پوسته‌های سازگار و انطباق‌پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت

سمیرا رزازی[1*]، فاطمه مظفری[2]

۱-عضو هیات علمی معماری وشهرسازی موسسه آموزش عالی میرداماد گرگان

۲-عضو هیات علمی معماری دانشگاه آزاد واحد ساری

Razazis@yahoo. com

چکیده

پوسته‌های ساختمان در تقابل بین محیط خارجی و فضاهای ساخته‌شده داخلی هستند که ما اغلب آن‌ها را به‌عنوان مانع یا حفاظ در نظر گرفته‌ایم و راه‌حل‌های محدودی در تطابق با تغییرات محیطی در ساختمان‌ها لحاظ کرده‌ایم. نماها نقش مهمی در اتلاف انرژی در ساختمان‌ها دارند. این مصرف انرژی برای تأمین راحتی فضای داخلی است. طبیعت راه‌حل‌های زیادی در جهت انطباق‌پذیری دارد که در طرح‌های معماری و به‌خصوص طراحی پوسته‌های ساختمانی قابل‌اجرا است. سازگاری‌های زیست‌محیطی راه‌حل‌های پیچیده، چند عملکردی و بسیار پاسخگویی هستند. این مقاله در نظر دارد راه‌حل‌هایی بین سازگاری زیست‌شناختی و معماری مطرح نماید و هدف یافتن راهکاری جهت ایجاد نوآوری در طراحی نمای ساختمان‌هاست. تمرکز این تحقیق بر روی گیاهان هست زیرا 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. این پژوهش مروری است بر تحقیقات انجام‌شده بر اساس تئوری‌ها، مفاهیم، موضوعات و جمع‌آوری اطلاعات از گیاهان سازگار و نقشه و برنامه‌هایی برای هدایت این اصول به‌منظور استفاده در طرح‌های معماری است. همچنین چند ایده طراحی که می‌توانند راهگشای دریچه‌های جدیدی از راه‌حل‌های تکنولوژیکی در انطباق با شرایط اقلیمی متفاوت بر اساس انطباق‌پذیری و سازگاری گیاهان با محیط اطرافشان باشد، نشان داده شده است.

واژگان کلیدی: پوسته ساختمان، گیاهان انطباق پذیر، سازگاری زیست‌محیطی، کارایی انرژی، تقلید از طبیعت.

۱-مقدمه

میزان استفاده ساختمان‌ها از مجموع انرژی مصرفی بخش مهمی در کشورهای توسعه یافته است و با افزایش آگاهی از مشکلات زیست‌محیطی و نیاز به کاهش تقاضای انرژی نیاز به یافتن راه حل های پایدار و قابل اعتماد ضروری به نظر می‌رسد. (پرز و همکاران، ۱۳۹:۲۰۱۴) شهرها یک بخش از مشکل تغییرات آب و هوایی هستند اما آنها می توانند نقش کلیدی در یافتن راه حل در این زمینه باشند. (کامال چائو و همکاران، ۹:۲۰۰۹) شهرهای کنونی سهم زیادی در مصرف انرژی جهانی دارند و در نتیجه در انتشار گازهای گلخانه ای تاثیر گذارند. علاوه بر این شهرها قدرت مداخله در مسائل شهری و یافتن راه حل مناسب برای جلوگیری از تغییرات آب وهوایی را دارند و می توانند در بخش های مختلفی مانند ساختمان سازی پاسخگو باشند. بر اساس تخمین های شورای اروپا، ساختمان ها در حال حاضر ۴۰٪ از انرژی مصرفی در اتحادیه اروپا را به خود اختصاص می دهند و ۳۶٪ از انتشار گاز دی اکسید کربن، در نتیجه ماموریت یافتند که ۸۰ تا ۹۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه ایی را تا سال ۲۰۵۰ کاهش دهند. (کمیسیون اتحادیه اروپا، ۲۰۱۱) این نشان می دهد که چطور اتحادیه اروپا میزان زیادی از بودجه خود را جهت برنامه ریزی و تحقیق برای نوآوری کارایی انرژی ساختمان ها تا افق ۲۰۲۰ برنامه ریزی کرده است. کارایی انرژی ساختمان از طریق "کاربرد منطقی و منسجم سیاست های طراحی فعال و غیر فعال به منظور کاهش بارهای گرمایش و سرمایش" و "افزایش تجهیزات کارایی انرژی و استفاه از انرژی های تجدید پذیر "به سطح بالایی می رسد. (استوانویک، ۹۶:۲۰۱۳-۱۷۷) مصالح بهتر، منابع انرژی سبزتر، وضعیت اقتصادی کاراتر و استفاده بهتر از اطلاعات و تلکنولوژی ارتباطات تنها تعدادی از راههایی است که کشف شده است. (اسکوا، ۱۵:۲۰۱۳)

علاوه بر این ساختمان ها بدون همگونی سقف‌ها و دیوارها در تقابل بین عوامل محیط خارجی و نیازهای داخلی ساکنین هستند. (دلگرسو و همکاران، ۲۴:۲۰۱۳) پوسته های خارجی ساختمان عامل اصلی تشخیص کیفیت و کنترل شرایط داخلی در مقابل شرایط خارجی ناپایدار است. (سادیننی و همکاران، ۳۱:۲۰۱۱) بنابر این پوسته های محصور کننده ساختمان، پوسته های معمارانه یا نماها پتانسیل و نقش مهمی در ایجاد اصول و قوانین و کنترل اتلاف انرژی دارند و این از زمانی است که نماها به عنوان فیلتر واسطه بین شرایط محیط خارجی و داخلی و نیازهای ساکنین فضای داخلی به کار رفته اند. پوسته ساختمان یکی از مهمترین عوامل طراحی برای تنظیم محیط فیزیکی داخلی با تاثیر روی میزان استفاده از انرژی در ساختمان ها است. (اورال و همکاران، ۳۸۳:۲۰۰۳، برکوز و همکاران، ۱۱۹:۱۹۸۷) در ارتباط با این نقش موثر در سال های اخیر، نماها و پوسته های ساختمان موضوع تعداد زیادی از تحقیقات و مطالعات در سرتاسر جهان بوده اند و همه آنها تلاش کرده اند تا به بهره وری و کارایی و اجرای بهتر به منظور دستیابی به انرژی، راحتی یا ساختار مناسب برسند. افزایش تعداد پروژه ها درباره بهبود و پیشرفت، چالش ها و امکان طراحی پوسته ساختمان و تاثیر آن در استفاده از انرژی پیشرفت قابل توجهی در سال های اخیر داشته است زیرا طراحی معماری مناسب به عنوان پوسته و محصور کننده ساختمان می تواند به میزان قابل توجهی میزان مصرف انرژی و نیاز به انرژی کمتر و دستیابی به راحتی در فضای داخلی که دو هدف بسیار مهم هستند را ایجاد می کنند و در این راه ساختمان های هوشمند اجرایی شده اند. (سلکویتز، ۴۶:۲۰۰۱)

از طرفی سازگاری فرایندی است که در آن "توانایی موجودات زنده به زندگی بهتر در محیط زیست" را ارزیابی می‌کند. (دوبژانسکی و همکاران، ۳۴:۱۹۶۸-۱) امروزه محیط زیست و طبیعت تنها موضوع مورد توجه زیست شناسان نیست و موضوعی برای الهام بخشی و تفکر تکنولوژی جدیداست. این تمایل معروف است به تقلید از ساختار طبیعت که نظمی است به منظور توسعه دادن بر اساس قوانین طبیعت که در رشته‌های مهندسی و پزشکی کاربرد یافته و تنها در چند دهه اخیر کاربرد آن را در معماری می بینیم. سیستم هایی که در طبیعت یافت می شود اطلاعات و سیاست ها و راهکارهای زیادی به ما پیشنهاد می دهد که می توان آن را در طراحی منطبق با طبیعت به کار برد. این مقاله درباره سیاست ها و روش های به کارگیری گیاهان در طراحی و تکنولوژی برای نوآوری های آینده است. در بخش اول این مقاله مروری بر پوسته های معمارانه سازگار و انطباق پذیر پیشرفته بیان شده است که شامل اصول زیست ساختاری است. علاوه بر آن مروری بر پروژه های ساختمانی و تجزیه و تحلیل آنها در مقایسه با تحقیقات دانشگاهی در این زمینه بیان شده است. در بخش دوم این مقاله مروری عمیق بر گیاهان سازگار و انطباق پذیر فراهم شده است. علاوه بر اینها ایده های جدیدی برای افزایش کارایی انرژی در پوسته های ساختمان ها در نظر گرفته شده که برگرفته از گیاهانی است که در تغییرات محیطی پاسخگو هستند و همچنین سیستم های سازگار و انطباق پذیری که در پوسته‌های ساختمان توانایی پاسخ گویی به شرایط محیطی متغیر را دارند بحث و معرفی می شوند. برای دستیابی به مسائل طراحی پوسته‌های معماری انطباق پذیر از سیستم های طبیعی درس هایی گرفته ایم که پاسخ گویی به سوالات زیر را ممکن می سازد:

۱- چطور می توان از سیستم های گیاهی برای خلق و ایجاد پوسته هایی با عملکرد و پیوستگی مانند طبیعت بهره برد؟
۲- آیا ممکن است ایده های کلی طراحی برای پوسته های ساختمانی با استفاده از قوانین محیط زیستی و سیاست های انطباق پذیری از گیاهان را به کار برد؟
۳- آیا می توان کارایی انرژی بیشتری در ساخت دیوارهای خارجی ساختمان ها به وسیله تقلید از طبیعت در مقابل نماهای ساختمانی مرسوم و سنتی به دست آورد؟

۲. سازگاری و انطباق پذیری در نمای ساختمان

انطباق فرایند تکاملی و پویایی است که موجودات زنده برا ی اینکه بتوانند در مکان زیست خود زندگی کنند پیدا می کنند(دوبژانسکی و همکاران، ۲۷:۱۹۶۸) بیشتر تعاریف از نما و پوسته ساختمانی محدوده حصار بیرونی و بر ساختمان است که فضای داخلی و خارجی ساختمان را به منظور فراهم کردن عملکردهایی مانند حمایت، کنترل، زیبایی شناسی و خدماتی که در آن توزیع می شود، جدا می سازد. محیط پیوسته در حال تغییر است و چالش های جدیدی ایجاد می کند. نور و پرتو خورشید، درجه حرارت، رطوبت نسبی، بارندگی، باد، عوامل مزاحم و دی اکسید کربن عوامل موثر بر ساختمان هستند. این عوامل روی میزان راحتی و آسایش ساکنین همانند کارایی ساختمان تاثیر گذار است. به علاوه این حقیقت وجود دارد که ویژگی های آب و هوایی هر منطقه پارامترهای متنوع و متغیری دارد در حالیکه نماهای مرسوم و سنتی به طور گسترده ایی ایستا و بدون انعطاف هستند در نتیجه ما میزان زیادی انرژی مصرف می کنیم تا بتوانیم راحتی فضای داخل را کنترل کنیم. انرژی مصرف شده برای گرمایش و سرمایش

۶۰٪ از میزان کل انرژی مصرفی ساختمان را شامل می شود. (عمرانی و همکاران، ۶۳:۲۰۱۶) راه حل های حال حاضر تغییرات محیط خارجی را مدیریت می کند که باعث می شود به میزان زیادی از هدر رفت انرژی در گرمایش، سرمایش، تهویه یا نورگیری ساختمان هایمان جلوگیری کرده و محدودیت ها را به خوبی مشخص می کند. زمانی که عوامل محیط خارجی به طور قابل ملاحظه ایی تغییر می کند نتایج راه حل های مطرح شده در نمای ساختمان های ایستا و ساختمان های پویا و دینامیک قابل ملاحظه است. در نتیجه بخش ساختمان به طور تقریبی مسئول انتشار دو سوم از هاله کربن و تقریبا ۲۵ تا ۳۳ درصد از انتشار کربن سیاه است. علاوه بر این بخش ساختمان ۲۳٪ از انرژی اولیه جهان و ۳۰٪ از میزان برق جهانی را استفاده کرده است. (ارگ ورساتز، ۸۵:۲۰۱۵-۹۸) به طور مرسوم و سنتی پوسته ساختمان به عنوان مانع حرارتی یا غلاف محافظ در نظر گرفته می شد تا بتواند از اتلاف حرارتی جلوگیری کند یا سایه بانی برای کنترل نور خورشید باشد. این دستاورد بسیاری از راه حل های موثر را از بین میبرد این در حالی است که امروزه پوسته ساختمان به عنوان مانع یا حفاظ در نظر گرفته نمی شود بلکه به عنوان عنصری میانجی و واسطه است. در نتیجه راه حل های سنتی و نماسازی و بام ها برای انطباق و سازگاری بهینه با نیازها و عوامل زمینه ایی طراحی نمی شود. ساختمان های ما مخالف شرایط خارجی بودند و قادر به انطباق پذیری با شرایط آب و هوایی و تغییرات محیطی نبودند. (آرمسترانگ، ۶۹:۲۰۱۲) اکنون ما به راه حل های منطبق با ساختار محیط زیستی علاقه مند هستیم زیرا اغلب آنها پیچیده، چند عملکردی و با مسئولیت پذیری بالا هستند. بنابر این برخلاف پوسته ها و نماهای سنتی و صلب قدیمی نماهای معمارانه انطباق پذیر جدید برای بهبود عملکرد ساختمان ضروری هستند. تحقیقات متعددی درباره نماها و پوسته های معمارانه انطباق پذیر موجود است مانند پوسته های ساختمانی سازگار با آب وهوا[1]توسط لونن(لونن، ۲۰۱۰)، مانوس شدن با پوسته های پویا و متحرک [2]توسط وانگ و همکاران(وانگ و همکاران، ۲۰۱۲)، پوست سازگار توسط هسلر(هسلر، ۲۰۰۶)، پوست هوشمند به وسیله ویگینتون و هریس(ویگینتون و هریس، ۲۰۰۲) یا پوسته های ساختمانی سازگار به وسیله دلگرسو و باسو(گرسو و باسو، ۲۰۱۳). فیوریتو و همکاران با بررسی بعضی از این تحقیقات مروری مقایسه ایی تالیف کرده اند. (فیوریتو و همکاران، ۲۰۱۶) در این مقاله درباره پوسته های معمارانه انطباق پذیر با ۲ هدف اصلی به تحقیق پرداخته شده است . کمک کردن به حفظ انرژی در زمینه گرمایش، سرمایش، تهویه و نورپردازی از اهداف اصلی است و هدف دوم آسایش استفاده کنندگان از فضا است در نتیجه پوسته ساختمان نه به عنوان سطوح بی اثر مرسوم بلکه به عنوان پوسته های زنده در ساختمان ها به کار می رود و می تواند دارای گستره وسیعی از تکنولوژی هایی بر اساس پوسته های یافت شده در طبیعت باشد. (بسلی، ۸۴:۲۰۰۶)

۳. پوسته های انطباق پذیر ساختمان

ساختارهای ساختمان فضاهایی را برای حفاظت مردم از محیط خارجی به خصوص در شرایط آب و هوایی دشوار مانند باد و باران و تابش شدید آفتاب فراهم می کند. پوسته های ساختمانی شامل عناصر اساسی مانند پنجره ها، دیوارها، بام ها و کف ها در تقابل با محیط خارجی و فضاهای اشغال شده داخلی هستند و می توانند برای ذخیره انرژی با یک راه حل مناسب برای پاسخگویی به فاکتورهای اقلیمی خاص به کار روند. (سادیننی، ۴۸:۲۰۱۱) شرایط محیطی به طور مداوم در حال تغییر است و چالش های جدیدی برای پوسته های ساختمانی ایجاد می کند. (هاسلر، ۳۵۱:۲۰۰۶)فعالیت های ساکنین همچون فاکتورهای محیطی مانند جا به جایی هوا، رطوبت، درجه حرارت، تابش خورشید، کیفیت هوا و سر و صدای مزاحم روی راحتی فضای داخل ساختمان تاثیر گذار است. (برکوهن، ۳۲:۲۰۱۱)سیستم های کنترل خارجی مرسوم از طریق درها و پنجره ها با استفاده ارزان و آسان کنترل های دستی سایه بان ها و سایر وسائل مانند لوردراپه های خارجی، سایه بان های خورشیدی یا لوردراپه های کاملا بسته انجام می شد. این وسائل می توانند ورود حرارت خورشید را کنترل کنند و میزان حرارت به دست آمده را از طریق پنجره ها و سایر مناطق شیشه ایی کاهش دهند. (لیدربارو، ۱۲۰:۲۰۰۲)

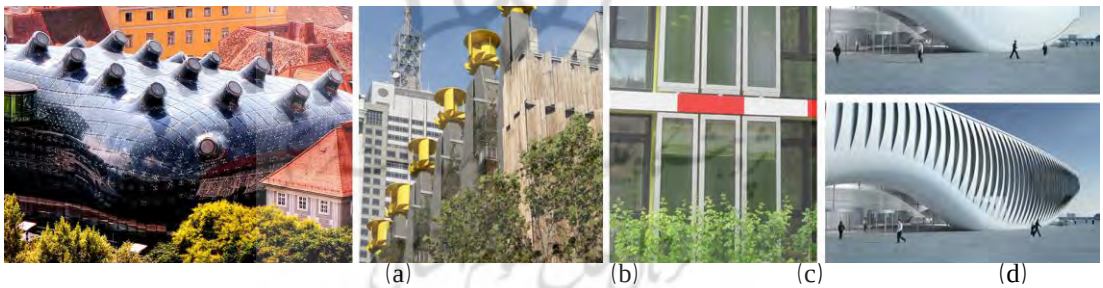
در قرن اخیر تغییر در اهداف طراحی متفاوت ضروری به نظر می رسد که از نماهای ایستا وغیرفعال به سمت نماهای فعال حرکت می کند. نماهای متحرک به عنوان سیستم‌های کنترل محیط زیست، به طور همه جانبه ظرفیت پاسخگویی به شرایط و تغییرات آب و هوایی را دارند. بعضی از این اهداف تنها در سطح تئوری باقی ماندند مانند طرح لکوربوزیه که در سال ۱۹۳۰ مطرح شد:خانه های جهانی برای تمامی آب وهوا ها، تنها یک خانه برای تمام کشورها، خانه ای که می تواند نفس بکشد. (کوربوزیه،

1-CABS
2-AKS

۱۹۹۱) به علت کمبود تکنولوژی در آن زمان برای ساخت چنین ایده های آینده گرایانه ای این طرح ها ناتمام ماند. بعدها در سال ۱۹۷۰ ویلیام زاک شاخه ایی از معماری به عنوان نمای متحرک را توضیح می دهد که در آن اجزای ساختمان یا تمامی ساختمان توانایی انطباق با تغییرات را از طریق تغییر شکل تدریجی یا برگشت به شرایط دیگر و یا سایر روش های حرکتی داشتند. (زاک، ۱۹۷۰)یک مثال پیشرو تئوری از دهه ۱۹۸۰ "دیوار چند ظرفیتی" است که شامل لایه های نازکی است که قادر به جذب آب، انعکاس، فیلتر و انتقال انرژی ها از محیط اطراف است.(دیویس، ۱۹۸۱:۵۵-۵۷)

۳-۱- پوسته های معمارانه پیشرفته

امروزه به کاربردن تکنولوژی های بالا با تکنیک های تولیدات کارخانه ایی پیشرفته پتانسیل به کارگیری ایده های پیچیده را فراهم کرده است. این تکنولوژی ها ساختمان را قادر می سازد تا خودشان را با شرایط متنوع محیط انطباق دهند. (ویگینگتون، ۲۰۰۲)در حال حاضر خدمات مکانیکی ومصالح یکپارچه پیشرفته به منظور انطباق پذیری به کار می رود. بعضی از این پوسته های ساختمانی نقش زیبایی شناسی و عملکردی دارند مانند کنستائوس گرز۱ (تصویر ۱-a)که توسط معماران کوک و فرونتیر طراحی شد در جایی که پوسته ساختمان آزادانه در بین ساختمان های سنتی و مرسوم ایستاده است و پوسته هوشمند درخشان خارجی پاسخگوی پروژه های هنر نمایش داده شده است. (کوک و همکاران، ۲۰۰۴) مثال عملکردی دیگر ساختمان شماره ۲شورا در ملبورن است که توسط مارک پیرس۲ (تصویر ۱-b)طراحی شده و رتبه ستاره سبز برتر را دریافت کرده است. در این ساختمان سیستم های مختلفی که تهویه و آب و نور و خنک سازی را مدیریت می کند و در نتیجه باعث پایداری وکارایی ساختمان می شود. (پاور و همکاران، ۲۰۰۸:۲۱-۲۵)، تصویر شماره ۱ را ببینید. علاوه بر این پیشرفت ها در سال های اخیر تمایل بیشتری برای طراحی پوسته های انطباق پذیر را نشان می دهد پوسته هایی که پاسخگو هستند و اصول جنبش و حرکت در آنها آشکارتر است. (لونن، ۲۰۱۵:۱۳۴-۱۱۵، باروزی و همکاران، ۲۰۱۶:۲۸۴-۲۷۵، فیوریتو و همکاران، ۲۰۱۶:۸۸۴-۸۶۳) برای مثال ساختمان هوشمند با ساختار زیست شناختی کواتینت۵ ۳(تصویر ۱- c)توسط معماران آروپ و اسپلیتر ورک که شامل پانل ها پر شده از جلبک و خزه (که زنده بودن آنها وابسته به دریافت نوراست) است که گرما را گرفته و الکتریسیته تولید می کنند. (تورگال و همکاران، ۲۰۱۶:۳۵) و مثال دیگر نمایشگاه تماتیک اقیانوس است۴ (تصویر ۱-d)که توسط گروه معماری اس، او، ام، ای۵ طراحی شده و شامل نمای متحرک است که با تغییر شکل تیغه ها نور روز را کنترل می کند. (نیپرز، ۲۰۱۲:۱۰۷) تصویر شماره ۱ را ببینید.

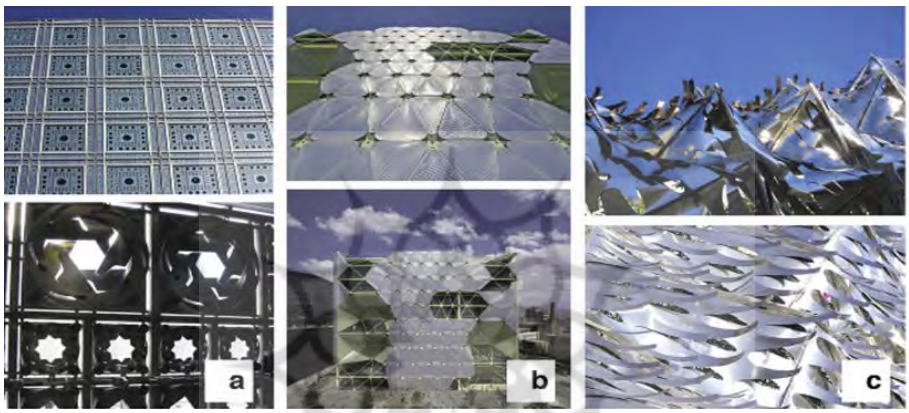


تصویر شماره ۱. ساختمان های ساخته شده بر اساس الگوی زیست شناختی. (بادرنه، ۲۰۱۶:۶۰۲-۵۹۵)

مثال دیگرموسسه عرب در پاریس (تصویر شماره a-۲) که در سال ۱۹۸۷ توسط جان نول کامل شد که یکی از اولین و شناخته شده ترین نمونه در زمینه اجرای نمای فعال است که بر اساس پاسخگویی اتوماتیک توسط سنسورهای محیطی است. سایه بان های کنترل کننده اتوماتیک تغییر شکل تکنولوژیکی الهام گرفته از آفتابگیرهای سنتی عربی است. (لونن، ۲۰۱۰:۳۸) ۲۵۰۰۰ سلول خورشیدی شبیه لنزهای دوربین توسط کامپیوتر کنترل می شوند تا میزان نور را در نمای جنوبی متعادل کنند. (فورتمیر، ۲۰۱۴:۵۵) لونن در پروژه موسسه عرب پوسته های حرارتی –عملکردی را در فضای داخلی قرار داد و در این حالت علت های سازگاری و انطباق

3- kanstaouz Graz
4- Mark Pears
5- BIQ
6- Thematic ocean pavilion
7- SOMA

در تعادل انرژی ساختمان تغییر کرد زیرا رفتار ساکنین در این انطباق پذیری اثر گذاشت و ادراک بصری آنها مورد توجه قرار گفت. . در ساختمان موسسه عرب پوسته ای تی اف ایی[۱](ETFE)در سه سطح و لایه های بادکردنی قرار می گرفت تا شکل ابر عمودی ایجاد کرده و بتواند اشعه خورشید را فیلتر نماید. این سیستم بادکردنی توسط شبکه ایی از سنسورهای حرارتی به طور خودکار فعال است. (لونن و همکاران، ۲۰۱۳:۷۲-۶۸) طبق ازمایش های انجام شده مشخص شد طراحی عملکردی نمی تواند به عنوان نمای انطباق پذیر موفق باشد و پیچیدگی هایی را در سیستم نما ایجاد می کند. بر طبق مطالعات کوئلو وماس (کوئلو و همکاران، ۲۰۰۹:۵۸-۲۵) درباره سایه اندازها پانل های نما مزاحم هستند، به راحتی می شکنند و بسیار خودکار هستند و نمی گذارند ساکنین روی فضای شخصی خود کنترل کافی داشته باشند بنابر این باید به میزانی از انطباق پذیری برسیم که وسائل مکانیکی اختراعاتی جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی باشند. در سال های اخیر مثال های قابل توجهی از پوسته های انطباق پذیر از طریق نماهای متحرک و سازه های دینامیک می بینیم. در اینجا به ۲ پروژه در ارتباط با تجارب آنها و ویژگی های ابداعی و اصلاحی آنها اشاره می کنیم. ساختمان تی، آی، سی [۲](تصویر b) توسط انریک روز گلی [۳]و ساختمان بلوم[۴] (تصویر c) توسط دوریس کیم سانگ[۵] .



تصویر شماره۲-نمونه ایی از مثال های نماهای متحرک در دهه اخیر را نشان می دهد(a)نمای موسسه عرب، (b) ساختمان اداری رسانه تی آی سی، (C) جزییات نصب ساختمان بلوم. (لوپز، ۲۰۱۶:۳)

در مورد اول، ساختمان اداری تی آی سی، معماران در طرح خود معماری قابل اجرا با بالاترین کارایی انرژی را طراحی کردند "پوسته به عنوان نمایش انرژی" به کار رفته است. (مرکز رسانه تی آی سی، ۲۰۱۶) ساختمان از طریق پوسته ای تی اف خود با محیط اطرافش در ارتباط است که به آن بامی از سیستم فتوولتائیک اضافه شده وبا استفاده از چرخه آب باران، انتشار کربن را تا ۹۵ درصد کاهش داده است. (دنت و همکاران، ۲۰۱۴:۳-۱۸۰) سایر ساختمان ها که از پوسته تکنولوژی ای تی اف ای در نماهایشان استفاده کرده اند ساختمان ادن در لندن[۶]، جایی که پوسته شفاف ای تی اف ای یک خرده اقلیم ایجاد کرده است. استادیوم آرنا در مونیخ(هرزوگ و دمرون، ۲۰۱۴) و مرکز بازی های آبی ملی در بیجینگ (آروپ، ۲۰۱۴)مثال های دیگرمعماری در این زمینه هستند. بر خلاف دیگر مثال ها در ساختمان اداری رسانه تی آی سی، پوسته انطباق پذیر باعث کاهش ۶۵ درصدی انتشار دی اکسید کربن شد که علت آن فیلتر خودکار ای تی اف ای بود و همچنین به علت سنسورهای هوشمندی که باعث افزایش کارایی انرژی شدند. پوسته انطباق پذیر بر اساس محورهای جنوب غربی و جنوب شرقی خود را تطبیق می داد. در این ساختمان جایی که اشعه خورشید خیلی شدید است سایه انداز خورشیدی دستاوردی است که مانند ابر با استفاده از سیستم مه و با گاز نیتروژن شرایطی را فراهم می کند تا حرارت خورشیدی به دست آمده تا ۹۰٪ کاهش می یابد. (گلی و همکاران، ۲۰۱۱:۳۷) در مورد سوم ساختمان بلوم

۸- ETFE کوتاه شده عبارت اتیلن تترا فلورو اتیلن است که ماده ای پلیمری است و از بازیافت مواد معدنی به دست می آید و به ورق های شفاف و سبک و محکم تبدیل می گردد.

9- TIC
10- Enric Ruiz Geli
11- Bloom
12- Doris Kim Sung
13-The Eden project

سیستم پاسخگوی محیطی است. این ساختمان با استفاده از مصالح آزمایش شده، نوآوری های سازه ایی و فرم های کامپیوتری الگویی ایجاد کرده است که پاسخگوی مسائل زیست محیطی است. این پوسته پاسخگوی تغییرات حرارتی و نور است. یافتن ابزارهای خورشیدی درجه حرارت را تنظیم می کند و نیاز به خنک کننده های مصنوعی را کاهش می دهد. پانل های حرارتی دو فلزی(فلز ترموستات گرماپای) برای تنظیم درجه حرارت ساختمان با روش غیرفعال مورد استفاده است. سازه های متالیک پاسخگوی شرایط محیطی است. انحناها و بازشوها برای تهویه باعث جلوگیری از افزایش درجه حرارت در فضای داخلی می شوند. ساختمان بلوم پتانسیل مصالح هوشمند را برای تغییر شرایط محیطی نشان می دهد در این ساختمان درجه حرارت به عنوان عامل راه اندازی و محرک سبز بدون استفاده از وسائل محرک الکتریکی قادر به ایجاد سیستم پایدار و پاسخگویی شد که از انرژی به دست آمده در سیستم های خنک کننده ساختمان بهره می برد. (لوپز و همکاران، ۳:۲۰۱۵)

۳-۲- تقلید از ساختارهای زیستی طبیعت

اصطلاح Biomimicry (تقلید از ساختار طبیعت) از کلمه یونانی Bios به معنی زندگی و زندگانی می آید و به معنی تقلید و کپی کردن است. این اصطلاح عنوان "انتزاعی از طراحی خوب طبیعت" را تعریف می کند. (وینسنت و همکاران، ۸۲:۲۰۰۶-۴۷۱) و یا "انتظام ضروری با الهام از طرح های طبیعت و فرایند خلق سیاره ای سالم تر و پایدارتر " است. (بنیوس، ۲۰۰۲) گاهی این نظم بخشی در سایر زمینه ها مانند شاخه های مهندسی و پزشکی به کار رفته است به هرحال در سال های اخیر محققین به دنبال استفاده تقلید از طبیعت به عنوان راه حل های معمارانه اند. معمار پیشرو در زمینه اصول تقلید از طبیعت میشل پائولین [۱]است، وی تقلید از اصول عملکردی فرم هایی با ساختار زیستی طبیعت و فرایند آن هاو راه حل هایی که جهت انطباق و پایداری دارند را الگو قرار داده است. (پائولین، ۳۴:۲۰۱۱) کار او نگاهی به دنیای طبیعت است که راه حل هایی را جستجو می کند که چطور ساختمان ساختار کاراتری داشته باشد و سیستم های اتلاف صفر را خلق کند یا برای ساختمان انرژی تولید کند. در سالهای اخیر محققین دیگر تلاش کرده اند تا روش های شناختی متفاوتی را برای توسعه پوسته های ساختمانی بر اساس اصول تقلید از طبیعت ایجاد کنند. در این بخش تعدادی از پروژه ها در ارتباط با پوسته های انطباق پذیر و عکس العمل آنها در تغییرات انرژی و محیط برای فراهم کردن کارایی انرژی توضیح داده شده است. این مثال ها که از گیاهان الهام گرفته اند می توانند جنبشی در زمینه ایجاد سیستم های پاسخگو به تغییرات مداوم محیط زیست باشد. اولین مورد فلکتوفین [۲]است که توسط آی تی کی ای[۳] ساخته شد. (موسسه سازه های ساختمانی و طراحی سازه، ۲۰۱۱) این نوآوری با الهام گرفتن از گرده افشانی گل "پرنده بهشتی" ایجاد شده است. با الهام از این گل، زمانی که نیروی خارجی مکانیکی عمل می کند تغییر شکل برگشت پذیر ایجاد می شود و باعث خم شدن و حرکت که از طبیعت الهام گرفته شده است خواهد شد و کاربرد تکنولوژی از طریق مصالح با تغییر شکل برگشت پذیر این مساله را ممکن می سازد. این برداشت انتزاعی از طبیعت و توجه به اصالت مواد منجر به پروژه فلکتوفین شد. وابستگی به سیستم لوردراپه که نهایتا قادر به تغییر جهت تا ۹۰ درجه بود مسبب استرس های خم شدن ستون اصلی بود که باعث جایگزینی، حمایت یا تغییر درجه حرارت در تیغه می شد. یکی از کاربردهای گسترده فلکتوفین اصولی بود که برای سیستم های سایه انداز خارجی انطباق پذیر داشت. (تصویر ۳a) این مساله امکانات جدیدی را برای استفاده از فرم های ارگانیک آغاز کرد، استفاده از سطوح منحنی دوبلی که با هندسه محدود نمی شد. فواید عملکردی سیستم های سایه انداز بهینه در ساختمان ها می تواند مصرف انرژی در سیستم های خنک کننده مکانیکی را کاهش دهد و انرژی غیر فعال در زمستان به دست آورد، این یعنی پتانسیل بزرگی که منجر به کاهش مصرف انرژی می شود. (نیپرز، ۷:۲۰۱۲، لین هارد۹۷:۲۰۰۹-۳۸۹، شلیچر و همکاران، ۶۰:۲۰۱۵) دومین مورد نمایشگاه موضوعی اقیانوس است. (تصویر ۳b) این ساختمان برای نمایشگاه یوسو [۴]در سال ۲۰۱۲ در کره توسط گروه معماری اس او ام ای با همکاری نیپر هلبیگ با مهندسی پیشرفته ساخته شد. سیستم پوسته سازگار و منطبق آن با الهام از تحقیق روی جنبش های سیاره و مکانیسم های جنبشی و متحرک مانند پروژه فلکتوفین توسعه پیدا کرد. یک سیستم سایه انداز، ساخته شده از صفحات نازک منحنی که میتواند با شرایط نور و کنترل شرایط فیزیکی ساختمان خود را منطبق کند و پاسخگوی شرایط نور خورشید در طول روز باشد. (شیگر و همکاران، ۸۷:۲۰۱۲)

14- Michael Pawlyn
15- flectofin
16- ITKE
17- Yeosu

در نهایت سومین مورد ساختمان نمایشگاه حساس به پدیده های جوی [۱]که پوست خیس[۲] نامیده می شد. (تصویر ۳c) توسط آچیم منگز[۳]با همکارکریگ و ریچرت [۴]مطرح شد. پوسته این نمایشگاه بر اساس مشاهده میوه درخت کاج است که پاسخگویی غیر فعال در برابر تغییرات رطوبت است. پوست خیس ظرفیت پاسخگویی به عنوان مصالح ساختمان را دارد، او از رطوبت نسبی به عنوان محرک سبز برای عکس العمل محیطی استفاده می کند. ابعاد ناپایداری چوب با توجه به میزان رطوبت باعث ساخت پوسته حساس به آب و هوا شد که به صورت خودگردان باز و بسته می شود تا پاسخگوی تغییرات آب و هوا باشد اما نیازمند به هیچ یک از تجهیزات اجرایی انرژی و کنترل کننده های الکتریکی و مکانیکی نیست. روزنه های پوسته پاسخگوی رطوبت نسبی با محدوده ۳۰٪ تا ۹۰٪، تعدیل کردن انتقال نور و قابلیت نفوذ بصری پوسته هستند. (منگز، ۷:۲۰۱۲ریچرت و همکاران، ۶۹:۲۰۱۴-۵۰)

تصویر شماره۳-تصویرa ساختمان فلکتوفین، تصویر b ساختمان نمایشگاه موضوعی اقیانوس، تصویر c ساختمان پوست خیس. (لوپز و همکاران، ۴:۲۰۱۶)

تقلید از ساختار طبیعت راهنمای مناسبی برای افزایش کارایی انرژی با توجه به کیفیت بالای آب و هوای داخل به وسیله یکپارچگی پوسته ساختمان با الهام از اصول یافته شده از طبیعت می دهد. امروزه تکنیک های ساخت و ساز مدرن فرصت های فراوانی در زمینه پوسته های انطباق پذیر که پاسخگوی بهتری در زمینه تغییرات محیطی هستند می دهد در نتیجه به نماها اجازه می دهد "رفتاری" مانند موجود زنده داشته باشند. (لونن، ۱۱۵:۲۰۱۵-۱۳۴) خیلی مهم است به این نکته توجه کنیم که تقلید از طبیعت برای خلق چیزی که دقیقا از طبیعت کپی شده باشد نیست بلکه برداشتی انتزاعی و عملکردی از ساختار طبیعت است. (کندی و همکاران، ۷۳:۲۰۱۵-۶۶)

۴-راهکارهای انطباق پذیری در گیاهان

عدم تحرک گیاهان موضوعی است که باعث می شود آنها نتوانند در تغییرات محیطی از خود حفاظت خاصی نمایند. (تاریکی، نور، رطوبت، باران، آتش، درجه حرارت، سرما، کیفیت و حرکت باد)از این رو انطباق پذیری آنها با محیط اطرافشان نکته ایی است که می تواند مورد توجه قرار گیرد . این تطبیق پذیری بارها در زمان های متفاوت پاسخگوی تغییرات محیطی بوده است. تکامل تدریجی و انطباق پذیری موجودات زنده با محیط اطرافشان در ۳ مسیر اصلی اتفاق می افتد: ریخت شناسی، ساختار فیزیکی و رفتاری. (آزکون و همکاران، ۶۷:۲۰۰۰)

18- Meteoro sensitive pavilion
19- Hydroskin
20- Achim Menges
21- Krieg and Reichert

۴-۱- ریخت شناسی یا ساختار

شکل موجودات زنده، اندازه، الگو یا ساختار آنها به محیط خاص آن ها و عملکرد بهتر آنها برای زنده ماندن بستگی دارد. به عنوان مثال برگ های کرک دار گیاه نر و ماده استوفولیا[۱] (تصویرa۴). این موهای کرکی به علت انعکاس نور خورشید از سطح آنها به کار رفته است که انطباق با محیط گرم و خشک اطراف پیدا می کنند.

۴-۲- ساختار فیزیکی یا عملکردی

این مساله در ارتباط با فرایند شیمیایی ارگانیزم های موجودات زنده است. فرایندهای حیاتی یا سیستم های پاسخگوی انفرادی به محرک های خارجی خاص برای حفظ تعادل حیاتی لازم است. بعضی گیاهان از فتو سنتز CAM[۲](سوخت و ساز کرازولین اسید) برای انطباق با شرایط آب و هوای خشک برای افزایش کارایی استفاده از آب استفاده می کنند و به طور معمول می توان این گیاهان را مانند گل ساق عروس[۳](از گیاهان حاره ایی آمریکا از خانواده‌ایی که گلبرگ های گوشتالو دارند)، را که در شرایط هوای خشک رشد می‌کنند یافت.

۴-۳- رفتاری

مرتبط با چگونگی عملکرد و رفتار موجودات زنده است. این رفتار موجودات زنده برای نجات اتفاق می افتد. این نوع از انطباق پذیری در ارتباط با سیستم بازخورد موجودات است در جایی که نشانه های رفتاری عکس العملی بین ارگانیزم موجود زنده و محیط اطرافشان است. به عنوان مثال بعضی از برگ های گیاهان در مقابل محرک های خارجی عکس العمل نشان می دهند مانند درخت گل ابریشم[۴] (تصویر ۴c) که به عنوان عکس العمل در تماس با چیزی به داخل تا می شوند.

تصویر شماره۴-راه حل های متفاوت انطباق پذیری گیاهان، (a)برگ های کرکی شکل گیاه استوفولیا، (b)برگ های گوشتالو گیاه ساق عروس با فتو سنتز CAM، (c)برگ های درخت گل ابریشم در تماس با عامل خارجی به سمت داخل تا می شود. (لوپز و همکاران، ۶:۲۰۱۶)

تصویر شماره۵-نمونه ایی از انطباق پذیری درختی با ریشه گسترده در مواجه با آب شور(بادارنه، ۴:۲۰۱۷)

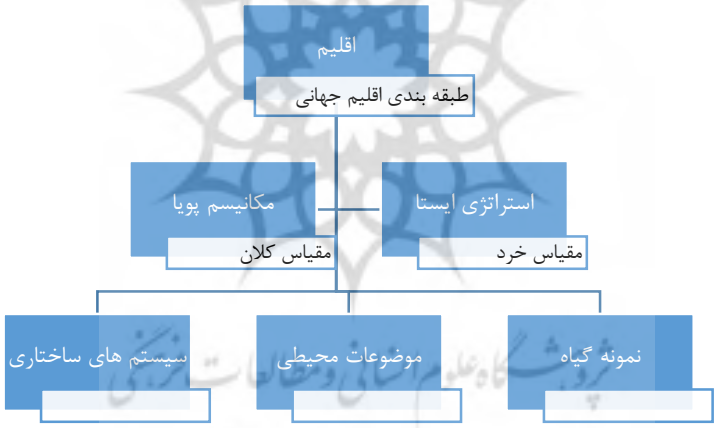
22-Gynandriris stofolia
23- Crassulacean Acid Metabolism
24-Echeveria Glauca
25- Mimosa Pudia

نمونه دیگر درخت از خانواده شاه پسند(از درختان منطقه حاره ایی بوده و در کرانه تالاب ها می روید)واقع در کاستاریکا، ریشه های درخت در ارتباط مستقیم با آب شور است . تصویر شماره ۵ ته نشست نمک به شکل بلورهای کریستالی روی برگ های قدیمی در حال افتادن دیده می شود نمونه ای از انطباق پذیری فیزیکی است. (بادارنه، ۴:۲۰۱۷)

تصویر شماره ۶-شکل های متفاوت گیاهان با برگ های گوشتی مثالی از انطباق پذیری ریخت شناسی گیاهان است که در آب و هوای سخت و خشک سازگاری می یابند. از سمت چپ به راست:گیاه Axsom، Topinambour، Johanssont، Mattdooley . (بادرنه، ۴:۲۰۱۷)

۵- گذر از طبیعت به معماری

طبقه بندی و سازمان بندی اطلاعات زیست ساختاری به دست آمده فرایند چالش برانگیزی است و اولین دستاوردی است که ما را قادر می سازد بتوانیم راه حل های موجود در طبیعت را به عنوان راه حل های معماری به کار ببریم. گیاهان برای انطباق خود با محیط پیرامون شان از مکانیسم پویایی و استراتژی ایستایی استفاده می کنند. این دو دستاورد اصلی به دو مقیاس خرد و کلان تقسیم می شود.



جدول شماره۱-دیاگرام نمایش جمع آوری اطلاعات و طبقه بندی آنها. (لوپز، ۱۴:۲۰۱۵)

از سیستم طبقه بندی برای دسته بندی راههای مختلفی که گیاهان تطبیق یافته اند و عکس العمل آنها در محیط را نشان می دهد بهره می بریم. (جدول شماره۱) این کار با هدف سازمان دهی مثال های زیست شناسی بر اساس تطبیق آنها با شرایط آب وهوایی و موضوعات محیطی و همچنین دستاوردهای این جنبش و اصول زیست ساختاری اصلی صورت می گیرد.

۵-۱- مکانیسم پویا

گیاهان به محرک های خارجی از طریق حرکت پاسخ می دهند که گرایشات یا واکنش های جنبشی گیاه نامیده می شود، بر این اساس حرکت یا پاسخگویی بستگی به جهت و موقعیت محرک دارد. تمرکز در این پژوهش روی گیاهان پاسخگو است آنهایی که نمایش سریع و حرکات واکنش پذیر دارند و این اتفاق قابل مشاهده و محسوس است. بعضی گیاهان در برابر نور، درجه حرارت یا آب عکس العمل نشان داده و تغییرات آنها از طریق واکنش آنها در مقیاس قابل رویت بدون میکروسکوپ و با میکروسکوپ قابل

بررسی است. به عنوان مثال دانه های بسیاری از گل های نیمروز[1]، در برخورد با آب باران به عنوان محرک پراکنده می شوند (تصویر 7a) و برگ های گل صد تومانی[2]، در تماس با درجه حرارت لوله می شوند(تصویر 7b) دو نمونه از مثال های مکانیسم پویا در مقیاس کلان هستند. از سوی دیگر، حرکت و جنبش روزنه ها (تصویر 7c) در پاسخ به آب، نور، درجه حرارت، دی اکسید کربن مثال هایی از مکانیسم پویا در مقیاس خرد هستند. (وگل، ۲۷:۲۰۱۲)

تصویر شماره۷-بعضی از مکانیسم های پویا، (a)دانه های گل نیمروز، (b)برگ های گل صد تومنی، (c) روزنه برگ های گیاه بتولا سلدیبریکا[3]. (لوپز و همکاران، ۷:۲۰۱۷)

۵-۲- استراتژی ایستا

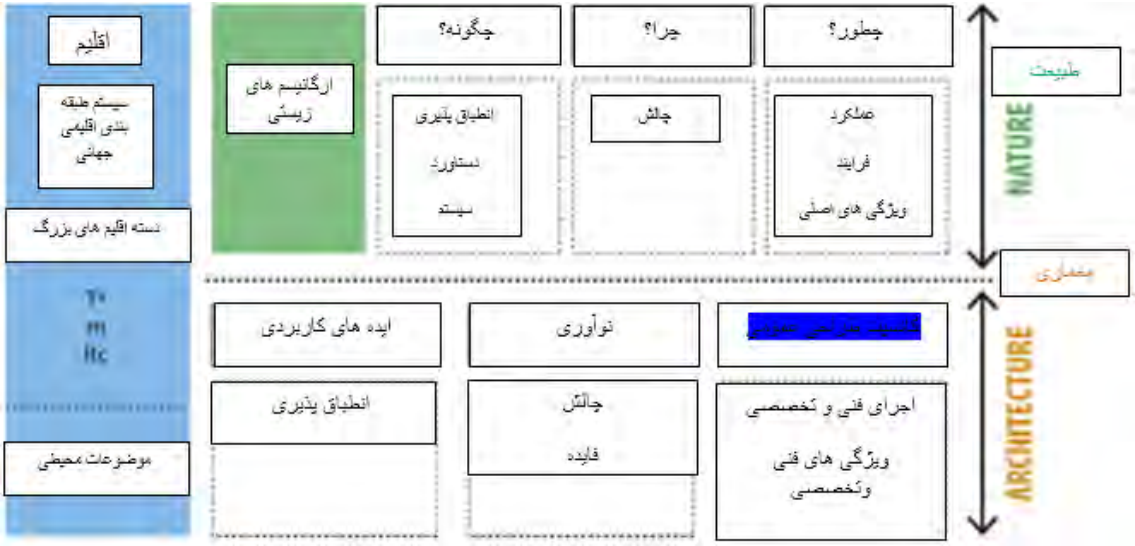
در اینجا روی خواص چند عملکردی و ساختار سطوح برگ گیاهان تمرکز می کنیم. گیاهان مناطق گرم و خشک انطباق های متفاوتی با شرایط دشوار مکان خود دارند. سطوح گیاهان بیش از یک راه حل برای شرایط محیطی خود دارند که می تواند شامل انعکاس نور، سطوح گیاهان آب گریز و آب دوست باشد. (گیبسون، ۶۷:۲۰۱۲) گیاه فنستریا روپالوفیا[4] (تصویر8a) و گیاه کراستیوم تومنتوزیوم[5](تصویر 8b) نمونه هایی از استراتژی ایستا در مقیاس کلان هستند که راه حل های متفاوتی برای فیلتر کردن نور خورشید در داخل گیاه یا حفاظت گیاه از نور مستقیم خورشید و مانع بخار شدن اضافی آب در اقلیم گرم و خشک دارند. برگ گیاه کلوکازیا اسکولنتا[6] (تصویر8c) خاصیت ضد آبی دارد و همچنین مشهور است به اثر لوتوس که در نتیجه گیاه خود تمیز کن است که دارای ذرات نانو می باشد و مثال مناسبی از استراتژی ایستا در مقیاس خرد می باشد.

تصویر شماره۸-بعضی استراتژی های ایستا، (a)برگ های شفاف گیاه فنستریا روپالوفیا، (b) سطوح کرکی گیاه کراستیوم تومنتوزیوم، (c) برگ های ضد آب گیاه کلوکازیا اسکولنتا . (بوشان، ۸۶:۲۰۰۹)

۶- آفرینش مفهوم طراحی

بعد از جمع آوری داده ها و اطلاعات از گیاهان و سازماندهی آنها و اینکه چگونه به محیط اطرافشان عکس العمل نشان می دهند، طرح تقلید از ساختار طبیعت را می توان آغاز کرد. این روش به طراحی برای پوسته های سازگار وانطباق پذیر معماری منجر می شود. تصویر ۹ امکان انتقال بین اطلاعات زیست شناختی و کاربرد معماری آن را نشان می دهد. چهار مرحله متفاوت در میان فرایند کپی برداری و تقلید از طبیعت از ساختار زیست شناختی تا معماری وجود دارد: تجزیه، ترکیب، ارزش یابی، اجرا. (اسپک، ۳-۱۱:۲۰۰۸)

26- Mesembryanthemums
27- Rhododendron
28- Betula Celdebrica
29- Fenestraria rhopalophylla
30- Cerastium tomentosum
31- Colocasia esculenta



تصویر شماره۹-دیاگرام نمایش اهداف کلی ایده طراحی. (لوپز و همکاران، ۷:۲۰۱۶)

در نتیجه می توان روش کار را به دو مرحله اصلی تقسیم کرد. اولین مرحله به طبیعت اشاره می کند و به چگونگی سازگاری گیاهان و به سیاست ها و مکانیسم آنها در اقلیم های متفاوت می پردازد. دومین مرحله به معماری اشاره دارد و به اینکه چگونه می توان ایده های انتخاب شده را تغییر شکل داده و خلاصه کرد تا راه حل های نواورانه ایی برای ساختمان ها ایجاد کرد. مرحله مربوط به طبیعت بیشتر تجزیه و تحلیل مفاهیم علمی است و ترکیب می شود با مرحله معماری که بیشتر خلاقیت و استنتاجی است. داده های آب و هوایی به طور مستقیم در هر دو مرحله معماری و طبیعت در نظر گرفته می شود زیرا هدف سازگاری در محیط است.

۶-۱- اقلیم

اقلیم شناسی زیستی یا جغرافیای گیاهی علم زیست شناسی است که به ارتباط بین اقلیم و انتشار گونه های زنده روی زمین می پردازد. جغرافیای گیاهی علمی است که به جامعه گیاهان، ارتباط بین محیط و فرایندهای موقت اصلاح آنها می پردازد. (آزکون-بیتون، ۴۵:۲۰۰۰) اساس موفقیت گیاهان توانایی مقابله با محیط شان است، این توانایی به ساختار فیزیکی و انطباق آنها به محیط بستگی دارد بنابر این زمینه اقلیمی گیاهان انتخاب شده بسیار مهم است . طراحی اقلیمی یکی از بهترین دستاوردها برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان ها است. (اومر، ۸۷:۲۰۰۸) در این راه متغیرهای مختلفی وجود دارند شامل درجه حرارت، میزان بارندگی و رطوبت و. . این اطلاعات به طور خاص به عنوان عناصری مقدماتی به تحلیل زیست شناختی همانند اهداف معماری مربوط هستند. یکی از مهمترین مسائل اصول فیزیولوژیکی است که به مطالعه ارتباط بین گیاهان و اقلیم با عوامل فیزیکی و فیزیولوژیکی محیط و ارتباط بین آنها می پردازد و می تواند روی میزان انتشار آنها موثر باشد. عوامل اقلیمی شامل شدت و میزان تناوبی گرما و نور، میزان بارندگی و رطوبت نسبی، همچنین باد یا دوره یا مدت زمان فصول است. این عوامل باعث چگونگی انتشار گیاهان در اقلیم های متفاوت است و به بیان دیگر اقلیم شناسی زیستی است و می تواند به عنوان منبع سیستم طبقه بندی اقلیم شناسی زیستی در نظر گرفته شود. (ریواز-مارتینز، ۱۲:۲۰۱۱) زمینه اقلیمی گونه های گیاهی اولین اطلاعاتی است که نقشه گسترش مفهوم طرح را تشریح می کند. این توضیحات شامل نوع اقلیم زیستی کلان و ویژگی های آن مطابق سه پارامتر است:

T (میانگین درجه حرارت سالانه به درجه سانتی گراد)، m(میانگین حداقل درجه حرارت سردترین ماه سال)،

Itc (میزان شاخص گرمایی) و همچنین موضوع محیطی را به عنوان محرک"سبز" که منتهی به سازگاری و انطباق می شود را مشخص می کنیم شامل تاریکی، نور، رطوبت، بارندگی، آتش، درجه حرارت، سرما، حرکت و کیفیت باد.

این اطلاعات اقلیمی به عنوان نقطه شروع و کلید اصلی این تحقیق است زیرا گیاهان استراتژی های منحصر به فردی برای مواجه با اقلیمی که در آن زیست می کنند دارند و می توان این سازگاری منحصر به فرد را توسعه داد و در پوسته های ساختمانی در مکان های متفاوت به کار برد.

۶-۲- مرحله نخست: طبیعت

این اولین مرحله مروری بر کشف زیست شناختی موجودات زنده و گیاهان است که مطابق سه سوال مهم سازماندهی شده است. تجزیه و تحلیل انطباق پذیری گیاهان چیست؟ چرا گیاهان چنین انطباقی را انجام می دهند؟و چطور گیاهان این عملکردهای خاص را توسعه می دهند؟ در سوال اول به توضیحات عمومی سازگاری وانطباق گیاهان از طریق تجزیه و تحلیل داده هایی مانند نوع سازگاری و انطباق عمومی (ریخت شناسی، فیزیولوژی یا رفتاری) و دستاوردهای مکانیسم پویا و استراتژی ایستا در مقیاس خرد و کلان پرداخته می شود و همچنین سیستم ساختاری مکانیسم روزنه ها و ساختارهای منعکس کننده و سطوح جذب کننده توضیح داده می شود. در سوال دوم چالش زیست شناسی عملکرد مشخصی را کشف می کند و به بیان این که گیاهان چه چالشی را برای نجات خود در آن منطقه اقلیمی دارند می پردازد. این چالش ساختاری تعیین شده و به طور مستقیم نمایش داده می شود. در سوال سوم به نحوه عملکرد خاص گیاه در جهت توسعه و گسترش آن می پردازند به عنوان مثال چطور گیاهان مدیترانه ایی آب را به دست آورده و مدیریت کرده و ذخیره می کنند. چطور ممکن است که از بی آبی یا چالش بزرگ اختلاف درجه حرارت در شب و روز نجات پیدا کنند. برای درک چنین رفتارهای خاصی در جهت انطباق و عملکرد خاص ارتباط بین ساختار، ریخت شناسی و عملکرد تجزیه و تحلیل می شود. از مقیاس مشاهدات کوچک و استفاده از اسکن الکترونی میکروسکوپ تصاویر کوچک می توان به عنوان ابزار مناسبی برای دستاوردهای استراتژی ایستا استفاده کرد و به این ترتیب می توان عملکرد مکانیسم ها و استراتژی ها، بازشوها، منعکس کننده ها، کنترل کننده ها یا جذب کننده ها را استخراج کرد. عملکرد با موفقیت مفهوم طرح مشخص و تعیین خواهد شد و فرایند نشان می دهد که چطور این ارگانیسم ها انطباق خاص خود را با محیط توسعه می دهند و همچنین شرایطی را فراهم می کنند تا بفهمیم چرا این گیاهان قادر به نجات خود در اقلیم های خاص هستند، در نهایت خصلت اصلی گیاه و نحوه اجرای آن مشخص می شود. (گیبسون، ۶۸:۲۰۱۲)

۶-۳- مرحله دوم: معماری

بر اساس اصول اصلی سازگاری و انطباق پذیری گیاهان، در مرحله دوم قادر هستیم به طور مشابه از مفاهیم اصلی برداشت کرده و آن را تغییر شکل داده و در راه حل های تکنیکی و اجرایی برای پوسته های معماری انطباق پذیر در آینده به کار بریم. این مرحله با سه راه کار مهم اجرایی می شود: ایده های کاربردی، نوآوری و تصور کلی طراحی.

۶-۴- راهکار اول: ایده های کاربردی

ایده های کاربردی نوعی از سازگاری را برای پوسته های سازگار پویا یا پوسته های انطباق پذیر ایستا پیشنهاد می دهد. قبلا توضیح داده شد که چطور گیاهان انطباق پذیر می توانند بر اساس جنبش و تغییرات محیطی خود را سازماندهی کنند. پوسته های انطباق پذیر معماری می توانند بر اساس هدف به ۲ گروه تقسیم شوند. رفتار انطباق پذیر می تواند بر اساس حرکت مکانیسم پویا یا ویژگی های مصالح از طریق استراتژی ایستا باشد. نوع اول سازگاری در پوسته های معماری انطباق پذیر بر اساس حرکت قابل مشاهده دقیق بیان می شود و نتیجه این تغییرات در آرایش فضایی و پیکربندی از طریق حرکت بخش های مختلف در پوسته اجرایی می شود. مثال هایی از این نوع حرکت می تواند: تا شدن، سرخوردن، توسعه یافتن، افزایش حجم یافتن، آویزان شدن، رول شدن، متورم شدن، چرخیدن، دوران کردن یا خزیدن باشد. در سایر انواع پوسته های معماری انطباق پذیر تغییرات به طور مستقیم روی ساختار داخلی مصالح اثر می گذارد و همچنین سازگاری و انطباق از طریق ویژگی ها یا خصلت های مخصوص مثل انعکاس نور یا خاصیت جذب یا از طریق تغییر انرژی از یکی به دیگری آشکار می شود. (بادارنه، ۹۶:۲۰۱۵)

۶-۵- راهکار دوم: نوآوری

ضوابط طراحی ساختمان برای پوسته ها می تواند تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش، تهویه یا سیستم های نورپردازی را کاهش دهد. (پاچکو و همکاران، ۷۳:۲۰۱۲) و راه حل مشکل بهینه سازی مصرف انرژی از طریق راه حل های نو آورانه قابل حل است. (عمرانی و همکاران، ۶۹:۲۰۱۶) راه حل های سازگاری و انطباق گیاهان با محیط اطرافشان می تواند به این خلاقیت و نوآوری منجر شود. در نتیجه اهداف بعضی از ایده های نوآورانه بر اساس این چالش های طراحی و فواید آن است. چرا این راه حل های طراحی بهتر از راه حل های موجود پیشین می باشد؟ این راهکار تلاش می کند تا فواید و ویژگی های مثبت روش شناختی طراحی

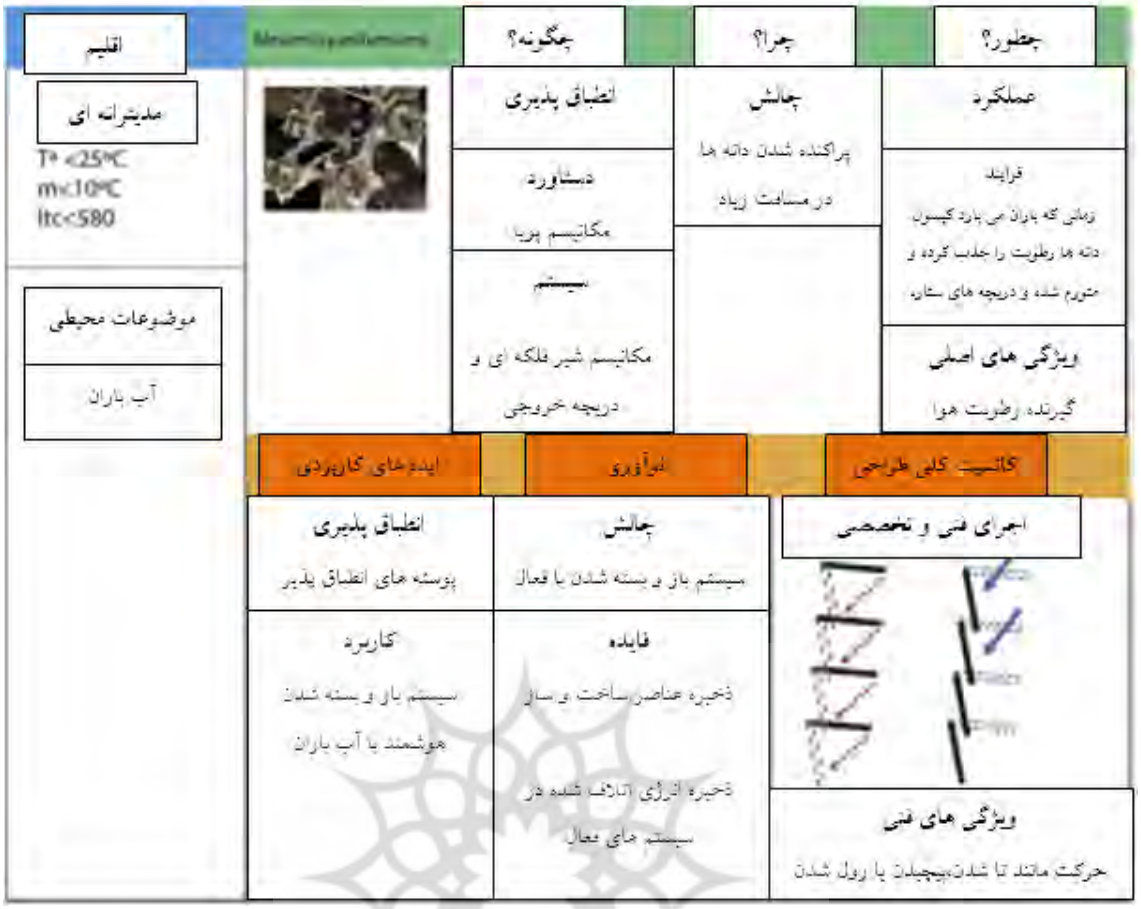
و تقلید از طبیعت برای طراحی پوسته های معماری انطباق پذیر یا برای کاربردهای جدید در مقایسه با سیستم های استاندارد و صنعتی ساختمان در بهینه سازی انرژی را نشان دهد. (بادرنه، ۵۹:۲۰۱۵)

۶-۶- راهکار سوم: تصور کلی طراحی

تصور کلی طراحی از مشاهده ساختار زیستی به دست می آید. بنابر این شامل تغییر و خلاصه سازی ساختار زیستی به شرایط ساخت و ساز معماری است. نتایج ایده طراحی به طور مستقیم از سازگاری گیاهان به دست نمی آید اما مطالعه عملکرد، ریخت شناسی و طبیعت الهام بخش است. فرم های نوآورانه از کشف این فرایندها ضروری خواهد بود. ترسیمات ابتدایی و جزییات ساخت و ساز بر اساس تجزیه و تحلیل گیاهان انطباق پذیر مطابق پرسش های پیشین ساخته می شوند و به منظور امکان شکل دهی و اجرای حرفه ایی به کار می روند. کاربرد صنعتی تعریفی است از ساخت و ساز یا ایده اجرایی که با ویژگی های اصولی و اجرایی حرکت، هندسه، الگوها یا ویژگی های مصالح تشخیص داده می شود. تصور کلی طراحی باید جنبه راحتی را برای رفتار انسان در فضا علاوه بر نیازهای فیزیکی در نظر بگیرد. خیلی مهم است که توجه داشته باشیم رفتار استفاده کننده یک جنبه اساسی است که باید همیشه در تمامی فرایند طراحی تا اجرای اصولی در نظر گرفته شود. برای مثال استراتژی ها برای سیستم های سایه انداز می تواند روی راحتی فضا ی داخلی تاثیر گذار باشد نه فقط آسایش حرارتی بلکه برای ویژگی های بصری نیز بسیار مهم است. (فیوریتو، ۸۶۳:۲۰۱۶) بنابر این ایده های طراحی نه تنها برای حفظ انرژی اجرا می شود بلکه رضایت مالکین نیز بسیار مهم است (آسایش فضای داخلی و بصری، عملکرد آکوستیک یا دسترسی به هوای تازه)عکس العمل متقابل سیستم و ساکنین در بین عوامل انسانی برای کارایی و استفاده موفقیت آمیز از ساختمان بسیار اساسی است.

۷. نمونه های طراحی

موارد طراحی ویژگی های جدیدی را برای راه حل های اصولی و اجرایی متفاوت در زمینه پوسته های معماری انطباق پذیر و پتانسیل های آن باز کرده است و نوع جدیدی از نوآوری های الهام گرفته شده از ساختار زیستی برای کارایی انرژی انجام گرفته است. راه حل های جستجو شده از طبیعت برای توسعه سیستم های جدید برای پوسته های انطباق پذیر به طور گسترده ایی رشد کرده است اما هنوز کاربرد آن در ساختمان بسیار محدود است. به عنوان مثال دو مورد طرح تئوری متفاوت بر اساس راه حل های سازگار شده و انطباق یافته گیاهان انطباق پذیر بیان می شود به امید اینکه این موارد طراحی روزنه روشنی برای امکان کاربرد آن در ساختمان باشد ولی لازم است تحقیق بیشتر روی مصالح جدید و فعال و ایده های جدید و کاربرد آن در ساختمان صورت گیرد. (لوپز و همکاران۸۷:۲۰۱۵) اولین مورد طراحی (تصویر ۱۰) امکان به واقعیت پیوستن پوسته های معماری سازگار از دستاورد های دینامیک را نشان می دهد. دانه های گل نیمروز از آب باران به عنوان محرک استفاده کرده و در اثر برخورد آب به کپسول دانه ها، آنها را در آب پراکنده می کند و مانند مکانیسم شیر فلکه تانک های کپسول دانه ها در محیط پراکنده می شود، بر این اساس سیستم باز و بسته شدن هوشمند در ساختمان ها پیشنهاد می شود. این گیاهان در اقلیم مدیترانه ایی زیست می کنند و زمانی که باران می بارد کپسول دانه ها رطوبت را جذب می کند و متورم می شود و این تورم باعث شده شکل ستاره ایی دریچه های خروجی باز شود . پوسته آب سازگار شده جدید توسط رفتار مصالحی که از آب باران به عنوان محرک باز و بسته شدن خود استفاده می کنند نوعی راه حل مکانیسم پویا است که منافع معمارانه ای را شامل ذخیره یا کاهش تعداد پنجره های ساخته شده همانند پنجره های مستقل یا اتوماتیکی که سازگار با تغییرات و شرایط محیطی در ساختمان هایی است که در شهرهای بارانی قرار گرفته اند مطرح می کند.

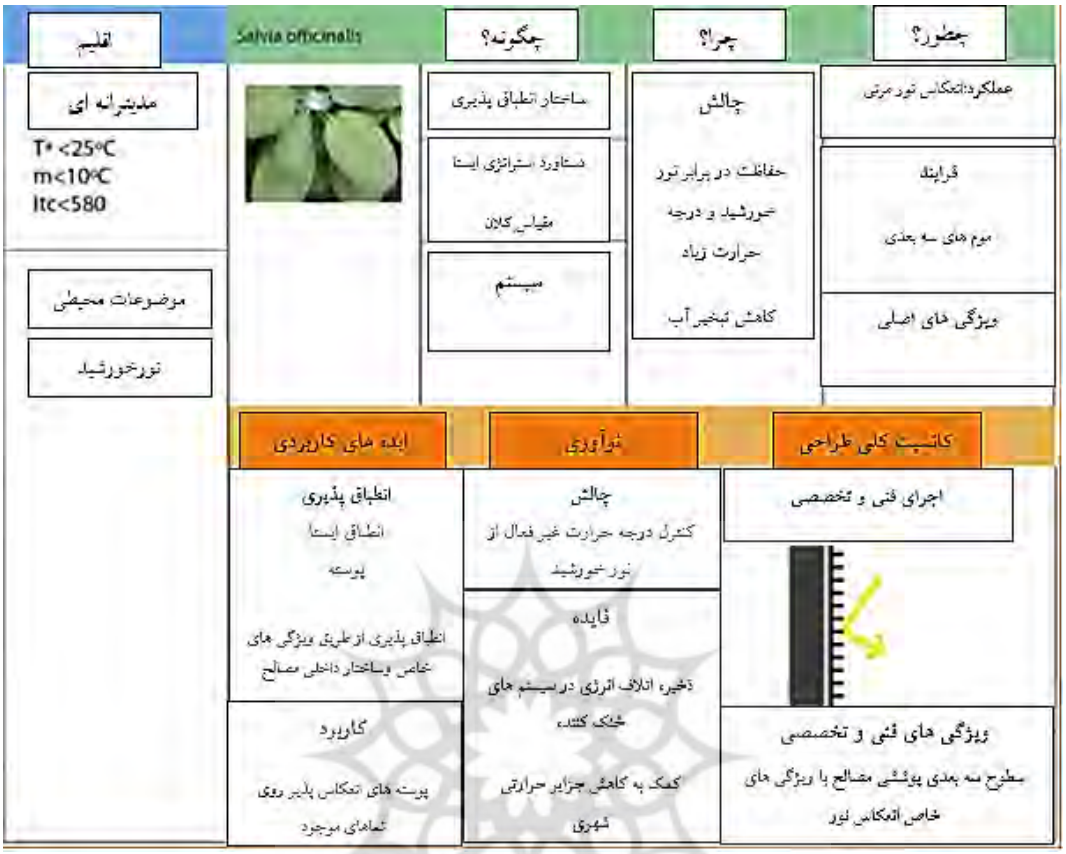


تصویر شماره ۱۰-دیاگرام طراحی دینامیک برای طراحی بازشوهای پوسته های هوشمند با محرک آب باران. (لوپز و همکاران، ۹:۲۰۱۶)

راه حل ساده و کارای دیگر برای بهینه سازی انرژی ساختمانی بهبود عایق حرارتی پوسته ها است. (سادینی و همکاران، ۳۱:۲۰۱۱) دومین مورد طراحی (تصویر ۱۱) امکان به وقوع پیوستن واقعی سیستم درجه حرارت پاسخگو و انطباق پذیر را نشان می دهد. این یکی از فواید انطباق پذیری با تغییرات سطوح درجه حرارت غیرفعال است. بر اساس بعضی از گیاهان اقلیم مدیترانه ایی مانند بوته گل مریمی[۱] و گیاه کالانچو[۲] پوسته های انعکاس پذیر بر روی نماهای موجود برای نوسازی و بازسازی پیشنهاد می شود. این گیاهان ساختار انعکاس پذیر گسترده ایی دارند که آنها را در برابر نور شدید و درجه حرارت زیاد محافظت می کند. این محافظت توسط موم های روی سطح یا تراکم پوشش زیاد کرک هایی که با هوا پر شده اند صورت می گیرد. این نوع راه حل ها یک دستاورد و راهکار ایستا است که منافع معمارانه زیادی شامل ذخیره انرژی یا کاهش هدر رفت انرژی در سیستم های خنک کننده ساختمانی در اقلیم گرم و خشک شهرها دارد و علاوه بر آن به کاهش شکل گیری جزایر حرارتی در شهرها کمک می کند. توجه به انتخاب مصالح برای اجرایی شدن این ایده های طراحی بسیار مهم است که آنها باید سازگاری با منافع محیط زیستی داشته باشند تا بتوان در تقلید از طبیعت از آنها استفاده نمود. [۳]در سالهای اخیر تعداد زیادی مصالح هوشمند ایجاد شده اند مانند آلیاژ های شکل گرفته با حافظه جانبی(SMA)، پلیمر های شکل گرفته و قالب یافته با حافظه جانبی(SMP)، مصالح فیزوالکتریک (هنگام قرارگرفتن در معرض فشار مکانیکی یک ولتاژ تولید می کنند)، مصالح با تغییر ابعاد فلز مغناطیس شده در میدان(مصالح با تغییر شکل بر اثر مغناطیس)، مصالح برق رسان یا پلیمرهای فعال الکتریکی. (ادینگتون وهمکاران، ۲۳:۲۰۰۴) سایر مصالح هوشمند غیر الکتریکی مانند فیبرهای شیشه ای، فوم های پلیمر سلولزی یا مصالح ارگانیک مانند مصالح تغییر فاز دهنده به عنوان مواد

32- Salvia officinalis
33-Kalancho pumila

حرارتی یا تکنولوژی های ذخیره حرارتی متاخر به کار برده می شوند و بیشتر در ساختمان هایی با پوسته های ذخیره انرژی غیرفعال کاربرد دارند. (ماوریجیانکی و همکاران، ۸۵۲:۲۰۱۶)



تصویر شماره۱۱-دیاگرام طراحی ایستا برای پوسته های انعکاس دهنده در محیط گرم و خشک. (لوپز و همکاران، ۱۰:۲۰۱۶)

مصالح فعال که پاسخگوی تغییرات خارجی هستند راه های معنی داری برای برقراری پل ارتباطی بین الهام از طبیعت و گیاهان برای اجرای تکنیکی و پوسته های معمارانه انطباق پذیر جستجو می کنند. مصالح فعال که با تنظیم خود به عنوان محرک هستند با ویژگی های ذاتی، ظرفیت اجرایی و رفتاری در برابر شرایط و تغییرات محیطی عکس العمل نشان داده و مانند محرک های"سبز" در مصالح فعال با تغییرات قابل برگشت عمل می کنند. (لوپز و همکاران، ۶۹:۲۰۱۵)

۸ – نتیجه گیری

این مقاله مروری بر فواید پوسته های انطباق پذیر معماری است که بر اساس اصول تقلید و کپی برداری از طبیعت (پروژه های ساخته شده و کارهای تحقیقاتی دانشگاهی)و با هدف روش شناختی دستاورد طراحی های جدید منطبق با طبیعت برای پوسته های انطباق پذیری که رفتار و عکس العملی با محیط اطرافشان دارند و باعث کاهش نیاز به انرژی در ساختمان می شوند، انجام شده است. برخلاف سایر مطالعات تقلید از طبیعت، این تحقیق تنها بر روی برگ های گیاهان و استراتژی های انطباق پذیری آنها در اقلیم های متفاوت تمرکز کرده است. گیاهان مانند ساختمان ها فاقد حرکت هستند و در مکان خاص خود باقی می مانند و در برخورد مستقیم با عوامل و تغییرات محیطی باید در برابر شرایط آب و هوایی مقاومت کنند. بنابر این استراتژی گیاهان برای مواجه با اقلیمی که در آن زیست می کنند مطالعه شده و تلاش شد که انطباق پذیری منحصر به فرد آنها در پوسته های ساختمانی در مکان‌های متفاوت مطالعه شود زیرا طراحی اقلیمی یکی از بهترین دستاوردها برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها است.(اومر،۸۷:۲۰۰۸) پاسخ به تعدادی از سوالات مطرح شده به ما کمک می کند امکان ایده های کلی طراحی برای پوسته های

ساختمانی که بر اساس جنبه های محیطی، شرایط آسایش بر اساس استراتژی های برگرفته از گیاهان انطباق پذیر تنظیم شده است . در این مقاله دیاگرام هایی برای فهم و درک اینکه چطور درس هایی از سیستم های گیاهی برای خلق پوسته هایی منطبق با عملکرد گیاهان ارایه شده است . چندین گام برای انتقال اصول زیست شناختی به منابع معمارانه مطرح شد و در بخش مثال ها ایده های طراحی کلی، مکانیسم پویا برای باز و بسته شدن پوسته ها با آب باران و استراتژی ایستا با پوسته های انعکاس پذیر روی نماهای موجود به کار برده شد. این موارد طراحی شامل مطالعه خاصی روی انطباق گیاهان در محیط های خشک یا بارانی بود که راه های جدیدی برای حفظ انرژی و کاهش تعداد عناصر ساخت و ساز در ساختمان های قرار گرفته در اقلیم بارانی یا ذخیره اتلاف سیستم های خنک کننده در ساختمان های قدیمی در شهرهای گرم و خشک را با ملاحظه فاکتورهای راحتی انسان در محیط داخلی و رضایت آنها مطرح می کند. توجه به شرایط آب و هوایی امکان افزایش کارایی انرژی بیشتر در ساخت دیوارهای خارجی ساختمان ها با تقلید از طبیعت را مطرح می کند. برخلاف نماهای ساختمان های قدیمی که منطبق با فرایندهای سنتی است این مقاله چندین مکانیسم و استراتژی برای چالش طراحی مطرح می کند، ایده های جدیدی برای بهینه سازی و افزایش کارایی انرژی در پوسته ها با الهام از گیاهانی که پاسخگوی شرایط مختلف محیطی هستند و امکان اجرایی شدن اصولی و تکنیکی آن در معماری را نشان می دهد. پوسته های معمارانه انطباق پذیر پیشرفته می توانند در آینده به عنوان گزینه ای به جای پوسته های سنتی و مرسوم که ویژگی های ایستایی دارند و راه حل بهینه ایی برای کارایی انرژی نیستند به کار روند. دستاوردهای طراحی انطباق پذیر می تواند به کاهش پیچیدگی ها و هزینه هاو اتلاف گرمایش، سرمایش، تهویه یا نورپردازی منجر شود و بنابر این در مدیریت ذخایر انرژی ساختمان بسیار با اهمیت است. . به هر حال انتقال راه حل های تکنیکی و اجرایی برای پوسته های معماری انطباق پذیر نیازمند مطالعات زیادی است و نیاز به تجربه کردن تکنولوژی های جدید مثل مصالح چند منظوره سه بعدی، علوم مصالح شناسی پیشرفته و ظرفیت های جدید در نرم افزارهای شبیه سازی است. به طور خلاصه استفاده از اطلاعات و شناسایی گیاهان انطباق پذیر و نقشه طراحی برگرفته از گیاهان برای معماری دیدگاه های جدیدی برای راه حل های اجرایی ممکن می سازد و پتانسیل گیاهان انطباق پذیر در شرایط محیطی با اقلیم خاص برای توسعه پوسته های معماری در همان اقلیم را نشان می دهد. انتقال تئوری ایده های رفتاری انطباق پذیری با پوسته های معماری واقعی و زنده که با محیط شان رابطه متقابل دارند چالش بزرگی خواهد بود. از زمان تحقیق درباره مصالح فعال زمان زیادی برای بررسی نتایج و انجام چالش های اجرای تکنیکی از طبیعت انجام شده است. مطالعات بیشتر نیازمند آزمایش و بررسی ایده ها و اجرای آنها در زمینه ساختمان ها در مقیاس مناسب است و انتظار می رود که راه های جدیدی در ساخت و ساز در ساختمان ها ایجاد کنند.

منابع

1- Addington M,Schodek D. (2004) Smart materials and technologies . for the architecture and design professions . Oxford ,United Kingdom: Architectural Press;p. 21.
2- Allianz Arena ,Herzog &De Meuron ,Projects ,Munich,[Online]. Available: ⟨https://www. herzogdemeuron. com⟩.
3- Arab World Institute ,Jean Nouvel ,Projects ,Paris. [Online]. Available;⟨http:// www. jeannouvel. com⟩.
4- Armstrong R . (2012)Living architecture :how synthetic biology can remake our cities and reshape our lives. TED Books.
5- Azcón-Bieto J,TalónM. (2000)Fundamentosde fisiología vegetal. Barcelona: McGraw-Hill Inter americana
6- BadarnahL,KnaackU. (2008) Organizational features in leaves for application in shading systems for building envelopes. In: Brebbia CA(editor). Proceedings of the fourth International design & nature conference on comparing design in nature with science and engineering . WIT press : South ampton . p. 87˚96.
7- Badarnah L. (2016)Light management lessons from nature for building applications. Procedia Eng;145:595˚602. http://dx. doi. org/10. 1016/j. proeng. 2016. 04. 049.
8- Beesley P. (2006)Responsive architectures :subtle technologies . Canada :Riverside Architectural Press.
9- BloomD. KimSung[Online]. Available: ⟨http://www. dosu-arch. com/bloom. html⟩.
10- Dent AH,SherrL. (2014) Material innovation :architecture Bloom . London: Thames & Hudson. p. 146˚9.

11- BadarnahL,KadriU. (2014)A methodology for the generation of biomimetic design concepts. ArchitSci Rev. http://dx. doi. org/10. 1080/ 00038628. 2014. 92
12- Badarnah L, Fernandez JE . (2015) Morphological configurations inspired by nature for thermal insulation materials. In : Proceedings of the international association for shell and spatial structures (IASS) Symposium 2015 ,Future Visions, Amsterdam.
13- Badarnah L, Nachman Farchi Y, Knaack U. (2010) Solutions from nature for building envelope thermos regulation . In :Carpi A, Brebbia CA(editors). Proceedings of the fifth design & nature conference on comparing design and nature with science and engineering . South ampton : WIT press.
14- Badarnah L. (2012)Towards the LIVING envelope : bio mimetics for building envelop adaptation . Delft University of Technology. .
15- Bar-Cohen Y. (2011), Biomimetics :nature ˚based innovation . New York :CRC Press Taylor & Francis Group.
16- Barozzi, M. ; Lienhard, J. ; Zanelli, A. ; Monticelli, C. (2016) The Sustainability of Adaptive Envelopes: Developments of Kinetic Architecture. Procedia Eng, 155, 275˚284.
17- Berkoz E,YilmazZ. (1987)Determination of the overall heat transfer coefficient of the building envelope from the bioclimatic comfort point of view . Archit Sci Rev;30(4):117˚21.
18- Bhushan B. (2009) Biomimetics :lessons from nature ˚ an overview . Philos TransR Soc ;367:1445˚ 86.
19- Brayer MA, Migayrou F. (2013)Archilab2013:Naturalizing architecture : Hy x, Orleans; 2013.
20- VincentJFV. Stealing ideas from nature,(Volume412of)these ries International Centre for Mechanical Sciences. p. 51˚8. doi: http://www. dx. doi. org/ 10. 1007/978-3-7091-2584-7_3.
21- Cantrell BE, Holzman J. (2015) Responsive landscapes: strategies for responsive technologies in land scape . Architecture. New York: Routledge.
22- Cabeza LF, Castell A, Barreneche C,deGracia A, Fernández AI. (2011) Materials used as PCM in thermal energys to rage in buildings :a review . Renew Sustain Energy Rev2011;15(3):1675˚95. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2010. 11. 018.
23- Coelho M, Maes P. (2009) Shutters : a permeable surface for environmental control and communication . In: Proceedings of the third international conference on tangible andembeddedinteraction,Cambridge,UK;pp. 25-58.
24- Cook, P. ; Fournier, C. (2004) A Friendly Alien: Ein Kunsthaus Für Graz; Hatje Cantz Publishers: Berlin, Germany.
25- Corubusier Le. (1991)Precisions :on the present state of architecture and city planning (1930) ,English translation . Cambridge ,MA :MIT Press.
26- Davies, M. (1981) A Wall for all seasons. Riba J. -R. Inst. Br. Archit. , 88, 55˚57.
27- DeBoer BJ, Ruijg GJ ,Loonen RCGM,Trcka M,Hensen JLM,Kornaa tW. (2011)Climate adaptive building shells for the future ˚ optimization with an inverse modelling approach . In :Proceedings of the ECEEE Summer Study 2011,Belambra Presqu'îledeGiens,France,June2011. ˚ Presqu'îledeGiens: Technische Universite itEindhoven. p. 413˚22.
28- Del GrossoAE,BassoP. (2010)Adaptive building skin structures . IOP Sci Mater Struct.
29- Dent AH,SherrL. (2014)Material innovation :architecture Media-ICT . London: Thames &Hudson. p. 180˚3.
30- Dobzhansky T,Hecht MK,Steere WC. (1968)On some fundamental concepts of evolutionary biology .1sted . Evolutionary Biology,2. . NewYork:Appleton Century-Crofts. p. 34. 29-
31- Ezcurra E. (2006)Natural history and evolution of the world s deserts ,global deserts outlook. United Nations Environment Programme. pp:1˚27
32- Vogel S. (2012), The life of a leaf. University of Chicago Press.
33- European Commission . (2011),Communication from the commission to the European Parliament ,the Council ,the European economic and social Committee and the Committee of the Regions. Energy Road map 2050,Com 2011;2011:885/2. ⟨http://ec. europa. eu/energy/energy2020/roadmap/doc/ com_2011_8852_en. pdf⟩.
34- European Commission . (2011), Communication from the commission to the European Parliament ,the Council ,the European economic and social Committee and the Committee of the Regions. Horizon2020-The Frame work Program for Research(and Innovation).
35- Fernández JE,et al (2007). Materials for aesthetic ,energy-efficient, and self diagnostic buildings. Science2007;315:1807. http://dx. doi. org/10. 1126/ science. 1137542.

36- Fiorito F , Sauchelli M, Arroyo D,Pesenti M, Imperadori M, Masera G ,Ranzi G. (2016), Shape morphing solar shadings :a review . Renew Sustain Energy Rev 2016;55:pp. 863˚84. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2015. 10. 086.
37- Fiorito, F. ; Sauchelli, M. ; Arroyo, D. ; Pesenti, M. ; Imperadori, M. ; Masera, G. ; Ranzi, G. (2016), Shape morphing solar shadings: A review. Renew. Sustain. Energy Rev. **2016**, 55,pp. 863˚884.
38- Fortmeyer R,LinnC. (2014)Kinetic architecture :design for active envelopes . Mulgrave : Images Publishing .
39- Geli ER,RifkinJ. (2010) A green new deal ,from geopolitics to biosphere politics. Barcelona, Actar2010;p. 37.
40- Geli ER. (2011)Cloud9. Media-ICTBuilding,Barcelona,Actar2011.
41- Gibson L. (2008)The hierarchical structure and mechanics of plant materials . JRS oc Interface 2012. Speck T . Process sequences in biomimetic research . C. A. Brebbia , Design and Nature IV. Southampton: WIT Press . p . 3˚11.
42- Gosztonyi S,Gruber P,Judex F,BrychtaM,RichterS. (2010)Bio Skin research potentials for biologically inspired energy efficient façade components and systems, Bio Skin Online Platt form . Project in formation FFG,Vienna⟨http://www. bionicfacades. net//⟩.
43- Grosso AE, Basso P. (2013), Design concepts for adaptive multi-functional building envelopes . In: Proceedings of the 6th ECCOMAS thematic conference on smart structures and materials ,SMART 2013:Turin,Italy.
44- Gruber P,Gosztonyi S. Skining architecture :towards bio inspired facades . WIT Transactions on Ecology and the Environment,vol. 138. WITPress;2010.
45- GruberP. Biomimetics in architecture ˚ inspiration from plants . In : Proceedings of the 6th plant biomechanics conference, Cayenne ;November 2009.
46- Gruber P. (2010), Bio mimetics in architecture ˚ the architecture of life and buildings. Vienna: Springer; http://dx. doi. org/10. 1007/978-3-7091-0332-6
47- GruberP. (2010),Transfer of nature to architecture analysis of case studies . Bio- logical Approaches for Engineering Conference ,University of Southampton, UK.
48- Hasselaar BLH . (2006)Climate adaptive skins: towards the new energy-efficient façade. WITT rans Eco lEnviron ;99:351˚60
49- Imhof B, Gruber P. (2009)BIORNAMETICS-architecture defined by natural patterns. PEEK projectsubmissionAustrianScienceFundFWF2009.
49-Imhof B, Gruber P. (2013) What is the Architect doing in the Jungle ? Bio rnametics Springer Vienna Architecture.
50- ITKE. (2011) Institute of building structures and structural design ,bio-inspired kinematics for adaptive shading systems , Flectofins : a hinge less flapping mechanism inspired by nature,[Online]. Available: ⟨http://www. itke. uni-stuttgart. de⟩.
51- Lienhard J, Schleicher S ,Poppinga S, Masselter T, Milwich M,Speck T, Knippers J. (2011),Flectofin: a hinge less flapping mechanism inspired by nature . IOP Sci Bio inspiration Biomimetics;6(4)
52- Kamal -Chaoui L ,Robert A. (2009) Competitive cities and climate change ,OEC De regional development working papers no,2. OECD Publishing.
53- Kennedy E ,Fecheyr-Lippens D ,HsiungB ,NiewiarowskiPH ,Kolodziej M. (2015), Biomimicry: a path to sustainable innovation. Design Issues,Summer2015,
54- KimD. Sung Metal that breathes, TED x USC. [Online]. Available: ⟨http://www. Ted . com /speakers / doris _ kim_sung. html⟩.
55- Knippers J, Menges A,Gabler M,LaMagna R,Waimer F,Reichert S,Schwinn T. (2012), From nature to fabrication :biomimetic design principles for the production of complex spatial structures . In :HesselgrenL, Sharma S,Wallner J, Baldassini N , Bompa sP ,Raynaud J ,editors . Advances in architectural geometry. Wien New York: Springer. p. 107˚22.
56- Knippers J,SpeckT. (2012) Design and construction principles in nature and architecture . IOP Sci Bio inspiration Biomimetics. p;7.
57- KobayashiH ,Kresling B,VincentJFV. (1988), The geometry of unfolding tree leaves. In: Proceedings of the Royal SocietyB :Biological Sciences. http://www. dx. doi. org/10. 1098/rspb. 1998. 0276
58- KochK,BhushanB,BarthlottW . (2009)Multifunctional surface structures of plants: an inspiration for biomimetics. ProgMaterSci2009;54:137˚78.
59- KriegOD,ChristianZ, CorreaD, Menges A, Reichert S, Rinderspacher K, Schwinn T,(2014) Hydroskin: meteoro sensitive pavilion . In :Proceedings of the Fabricate 2014 Conference Zurich.

60- Leather barrowD,MostafaviM. (2002), Surface architecture. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
61- LeeES, Selkowitz SE. (1998), Integrated envelope and lighting systems for commercial buildings : a retrospective. Paper presented at the ACEEE1998 summer study on energy efficiency in buildings.
62- Lee ES, Di Bartolomeo DL ,Rubinstein FM, Selkowit SE. (2004) Low-costnet working for dynamic window systems . Energy Build;36(6):pp. 503˚13. http://dx doi. org/10. 1016/j. enbuild. 2003. 1. 2. 008.
63- Lienhard J,Poppinga S,Schleicher S,Masselter T,SpeckT ,Knippers J . (2009),Abstraction of plant movements for deployable structures in architecture . In: Thibaut B ,(editor) . Proceedings of the 6th plant biomechanics conference. Cayenne: French Guyana ,pp. 389˚97.
64- Loonen RCGM ,Tr ak M ,C stola D,Hensen JLM. (2013),Climate adaptive building shells: state-of-the-ar t and fture challenges. Renew Sustain Energy Rev 2013;25:483˚93. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2013. 04. 016.
65- Loonen RCGM. (2008), Bio-inspired adaptive building skins, biotechnologies and biomimetics for civil engineering. Springer; http://dx. doi. org/10. 1007/ 978-3-319-09287-4_5.
66- Loonen RCGM . (2010),Climate adaptive building shells ,what can we simulate? Eindhoven (The Netherlands): Technische Universite it Eindhoven.
67- LoonenRCGM ,Favoino F, Hensen JLM, Overend M . (2013),Review of current status , requirements and opportunities for building performance simulation of adaptive facades. J Build Perform Simul ;pp. 68-72.
68- Loonen, R. (2015), Bio-Inspired Adaptive Building Skins. In Biotechnologies and Biomimetics for Civil Engineering; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, pp. 115˚134.
69- López M, Rubio R, Martín S, Croxford B, Jackson R. (2015), Active materials for adaptive architectural envelopes based on plant adaptation principles. J Fa- cade Des Eng;3(1):2015. http://dx. doi. org/10. 3233/FDE-150026.
70- López M ,Rubio R ,Martín S, Cr oxford B, Jackson R . (2015)Adaptive architectural envelopes for temperature ,humidity ,carbon dioxide and light control . In: Proceedings of the 10th conference on advanced building skins,Bern,Switzerland .
71- López M, Rubio R,Martín S,Croxford B, Jackson R,(2016), How plants inspire facades . From plants to architecture :Biomimetic principles for the development of adaptive architectural envelopes,UCI,UK,pp. 3-10.
72- Mavrigiannaki A ,Ampatzi E. (2016), Laten the at storage in building elements :a systematic review on properties and contextual performance factors. Renew Sustain Energy Rev 2016 ; 60:pp. 852˚66. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. . 01. 115.
73- Mazzoleni I. (2013), Architecture follows nature-biomimetic principles for innovative design. New York : CRC Press.
74- Media-ICT Building CZFB22 @,Barcelona ,EnricRuiz-Geli-Cloud9,Projects, [Online]. Available: ⟨http://www. ruiz-geli. com⟩
75- National Aquatics Center(Water Cube), ARUP ,Projects ,Beijing,[Online]. Available: ⟨https://www. arup. com⟩.
76- Menges A. (2012), Biomimetic design processes in architecture : morphogenetic and evolutionary computational design . IOP Sci . Bio inspiration Biomimetics,p-7.
77- Menges A. (2012), Material computation-higher integration in morphogenetic design, architectural design. London : Wiley Academy.
78- Menges A. (2012), Hygro Scope meteoro sensitive morphology . In :Gattegn oN ,Price B, (editors). Project catalogue of the 32nd annual conference of the association for computer aided design in architecture (ACADIA),SanFrancisco. p. 21˚4.
79- Menges A. (2011), Integrative design computation : integrating material behaviour and robotic manufacturing processes in computational design for performative wood constructions . In :Proceedings of the 31th conference of the association for computer aided design in architecture(ACADIA). p. 72˚ 81.
80- Myers W . (2012),Beyond Biomimicry ,Bio Design :Nature, Science, Creativity . Lon- don: Thames & Hudson.
81- Omer A M. (2008), Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. RenewSustainEnergyRev2008;12(6):1562˚87. http://dx. doi. org/ 10. 1016/j. rser. 2006. 07. 010.
82- Rivas-Martínez S. (2011), Worldwide Bioclimatic Classification System. Global Geo- botany;1(1).

83- Omrany H, Ghaffarianhoseini A, Ghaffarian hoseini A, Raahemifar K ,Tookey J. (2016), Application of passive wall systems for improving the energy efficiency in buildings: a comprehensive review . Renew Sustain Energy Rev 2016;62:1252˚69. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2016. 04. 010.

84- Oral GK, Yilmaz Z. (2003), Building form for cold climatic zones related to building envelope from heating energy conservation point of view. Energy Build 2003; 35:383˚8.

85- Paevere, P. ; Brown, S. ; Leaman, A. ; Luther, M. ; Adams, R. (Eds.). (2008), Indoor Environment Quality and Occupant Productivity in the CH2 Building. In Proceedings of the 2008 International Scientific Committee World Sustainable Building Conference, Melbourne, Australia, pp- 21˚25.

86- PachecoR, Ordóñez J, Martínez G. (2012), Energy efficient design of building :are- view. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012;16(6):3559˚73. http: //dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2012. 03. 045.

87- Pawlyn M . Biomimicry in architecture . London :RIBA Publishing;2011.

88- Perez,G. ,Coma,J. ,Martorel,I. ,Cabeza,L. ,F. ,(2014). Vertical Greenery Systems(VGS) for energy saving in buildings: a review ,Renew . Sustain . Energy Rev . 39,pp-139-165.

89- Reichert S ,Menges A, Correa D. (2014), Meteoro sensitive architecture :biomimetic building skins based on materially embedded and hygroscopically enabled responsiveness. Comput-AidedDes2014;60:50˚69. http://dx. doi. org/ 10. 1016/j. cad. 2014. 02. 010.

90- Rheault S,BilgenE. (1990), Experimental study of full-size automated venetian blind windows. Solar Energy;44(3):pp. 157˚60.

91- Sadineni SB ,Madala S ,Boehm RF . (2011),Passive building energy savings :a review of building envelope components . Renew Sustain Energy Rev 2011;15

92- Selkowitz SE. (2001),Integrating advanced facades in to high performance buildings. Lawrence Berkeley National Laboratory.

93- Selkowitz S, Aschehoug O, Lee ES . (2003),Advanced interactive facades ˚ critical elements for future green buildings ?Lawrence Berkeley National Laboratory.

94- Schinegger K, Rutzinger S,Oberascher M,Webe rG. (2012),One ocean: theme pavilion EXPO 2012 . Yeosu , Residenz Verlag.

95- Schleicher S, Lienhard J ,Poppinga S ,Speck T, Knippers J. (2015),A methodology for transferring principles of plant movements to elastic systems in architecture. Comput AidedDes. p-60.

96- SkouA. (2013),Future buildings :tough and smart on energy efficiency . Research*eu results magazine,Issue23,June2013. CORDISUnit,Publications Office of the European Union. ⟨http://bookshop. europa. eu/en/research-eu-results-maga zine-pbZZAC13005/⟩.

97- Stevanovi S. (2013), Optimization of passive solar design strategies :a review . Re- new Sustain Energy Rev2013;25:177˚96. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2013. 04. 028.

98- The Eden Project: The Biomes , Grimshaw Architects ,Projects ,London. [On- line]. Available: ⟨http://grimshaw-architects. com⟩.

99- Torgal, F. P. ; Buratti, C. ; Kalaiselvam, S. ; Granqvist, C. -G. ; Ivanov, V. (2016), Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency; Springer International Publishing: Cham, Switzerland.

100- Ürge-VorsatzD, Cabeza LF,Serrano S,Barreneche C,Petrichenko K. (20150, Heating and cooling energy trends and drivers in buildings . Renew Sustain Energy Rev2015;41:pp. 85˚98. http://dx. doi. org/10. 1016/j. rser. 2014. 08. 039.

101- Ürge-Vorsatz D, Eyre N, Graham P ,Harvey D, Hertwich E, Jiang Y, et al. (2012), Chapter10 ˚ energy end-use: building . Global energy assessment ˚ toward a sustainable future . Cambridge ,UK and New York ,NY ,USA : Cambridge University Press ;Laxenburg ,Austria :International Institute for Applied Systems Analysis. p. 649˚760.

102- Vattam S, Helms M ,Goel A ,Yen J, Weiss burg M. (2008), Learning about and through biologically inspired design . In: Proceedings of the Second Design Creativity Workshop,Atlanta.

103- Vincent J , Bogatyreva O , Bogatyrev N, Bowyer N, Pahl K. (2006) Biomimetics :its practiceandtheory. JRSocInterface2006;3(9):471˚82. http://dx. doi. org/ 10. 1098/rsif. 2006. 0127

104- WangJ, Beltrán, LO, Kim J . (2012),From staticto kinetic: a review of acclimated kinetic buildingenvelopes. Denver. p. 4022˚9.

105- Wigginton M ,Harris J. (2002), Intelligent skins . Oxford :Butter worth-Heinemann.

106- Zhai Z, Previtali J M . (2010), Ancient vernacular architecture :characteristics categorization and energy performance evaluation. EnergyBuild2010;42 (3):pp. 357˚65. http://dx. doi. org/10. 1016/j. enbuild. 2009. 10. 002.

107- Zuk W, Clark RH. (1970), Kinetic architecture . New York :Van No strand Reinhold.