Bai, H., Huang, Z., Tian, X., Nie, F. Q., Zhao, Y., Zhai, J. & Jiang, L. (2010). Directional water collection on wetted spider silk. *Nature*. 463(7281), 640-643.

Designing and Planning in Architecture and Urbanism
Volume:1, Issue:1
DOI: 10.30495/dpau.2023.706776

Using Biomimicry Knowledge to Improve the Efficiency of Building Envelopes Inspired by the Morphology and Moisture Absorption Mechanism of the Cactus Plant (Case Study: High-Rise Office Building in Tehran)

Abstract:

Alireza Karimpour [1] (corresponding author)
Elahe Karami [1], Arezo Malek [2]

One of the architectural design components that affects energy consumption and environmental comfort conditions is building envelopes. Among today's solutions to improve the efficiency of building envelopes is to establish a structural relationship between architecture, environment and biology. The focus of this study is on the characteristics of the cactus plant in water absorption and its purpose is to innovate in pattern design with the ability to save energy and improve lighting quality and user satisfaction with the light conditions of the space, by using Biomimicry in Building Envelope design. The present research has been done in two steps; in the first step, data collection in relation to the cactus plant was done by studying documentary-research sources and data were analyzed by descriptive-analytical method. Then, using the results of the analysis, the building shell model is designed and simulated. In the second step, a building model is used as a basis for simulation and the amount of brightness and glare from daylight, using the Climate Studio plugin, once in normal mode and again when the shell was on the building model was simulated and calculated.

The results showed that by examining the mechanism of Water absorption and storage in the cactus and the equivalence of trichomes, epidermis and mucosa of this plant, achieved a model for building shells based on the maximum absorption of rainwater and moisture at dawn, as well as shading the facade of the building. Although according to the simulations, the proposed model reduces the index (sDA) by 1.4%, but in contrast, reduces the index (ASE) by 48%, which is a significant amount of improving indoor user comfort.

Keywords: Biomimicry, Building Envelope, Cactus, Simulation, Daylight, Glare

[1] Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University South Tehran Branch. (alireza.karimpour@yahoo.com)
[2] Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Islamic Azad University West Tehran Branch.