دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۹
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱
نوع مقاله: پژوهشی
صفحه: ۳۸-۲۳

استراتژی و کاربردهای نانو مواد هوشمند برای پوسته‌های ساختمانی سازگار با اقلیم[۱]

حمیدرضا بنی انصاری[۲] اعظم‌السادات رضوی‌زاده* [۳] معصومه فیروزی[۴]

چکیده: نماهای ساختمان به‌عنوان یک جداره، نقش مهمی در حریم وصل بین فضای داخلی و خارجی بنا دارند و به‌صورت مستقیم، سبب بروز عواملی همچون تبادل حرارت فضای درون و بیرون ساختمان، مدیریت، بهینه‌سازی و جلوگیری از اتلاف انرژی در ساختمان‌ها می‌شوند؛ بنابراین پوسته‌های سازگار با اقلیم در طراحی، شبیه‌سازی و دستیابی به زیبایی‌شناسی پویا، بر بهره‌وری انرژی و بهبود کیفی آسایش اقلیمی درون بنا مؤثر هستند. این پژوهش یک چارچوب اکتشافی جهت طراحی نماهای سازگار با اقلیم و مواد هوشمند پاسخگوی حرارتی در پوسته ساختمان است که باهدف استفاده از انرژی محیطی، قادر به ایجاد آسایش حرارتی داخل ساختمان باشد. روش مورداستفاده در این پژوهش بر مبنای روش ترکیبی با بررسی مطالعات موردی بر اساس فرآیند توصیفی- تحلیلی انجام گردیده که برای جمع‌آوری اطلاعات در آن از مطالعات کتابخانه‌ای با روش استدلال منطقی استفاده‌شده است؛ بنابراین تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای روی نانو حسگر هوشمند باقابلیت پاسخگوی حرارتی و ارزیابی ابعاد مختلف نانو مواد، انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن بود که پوسته‌های هوشمند سازگار با اقلیم از حیث تغییرات و شرایط محیطی در اقلیم‌های مختلف جغرافیایی می‌تواند جهت ایجاد آسایش و رفاه و امنیت بیشتر کاربران و صرفه‌جویی در مصرف منابع انرژی، استفاده شود. درنتیجه مصرف انرژی و ایجاد آسایش اقلیمی در هر اقلیم جغرافیایی، تحت کنترل و مدیریت جامع پوسته‌های سازگار با اقلیم قرارمی گیرد.

واژگان کلیدی: پوسته‌های هوشمند ساختمان، نانو حسگر، صرفه‌جویی انرژی، آسایش اقلیمی.

---

[۱] این مقاله مستخرج از پایان نامه نویسنده اول در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی معماری دانشگاه آزاد کاشان با عنوان «طراحی خانه اقلیمی با تمرکز بر پوسته های خارجی ساخته شده با نانو سنسورهای هوشمند زیستی» به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم است.

[۲] دانش‌آموختهکارشناسی ارشد، گروه معماری، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران.

[۳] * استادیار، گروه معماری، واحد کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران؛ نویسنده مسئول:a.razavizadeh@iaukashan.ac.ir

[۴] استادیار، گروه فیزیک، واحدکاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، کاشان، ایران.

۱- مقدمه و بیان مسئله

نماهای تطبیقی نقش مهمی در طراحی ساختمان با کارایی انرژی بالا دارند، نانو حسگرهای هوشمند دارای خواص قابل‌تغییری هستند که به آن‌ها پاسخ می‌دهند، تغییرات محیطی می‌تواند تغییرات اساسی در محیط ساخته‌شده و پارادایم طراحی زیبایی‌شناختی آن در معماری ایجاد کند. در سطح جهانی، بسیاری از گروه‌های تحقیقاتی در دانشگاه‌های مختلفی مانند MIT،IAAC، دانشگاه اشتوتگارت آلمان، تحقیقات در مورد نانو مواد هوشمند را سرعت بخشیده‌اند و برنامه‌های کاربردی مختلفی را ارائه کرده‌اند. بااین‌حال، تنها دو گرایش تحقیقاتی مرتبط با مصالح هوشمند و فنّاوری نانو در معماری می‌توان نام برد: اولین گرایش تمرکز بر آلیاژ حافظه شکل (SMA)[1] برای تأسیسات جنبشی و دومین گرایش برجسته کردن مواد تغییر فاز (PCM)[2] و ظرفیت گرمای نهان آن برای سیستم‌های ساختمانی کارآمد است (Lelieveld, 2013, 85).

استراتژی نمای تطبیقی به طراحی با مواد هوشمند اجازه می‌دهد تا یک سیستم سازگار با محیط‌زیست تولید کند که رفتار رسمی را با عملکرد مرتبط با اقلیم مرتبط می‌کند. در حال حاضر، از پوسته‌های ساختمانی تطبیقی تعریف‌های متفاوتی بیان می‌گردد که اغلب مربوط به روش‌هایی است که پوسته ساختمان به شرایط اقلیمی مختلف مانند گرم و خشک، گرم و مرطوب، سرد و خشک، سرد و مرطوب و معتدل یا نیاز کاربران واکنش نشان می‌دهد. برخی از پژوهشگران پوسته ساختمان سازگار با اقلیم را به‌عنوان پوسته ساختمانی که می‌تواند خود را به‌عنوان تابعی از نیازهای کاربران و باهدف کاهش تقاضای کلی انرژی در شرایط مختلف آب و هوایی وفق دهد، تعریف می‌کنند (Clifford et al., 2017, 175). پژوهشگران پوسته‌های تطبیقی ساختمان را به‌عنوان یک تکامل مورفوژنتیک و انطباق فیزیکی در زمان واقعی یک طرح با محیط اطراف آن، برای دستیابی به یک راه‌حل طراحی همزیستی باانرژی کارآمد و به دنبال بهینه‌سازی مصرف انرژی با در دسترس بودن منابع مادی معرفی می‌نماید (Al-Obaidi et al., 2017, 145).

بنابراین، باید سیستم جدیدی برای پوسته‌های ساختمانی تطبیقی درآیندِ طراحی و توسعه یابد. این توسعه در غالب استفاده از نانو مواد هوشمند در نمای سازگار با اقلیم امکان‌پذیر هست. هدف این پژوهش ارائه یک چشم‌انداز جدید برای ایجاد استراتژی‌های طراحی پوسته با تقویت کاربرد نانو حسگرهای هوشمند حساس به حرارت است. هدف بلندمدت این است که مسیرهایی برای استفاده گسترده از نانو مواد هوشمند پاسخگوی حرارتی در نماهای باانرژی کارآمد و سازگار با آب‌وهوا و توسعه نمونه‌های اولیه یکپارچه برای بهبود جنبه‌های اجرایی و دینامیکی مواد و سیستم برای پوسته‌های ساختمانی ارائه شود (Favoino et al., 2016, 231).

قابلیت مهم نانو مواد هوشمند، ویژگی ذاتی رطوبت سنجی مواد است که شامل توانایی تغییر خواص فیزیکی یا شکل مواد بدون هیچ منبع انرژی است. ضمن اینکه این مواد هوشمند می‌توانند تغییرات شکل برگشت‌پذیر، ناشی از محرک‌های خارجی، مانند گرما را انجام دهند که توسط لوری لوک به‌عنوان پاسخ تطبیقی نامیده شد (Lurie-Luke, 2014,150).

در این پژوهش سعی بر این است که با تبیین رویکردی جدید و تحلیل جامع مفاهیم کلیدی، تئوری‌ها، تعاریف و چارچوب‌های مفهومی، فرآیندی برای رسیدن به درک صحیحی از فنّاوری و تأثیر تحولات آن در آثار معماری به‌عنوان پایه و اصول محتوایی، موردبررسی قرار گیرد. ماهیت روش مورداستفاده در این تحقیق بر مبنای روش ترکیبی مطالعات موردی بر اساس فرایند توصیفی- تحلیلی و برای جمع‌آوری اطلاعات در آن از مطالعات کتابخانه‌ای با روش استدلال منطقی استفاده‌شده است. رویکرد تکنولوژیک در معماری با استفاده از مصالح نوین و هوشمند، جهت پاسخگویی پوسته ساختمان‌ها به تغییرات اقلیمی در تمام

[1] Shape memory alloys

[2] Phase change material

اقلیم‌ها به‌منظور ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بخصوص مصرف منابع انرژی می‌باشد. با این توضیحات عملکردهای حسگر و محرک را می‌توان در یک عنصر نما ادغام کرد. انگیزه اصلی در نگارش این پژوهش اجرای استراتژی‌های انرژی کارآمد با محوریت پاسخگویی حرارتی پوسته‌های ساختمانی می‌باشد، به همین علت این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در ارائه پیشنهاد یک استراتژی نمای ساختمان پاسخگو متفاوت است. بررسی استراتژی‌های تطبیقی در مراجع انتخاب‌شده با مروری بر معیارهای کلیدی مربوط به ورودی، خروجی نانو حسگرها و انواع اجزای برنامه‌های کاربردی مواد هوشمند تکمیل می‌شود. این هدف با ادغام یافته‌ها با گزاره‌های طراحی در یک بحث انتقادی در مورد استراتژی‌های نمای تطبیقی و اعتبارسنجی آن‌ها محقق می‌شود؛ بنابراین به درک نحوه اعمال اصول نظری در پیش‌بینی گونه‌شناسی‌های مختلف نما و تعیین دقیق فرضیه‌های طراحی کمک می‌کند.

۲- پیشینه و مبانی نظری پژوهش

امروزه از فناوری‌های مختلف به‌منظور ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بخصوص در مصرف منابع انرژی، بهره‌های فراوان برده می‌شود و نیز امکان تهیه مصالح مناسب و با ویژگی‌های موردنظر در بخش‌های مختلف ساختمان و تأسیسات و تجهیزات سرمایی و گرمایی وابسته به آن، با توجه به نیازها و خواسته‌های ما برای کاهش مصرف انرژی به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم نقش بسزایی خواهد داشت .پژوهش‌هایی در این راستا نیز انجام گردیده که تعدادی از آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

جدول ۱. پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص پوسته‌های هوشمند

ردیف	نام نگارنده	سال	عنوان
۱	جعفری تبریزی، سمیرا؛ حق‌پرست، فرزین؛ ملکی، آیدا	۱۴۰۱	بررسی نقش سیستم‌های سایه‌اندازی تطبیق‌پذیر در مصرف انرژی و مکانیسم حرکتی آن‌ها
۲	باستان فر، متین، محسنس، منصوره	۱۳۹۴	انعطاف‌پذیر و هوشمندی، ناگزیر معماری آینده، طبیعت
۳	تراز، معصومه؛ تقی زاده، کتایون؛ عزیزی قهرودی، مهرزاد	۱۳۹۴	تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر تهران
۴	رزازی، سمیرا؛ مظفری، فاطمه	۱۳۹۷	پوسته‌های سازگار و انطباق پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت
۵	احمدی، سوفیا؛ کرد جمشیدی، ماریا	۱۳۹۷	بررسی عملکرد نماهای هوشمند در بهینه‌سازی مصرف انرژی
۶	کرمی، نگار؛ زال، محمدحسن؛ احمدنژادکریمی، مجید	۱۳۹۷	نمای متحرک (هوشمند)
۷	JUNGWON YOON	2020	Climate-adaptive Facade Design with Smart Materials
۸	Karam M. Al-Obaidi & Muhammad Azzam Ismail& other	2017	Biomimetic building skins: An adaptive approach
۹	D. Clifford, R. Zupan& J. Brigham& other	2017	Application of the dynamic characteristics of shape-memory polymers to climate adaptive building facades
۱۰	Young-Jin Kimab & Yukiko T. Matsunaga	2017	Thermo-responsive polymers and their application as smart biomaterials

بر اساس (جدول ۱) می‌توان به بررسی سیستم‌های تطبیق‌پذیر در مدیریت مصرف انرژی که با روش توصیفی به استفاده از مصالح بوم آور و محلی پرداخته‌شده و راهکارهایی هم ارائه گردیده است (تبریزی و همکاران، ۱۴۰۰، ۳۰). مقاله دیگری با عنوان انعطاف‌پذیر و هوشمندی، ناگزیر معماری آینده، طبیعت، نگارندگان با استفاده از روش توصیفی و

تحلیلی به نقش مقابله با مخاطرات و عوامل تهدیدکننده آسایش اقلیمی با استفاده از راه‌حل طبیعت برای رفع این عوامل پرداخته است و در ادامه نمونه‌هایی از این بناها را که مورد بهره‌برداری واقع شدند را معرفی می‌کند (باستان‌فر و همکاران، ۱۳۹۴، ۳). در ادامه پژوهشی با عنوان تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر تهران، با استفاده از روش تجربی همراه با بهره‌گیری از شبیه‌سازی و مدل‌سازی با نرم‌افزار، سعی در استفاده از تکنولوژی موجود برای پیاده‌سازی هدف کاهش مصرف انرژی در ساختمان دارد. درنهایت آنالیز حرارتی و برودتی آن‌ها در افزونه دیوار برای طراحی یک نمای کاربردی با چندین ویژگی به‌کاررفته شد (تراز و همکاران،۱۳۹۴، ۵۷). یکی از موضوعاتی که با عنوان پوسته‌های سازگار و انطباق پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت معرفی گردیده است، از روش تحلیلی توصیفی راه‌حل‌هایی بین سازگاری زیست‌شناختی و معماری مطرح می‌نماید و هدف یافتن راهکاری جهت ایجاد نوآوری در طراحی نمای ساختمان‌ها است. این پژوهش مروری 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 که نهایتاً به ارائه راهکار استفاده مناسب از این عوامل رسیده است (رزازی و مظفری،۱۳۹۷،۴). مقاله «بررسی عملکرد نماهای هوشمند در بهینه‌سازی مصرف انرژی» با استفاده از روش تحقیق توصیفی و مطالعات کتابخانه‌ای در پی بررسی این نوع نما است تا با مروری بر نماهای متداولی که هریک به‌گونه‌ای هوشمند شده‌اند و بررسی مکانیسم‌های رفتاری آن‌ها، دریابیم که هر راهکار تا چه اندازه در کاهش مصرف انرژی و پاسخگویی به فاکتورهای محیطی در شرایط متغیر کمک‌کننده است (احمدی و کرد جمشید،۱۳۹۷، ۲). در پژوهشی دیگر با عنوان «نمای متحرک (هوشمند)» به بررسی مزایا و معایب نماهای متحرک هوشمند پرداخته‌شده و همچنین انواع زمینه‌های کاربردی این نماها که در چهار دسته: نمای هوشمند متحرک و کنترل دما، نمای متحرک هوشمند و کنترل روشنایی و دید، نمای متحرک هوشمند و تهویه طبیعی و نمای متحرک هوشمند و تولید انرژی تقسیم‌بندی شده‌اند. (کرمی و همکاران، ۱۳۹۷، ۸).

در پژوهش‌های خارجی می‌توان به پژوهشی در خصوص طراحی نما سازگار با آب‌وهوا با مصالح هوشمند با روش تحقیق علمی و تحلیلی به معرفی انواع مصالح مناسب نماهای سازگار با اقلیم و نحوه کاربرد آن در جداره‌ها و خصوصیات منحصربه‌فرد این مصالح پرداخته و نهایتاً چند نمونه را به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه معرفی نموده است (Yoon hungwon, 2018, 48)

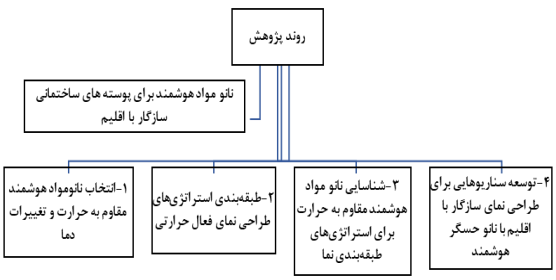
در پژوهشی دیگر با عنوان رویکرد تطبیقی پوسته‌های ساختمانی بیومیمتیک، مروری بر نماهای بیومیمتیک که بر اساس انواع پوشش‌های ساختمانی هوشمند و پاسخگو توسعه‌یافته‌اند اما با توجه به عدم تعریف سازگاری تعریف‌نشده بدون ساختار باقی‌مانده را ارائه می‌دهد. این تحقیق بر اساس بررسی شواهد با تمرکز بر مطالعات منتخب و نتایج اکتشافی با توجه به روش‌های سیستماتیک و تحلیل‌های انتقادی، مانند طبقه‌بندی و مقایسه، برای شناسایی الگوها و روندها است و بینش‌های بیشتری در مورد رابطه بین سیستم‌های بیولوژیکی و پوست ساختمان ارائه می‌دهد (Al-Obaidi et al., 2017,1483).

در ادامه پژوهش کاربرد ویژگی‌های دینامیکی پلیمرهای دارای حافظه شکل در نمای ساختمان‌های سازگار با آب‌وهوا، پژوهشگران به چالش‌های طراحی سیستم‌های نمای تطبیقی با «دینامیک» یا «هوشمند» می‌پردازد. مجموعه‌ای از کاشی‌های ساختمانی خودسایه‌شونده ارائه‌شده‌اند که ویژگی‌های یک کلاس از پلیمرها را ویژگی‌های حافظه شکل مواد هوشمند، کاشی‌های تطبیقی و قابل تنظیم مجدد (SMART Tiles) هستند طراحی‌شده‌اند تا در پاسخ به تابش خورشیدی ورودی به ساختمان سایه، چروک شوند و خود را تغییر مکان دهند اعمال می‌کنند، خواص مواد به همان اندازه مهم است که جنبه‌های دینامیکی کاشی‌های هوشمند جذاب باشد(Clifford et al., 2017,173). نهایتاً در پژوهش پلیمرهای پاسخگو به حرارت و کاربرد آن‌ها به‌عنوان بیومواد هوشمند، کلاس جدیدی از مواد زیستی هوشمند

توسعه‌یافته است و این مواد به تغییرات جزئی در محیط خود بسیار واکنش نشان می‌دهند. مواد هوشمند به دلیل ویژگی‌های قابل‌تغییر پویا، امکان توسعه بیومواد هوشمند را فراهم می‌کنند. بررسی پلیمرهای هوشمند پاسخگو به حرارت و نحوه استفاده از آن‌ها را به‌عنوان مواد زیستی هوشمند موردبحث قرار می‌دهد. پلیمرهای معمولی پاسخگو به حرارت را توصیف می‌کند که یا از نوع دمای محلول بحرانی پایین‌تر، نوع دمای محلول بحرانی بالایی، یا پلیمرهای حافظه شکل ناشی از حرارت هستند (Young-Jin et al., 2018,4315). در این مورد درگذشته پژوهش‌هایی در خصوص انواع نماهای تطبیقی و پوسته‌های ساختمانی توسط پژوهشگران موردتحقیق و پژوهش قرارگرفته است که به نوع مواد و مصالح هوشمند به‌کار برده شده در این پوسته‌ها اشاره‌ای نگردیده و صرفاً به معرفی و تکنولوژی انواع نماها و پوسته‌ها پرداخته‌شده است اما در این پژوهش تمرکز بر روی نانو مواد و نانو حسگرهای هوشمند مقابل استفاده در نما و پوسته‌های هوشمند ساختمانی می‌باشد.

۳- روند پژوهش

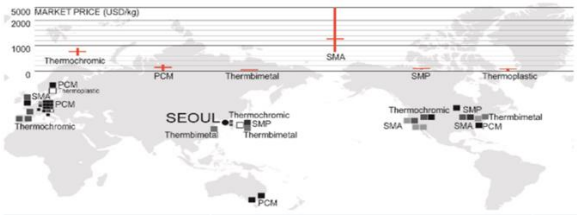
با توجه به توضیحات بیان‌شده در خصوص موضوع و اهداف موردنظر، تحلیل و بررسی نانو مواد جهت انتخاب گزینه‌های مناسب نماهای تطبیقی و استراتژی‌ها و عملکرد نماهای هوشمند در بهینه‌سازی مصرف انرژی و نهایتاً سناریوهایی برای طراحی نماهای سازگار با اقلیم به شرح (شکل ۱) توضیح داده می‌شود.



شکل ۱. روند پژوهش

۳-۱- انتخاب نانو مواد هوشمند مقاوم به حرارت و تغییرات دما

برای انتخاب نانو مواد و نانو حسگرهای هوشمند مناسب، معیارهای متعدی مانند شرایط محیطی، خواص مهم مواد، نرخ کرنش، محدوده دمایی برای تبدیل، هزینه و فرآیندهای تولید، بررسی، طبقه‌بندی و دسته‌بندی می‌شوند. این مطالعه با تمرکز بر فلزات حرارتی[1] آلیاژ حافظه شکل (SMA)[2]، پلیمر حافظه شکل (SMP)[3]، مواد تغییر فاز (PCM)[4] و مواد ترموکرومیک[5] که رنگ‌ها و شفافیت آن‌ها را تغییر شکل می‌دهند یا تغییر می‌دهند، آغاز می‌شود. با بررسی تولیدکنندگان و محصولات نانو مواد هوشمند، اطلاعات نانو حسگر هوشمند حساس به حرارت جمع‌آوری، مستندسازی و مرتب‌سازی شد. نانو مواد هوشمند پاسخگوی حرارتی در کشورهای پیشرفته خاصی مانند ایالات‌متحده آمریکا، آلمان و ژاپن تولید می‌شوند. انرژی نهان، دمای واکنش مشخص، تکرارپذیری چرخه‌ها، کرنش، تنش تحریک و در دسترس بودن رفتار دوطرفه برای ارزیابی کاربرد عملی مواد هوشمند در نماهای سازگار با اقلیم و تغییر فاز را به‌صورت PMC بیان می‌کند (جدول ۱).



شکل ۲. نگاشت منشأ نانو مواد هوشمند پاسخگوی حرارتی و مقایسه قیمت‌های بازار
(Yoon,hungwon. 2018)

خواص و رفتار نانو حسگرهای هوشمند حساس به حرارت، کاربرد آن‌ها، مورفولوژی، فرمت، کنترل پاسخ‌های اعمال‌شده توسط دما، قابلیت استفاده به‌عنوان محرک و خروجی از پاسخ‌ها در (جدول ۲) فهرست شده است.

ترموبی متال، SMA و SMP را می‌توان به‌عنوان اجزای منفرد سیستم‌های نما در ورق‌ها، سیم‌ها و هر فرم تولیدی و

[1] Thermal metals
[2] Shape memory alloys
[3] Shape memory polymer
[4] Phase change material
[5] Thermochromic material

همچنین محرک‌ها اعمال کرد که منجر به حرکات و تغییر شکل‌های دینامیکی می‌شود. PCM و مواد ترموکرومیک را می‌توان به مواد دیگر اضافه کرد و با آن‌ها مخلوط کرد یا در ظروف تهیه کرد، درحالی‌که شفافیت یا رنگ را بر اساس تغییرات دما تغییر می‌دهد. با تمرکز بر پویایی شکل‌دهی یک سیستم نمای سازگار با آب‌وهوا، PCM از مطالعه زیر حذف می‌شود(Lelieveld, 2013, 4) .

جدول ۲. مقایسه نانو حسگرهای هوشمند حساس به حرارت (Temp. Spec به معنی دمای مشخص‌شده برای فعال‌سازی پاسخ است. دمای واکنش ۲۵ درجه سانتی‌گراد پیش گردیده است.)

مصالح			انرژی برحسب kwh/kg	دمای مشخص	چرخه زیستی	مقاومت	مقاومت	هر دو روش
مصرف انرژی	PCM		۴۵-۳۷	*	*			
			۱۰۰- ۱۱۰					
			۲۰۰					
ویژگی تغییرات	ترمو بی متال			*	*	*	*	
	SMA			*	*	**	**	*
	SMP			*	*	***	*	*
	ترمو کرومیک			*	*			

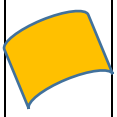
نمای واکنش‌گر در ساختمان‌ها، تأسیسات، اجزا و سیستم‌ها جمع‌آوری‌شده است. همه موارد به سه نوع تجزیه‌وتحلیل، طبقه‌بندی می‌شوند تا روش‌هایی برای اعمال نانو مواد هوشمند حساس به حرارت در پوسته‌های ساختمان به دست آید:

۱ -نوع فعال

۲ -نوع حساس به گرما

۳- نوع نانو مواد و نانو حسگر هوشمند

جدول ۳. مقایسه مواد هوشمند

متریال	ریخت‌شناسی (مورفولوژی)	شکل	کنترل	فعال کننده	خروجی	اقلیم مناسب
PCM		پودر-مایع	فاز		شفافیت	تمام اقلیم‌ها اولویت با اقلیم
ترمو بی متال		ورقه	گسترش-انحنا	*	جنبشی -بازشو	تمام اقلیم‌ها
SMA		سیم-ورق-فنر	اختصار-آرامش	*	جنبشی	تمام اقلیم‌ها اولویت با اقلیم گرم و
SMP		ورق-فرم آزاد	ایستاده-انتقالی	*	تغییر شکل-ارتجاعی	تمام اقلیم‌ها
ترمو کرومیک		پودر-مایع	نظم داخلی		رنگ	تمام اقلیم‌ها

۳-۲- طبقه‌بندی استراتژی‌های طراحی نمای فعال حرارتی

از بررسی مطالعات و پژوهش‌های گذشته و درباره پوسته‌های ساختمانی تطبیقی، واکنش‌گر و فعال، ۶۴ مورد از طراحی با در نظر گرفتن رابطه بین طراحی نما و گرما را می‌توان با توجه به ورودی‌ها و خروجی نانو حسگرها تعریف کرد. همان‌طور

که در (جدول ۳) نشان داده‌شده است، پس از حذف نمونه‌هایی که رابطه قوی با گرما یا جذابیت زیبایی‌شناختی ندارند، ۶۴ مورد که منجر به کنترل گرما به‌عنوان نتیجه می‌شود، انتخاب‌شده است. بررسی عملکرد نماهای هوشمند در بهینه‌سازی مصرف انرژی به دنبال آن است تا با مروری بر نماهای متداول هوشمند و بررسی مکانیسم‌های رفتاری آن‌ها، نشان می‌دهد که هر راهکار تا چه اندازه در کاهش مصرف انرژی و پاسخگویی به فاکتورهای محیطی در شرایط متغیر کمک می‌کند (احمدی و کرد جمشیدی، ۱۳۹۷). در مقاله‌ای دیگر به بررسی مزایا و معایب نماهای متحرک هوشمند پرداخته و همچنین انواع زمینه‌های کاربردی این نماها را در ۴ دسته معرفی می‌نماید:

۱) نمای هوشمند متحرک و کنترل دما
۲) نمای متحرک هوشمند و کنترل روشنایی و دید
۳) نمای متحرک هوشمند و تهویه طبیعی و نمای متحرک هوشمند
۴) تولید انرژی

تقسیم‌بندی شده‌اند (جعفری تبریزی و همکاران، ۱۴۰۱، ۲۷).

جدول ۴. تعداد انواع طراحی نما دارای گرما به‌عنوان ورودی و خروجی نانو حسگرها

نوع طراحی نما	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی
	سایر	کنترل گرما	حرارت- دما	کنترل گرما
فعال	۲۵		*	
هوشمند	۹		۱۴	
فعال+حساس به گرما	*		۸	
فعال+هوشمند	۵		۱	
حساس به گرما+هوشمند	*		۱	
فعال+حساس به گرما+هوشمند	*		۱	

ویژگی‌های کلیدی در نماهای نانو مواد هوشمند، کنترل‌های ورودی به‌عنوان مکانیسم‌های حسگر و فعال‌کننده گرما و خروجی به‌عنوان سناریویی است که در آن پوشش‌های ساختمان تغییر می‌کنند. سازگاری نماها را می‌توان با ویژگی‌های ذاتی، رفتاری و عملکردی نانو مواد هوشمند ایجاد کرد تا امکان تغییر ویژگی در پاسخ به تغییر دما وجود داشته باشد(Ng, 2010, 104). برای به‌دست آوردن بینشی در مورد کاربرد عملی سیستم‌های مواد هوشمند برای نماهای سازگار با اقلیم، ورودی، خروجی و انواع اجزای ۶۴ نمونه، (جدول ۴) تجزیه‌وتحلیل و خلاصه می‌شود. کنترل حرارت با حرکت، تغییر شکل، شفافیت و تغییر رنگ، با ورودی حسگر دما، نور، مکان خورشید، تابش خورشید، رطوبت، باد، صدا، دی‌اکسید کربن، برق، ساکنین و برنامه در مطالعات موردی اجرا می‌شود.

بسته به شکل، عملکرد، مقیاس و محدوده، اجزای نما به پانل، لایه (بریزول)، پره (تیغه)، دیافراگم، غشاء، غشای چندلایه، سلول، پوست و ساختار طبقه‌بندی می‌شوند.

در بحث اقلیم و استفاده از انواع نانو مواد در انواع آب‌وهوا می‌توان گفت که با توجه به هوشمند بودن و قابلیت تغییرپذیری، امکان استفاده مداوم در انواع اقلیم را دارا می‌باشد. این تکنولوژی نما جهت ساختمان‌هایی با انواع کاربری و جهت قرارگیری و هر ارتفاعی مناسب است.

با توجه به اینکه این نانو مواد به همراه نانو حسگرهای هوشمند قابلیت شناسایی عوامل محیطی ازجمله: نور، دما، رطوبت، باد، صدا و الکتریسیته را دارد. به‌طور مثال ترمو بی متال ها نانو فلزاتی هوشمند هستند که با تغییرات دمای محیط واکنش نشان داده و تغییر حالت قرارگیری همانند یک فنر را به خود می‌گیرند. مثلاً اگر به‌عنوان بازشو در اقلیم گرم و خشک مورداستفاده قرار گیرند، ساعاتی که دمای محیط از محدوده مشخص‌شده بیشتر شود و بالای دمای آسایش قرار حالت قرارگیری خود را بدون استفاده از انرژی خارجی تغییر می‌دهند و به‌صورت دریچه‌های باز شونده عمل می‌کنند و اجازه عبور هوا و تهویه طبیعی موردنیاز را می‌دهند و زمانی که در شب دمای هوا کمتر از میزان نیاز باشد به‌صورت هوشمند بسته می‌شوند و از عبور هوا جلوگیری می‌کنند؛ و این مورد در بقیه اقلیم‌ها نیز همین کاربرد را دارد؛ بنابراین

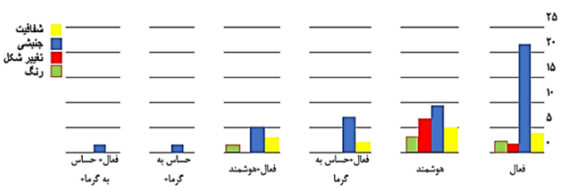
می‌توان گفت که این نوع نماها و نانو متریال‌ها برای تمام اقلیم‌ها قابلیت استفاده کاربردی دارد. انواع طراحی نمای پاسخگو از ۶۴ مورد بر اساس اصول کنترل حرارتی که در (شکل ۳) نشان داده‌شده است مرتب‌شده‌اند.

انواع حرکت‌های متعددی ازجمله چرخش، شعاعی، جابجایی، جمع شدن و استقرار کشف‌شده است. تغییر شکل در این مقاله به چین‌خوردگی، خمش یا پیچش و تورم طبقه‌بندی می‌شود.

جدول ۵. خلاصه انواع ورودی، خروجی نانو حسگرها و اجزای آن

ورودی	خروجی		شاخص
دما/گرما/آب‌وهوا	چرخش	جنبشی	پانل
روشنایی	شعاعی		نوار/ سایه زن
موقعیت خورشید	جابجایی		باله/ تیغه
تابش خورشید	جمع شدن		دیافراگم
رطوبت/رطوبت نسبی	استقرار		*
باد	تاشو	تغییر شکل	غشاء
صدا	خم شدن/پیچیدن		غشاء چندلایه
دی‌اکسید کربن	متورم شدن		*
الکتریسته	شفافیت		سلول
کاربران/ساکنان	رنگ		پوسته
برنامه‌ریزی‌شده/ساعت	تبدیل انرژی		سازه

حرکت، رایج‌ترین اصل خروجی در تمام انواع طراحی نما است که در مطالعه تحلیل‌شده است. این استراتژی به اقدامات کلیدی سیستم نما مربوط می‌شود: تهویه طبیعی، کیفیت حرارتی، کیفیت نور روز، فناوری‌های یکپارچه و مواد و عملکرد انرژی (Gosztonyi et al., 2017, 24).



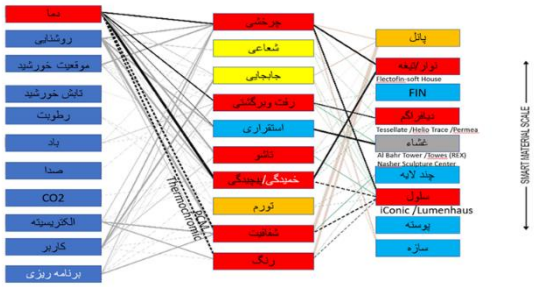
شکل ۳. مقادیر مختلف خروجی کنترل حرارت بر اساس انواع طراحی نما

سپس نتایج تجزیه‌وتحلیل انواع ورودی، خروجی و مؤلفه در قالب دیاگرام مطابق (شکل ۴)، سنتز می‌شود که روابط متمایز بین ورودی و خروجی و خروجی و مؤلفه را برجسته می‌کند، درنتیجه خروجی‌ها و اجزای انتخابی برای ساختمان‌های پاسخگوی حرارتی ایجاد می‌شود. مفاهیم پوست نماهای خودتنظیم با کنترل دمای ذاتی با ظرفیت تطبیقی به‌عنوان یک ویژگی ذاتی اجزای پوسته ساختمان مشخص می‌شوند که به‌طور خودکار توسط محرک‌های محیطی دما با استفاده از نانو حسگرهای هوشمند تحریک می‌شوند (Klooster, 2009,152).

اجزا و خروجی‌های انتخاب‌شده درنهایت مطابق شکل ۳ به‌عنوان عناصر اصلی برای استخراج اصول نماهای سازگار با اقلیم با استفاده از نانو مواد و نانو حسگر هوشمند پاسخگو به حرارت در رویکرد طراحی پایه در نظر گرفته می‌شوند. خروجی‌های انتخاب‌شده را می‌توان در دو مکانیسم مختلف تعریف کرد:

۱) حرکات و ۲) ظاهر سطح.

کاوش طراحی زیر بر مکانیسم قبلی تمرکز خواهد کرد. مؤلفه‌های انتخابی مقیاس‌های کاربردی مواد هوشمند مختلف از انواع واحدهای کوچک تا بزرگ را نشان می‌دهند که مستقیماً به‌عنوان انواع در این مطالعه پیشنهادشده‌اند.



شکل ۴. نگاشت ورودی، خروجی و مؤلفه نما برای انتخاب استراتژی‌های نما تطبیقی

۳-۳- شناسایی نانو حسگرهای هوشمند مقاوم به حرارت برای استراتژی‌های طبقه‌بندی نما

حسگر زیستی یا بیوسنسور، نام گروهی از حسگرها است. این حسگرها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند تا تنها با یک ماده خاص

واکنش نشان دهند. نتیجه این واکنش به‌صورت پیام‌هایی درمی‌آید که یک ریزپردازنده، می‌تواند آن‌ها را تحلیل کند (افشار طارمی و شریعتی نیا، ۱۳۹۴، ۶۴).

از این حسگرها برای آشکارسازی و تعیین مقدار گونه‌ها در سیستم‌های زیستی استفاده می‌شود:

الف) پذیرنده زیستی یا بیورسپتور: یک عنصر زیستی (پادتن‌ها، اسید نوکلئیک‌ها، آنزیم‌ها، سلول‌ها، بافت‌ها و دیگر ماده‌های زیستی) است که می‌تواند به‌صورت انتخابی تنها با ماده خاصی واکنش نشان دهد.

ب) آشکارساز و مبدل: که پس از واکنش مادهای خاص با پذیرنده‌های زیستی، وارد عمل می‌شود و می‌تواند نوع و مقدار واکنش را با روش‌های مختلف فیزیکی- شیمیایی مشخص کرده (مثال با بررسی تغییرهای الکتروشیمیایی، نوری، جرمی یا حرارتی قبل و بعد از واکنش) و به‌وسیله سیگنال‌های مناسب به پردازنده ارسال کنند.

ج) پردازنده‌های سیگنال: که عمدتاً مسئول نمایش نتایج و انجام محاسبات حسگر هستند.

حسگرهای زیستی طی سال‌های اخیر موردتوجه بسیاری از مراکز تحقیقاتی قرارگرفته‌اند. ازآنجاکه حسگرهای زیستی ابزاری توانمند جهت شناسایی مولکول‌های زیستی هستند، امروزه از آن‌ها در علوم مختلف پزشکی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی، مانیتورینگ محیط‌زیست، تولید پوسته‌های هوشمند محصولات دارویی، بهداشتی و غیره بهره می‌گیرند. حواس بویایی و چشایی انسان که به شناسایی بوها و طعم‌های مختلف می‌پردازد و یا سیستم ایمنی بدن که میلیون‌ها نوع مولکول مختلف را شناسایی می‌کند، نمونه‌هایی از حسگرهای زیستی طبیعی هستند. بیشترین کاربرد حسگرهای زیستی در تشخیص‌های پزشکی و علوم نظامی است. بیشترین نوع استفاده این حس‌گرهای چندمنظوره در علوم نظامی و در علوم پزشکی ازجمله تشخیص سریع بیماری‌ها با استفاده از تست‌های سریع[1] ویژگی این تست‌ها سرعت و ارزان بودن روش آزمایش است (شودک ودی میچل، ۱۳۹۱، ۷۶).

با ورود علوم و فناوری نانو و میکروالکترونیک و فراهم شدن امکان ساخت الکترودهایی در مقیاس بسیار کوچک، ساخت حسگرهای نانومتری نیز میسر شد. این حسگرها به لحاظ دارا بودن سایز نانومتری و کاربردشان در محیط‌های زیستی، نانوبیوسنسور، نانو حسگر زیستی نام‌گذاری شدند. نانو حسگرها زیستی الکترودهای بسیار کوچکی در اندازه نانومتری و ابعاد سلولی هستند که از طریق تثبیت آنزیم‌های خاصی روی سطح آن‌ها، نسبت به تشخیص گونه‌های شیمیایی یا بیولوژیک موردنظر در سلول‌ها حساس شده‌اند. از این حسگرها برای آشکارسازی و تعیین مقدار گونه‌ها در سیستم‌های بیولوژیک استفاده می‌شود. این تکنیک، روش بسیار مفیدی در تشخیص عبور بعضی مولکول‌ها از دیواره یا غشای سلولی است (افشار طارمی و شریعتی نیا، ۱۳۹۴، ۹۵).

۳-۳-۱- توسعه سناریوهایی برای طراحی نمای سازگار با اقلیم با نانو حسگر هوشمند

در طبیعت تمام اجزاء آن در یک برهم‌کنش پایدار و بادوام قرار دارند. تمامی سیستم‌ها و زیرمجموعه‌ها طی یک فرایند منطبق با چرخه‌های زیستی، خود را در انطباق کامل با اثرات محیطی سازگار می‌سازند، با تأمل در فعل‌وانفعالات داخلی بدن انسان نیز می‌توان این تغییرات را در جهت حرکت به‌سوی یک هدف که آن‌هم هماهنگی نظام‌مند در تعامل همسان تمامی اجزای بدن می‌باشد را مشاهده نمود. پوست انسان از بخش‌های مهم بدن می‌باشد، یکی از وظایف آن حفظ تعادل دمایی و محافظت از اجزای داخل بدن است، تغییرات ایجاد شده در پوست، در مواجهه با گرما و سرمای محیط، بهترین گواه برای عملکرد هوشمندانه آن می‌باشد. در دنیای معاصر با استفاده از برخی از مصالح و فناوری‌های هوشمند به‌تدریج این امکان در حال شکل‌گیری است که نمای ساختمان همانند پوست یا پوسته‌ای هوشمند طراحی و اجرا گردد تا بتواند در برابر با بعضی از عوامل بیرونی واکنش متفاوتی بروز دهد و بدین ترتیب امکان استفاده از برخی پدیده‌های محیط طبیعی فراهم آید. پوشش خارجی ساختمان‌ها نیز همچون پوست بدن باید بتوانند خود را با

[1] Test of care

تغییرات حاصله در طبیعت سازگار سازند. این تفکر موجب می‌شـود تا به نمای سـاختمان‌ها به‌عنوان یک موجود زنده نگریست و آن را به سازوکارهایی مسلح نماییم تا بتواند خود را در انطباق کامل با محیط قرار دهد. پوشش‌های ساختمانی یکی از مهم‌ترین فاکتورها در تعدیل شـرایط حرارتی داخلی ساختمان برای رسیدن به آسایش حرارتی هستند که بر روی میزان مصـرف انرژی در سـاختمان‌ها تأثیر دارند (گلابچی، ۱۳۸۹، ۱۷).

استفاده از عناصر تطبیق‌پذیر در معماری می‌تواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ایفا کند. روند کنونی حرکت معماری در طراحی پوشش ساختمان نیز به سمت نماهایی پویا و سازگار با تغییرات آب و هوایی پیش می‌رود. استفاده از سایبان‌های عمودی و کرکره‌ای چه در داخل و چه به‌عنوان نمای ساختمان یکی از راه‌حل‌های پویا در جهت رسیدن به آسایش محیطی به شمار می‌رود. از سوی دیگر نقش حرکت باد با توجه به تغییر ارتفاع ساختمان‌های امروزی نیز باید مدنظر قرار گیرد. معاصر گامی بلند به‌سوی فرم‌های غیرخطی و نماهای پیچیده برداشته که این روند را بیشتر در خاورمیانه و شرق می‌توان جستجو کرد. وجود پوشش‌های سایه‌ساز خارجی برای آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای در طراحی نمای ساختمان دارد. با توجه به گزارش تحقیقی سازمان ES-SO در اتحادیه اروپا حدود ۷۷٪ از کل مصرف انرژی در جهان در بخش ساختمان مورداستفاده قرار می‌گیرد که از میزان مصرف در صنعت حمل‌ونقل نیز بیشتر می‌باشد. با طراحی سیستم کارآمد در جهت ایجاد سایه در هوای گرم و عدم اتلاف انرژی داخل ساختمان در هوای سرد، می‌توان تا حدود زیادی در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرد. رعایت این موضوع فقط در اروپا حدود ۱۷٪ کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی را به همراه دارد (حدود ۷۱ میلیون تن) که باعث می‌شود تا سالیانه به میزان ۱۱۱ میلیون تن CO_2 کمتری تولید گردد. در سال ۲۰۲۱ حدود ۱۱ میلیارد یورو در سراسر جهان، در بخش طراحی و ساخت نمای ساختمان سرمایه‌گذاری شده که میزان ۹٪ از آن به سیستم‌های تولید سایه در نما اختصاص‌یافته است. این آمار اهمیت پوسته خارجی ساختمان را در بهینه‌سازی مصرف انرژی نشان می‌دهد.

۳-٤- استراتژی شناسایی مواد برای استراتژی‌های تطبیقی

رویکرد طراحی با تقلید و استفاده از فناوری‌های مواد فرضی برای ایجاد سناریوهایی برای کاربردهای مواد هوشمند در پوسته‌های ساختمانی اتخاذشده است (Lopez et al. 2015, 83). همچنین مدلی برای دیوارهای تطبیقی با استفاده از مواد تطبیقی بر اساس مکانیسم‌های دینامیکی و استراتژی‌های ایستا معرفی کرد و مواد را به چهار حوزه طبقه‌بندی کرد: مواد واکنش‌گر دما، مواد واکنش‌پذیر به نور، مواد واکنش‌دهنده رطوبت و مواد واکنش‌دهنده دی‌اکسید کربن؛ بااین‌حال، این مطالعه بر روی مواد پاسخگو به دما متمرکز است. از بخش قبل، چهار جزء مختلف طبقه‌بندی‌شده است. با بررسی پروژه‌های منتخب برای تمام انواع اجزا، مکانیسم‌های دستگاه‌های سایه‌بان با نانو مواد هوشمند تعریف و مشخص‌شده است (Fiorito et al. 2016,871).

در شناسایی مصالح هوشمند پاسخگوی حرارتی کافی برای استراتژی‌های نما تطبیقی انتخاب‌شده، تغییرات خاص ذاتی مصالح هوشمند، امکان گسترش عملکرد را در رابطه با نحوه انعکاس ویژگی‌های دینامیکی مصالح در طراحی و نحوه درک و اجرای تغییر فراهم می‌کند. برای استراتژی‌های نما تطبیقی، مواد هوشمند را می‌توان بر اساس رابطه متقابل مورفولوژی و قالب مواد با انواع اجزای نما، قابلیت کنترل مواد، ظرفیت فعال‌سازی و خروجی، علاوه بر روش‌های پردازش و ظاهر اجرایی که در (جدول ۶) نشان داده‌شده است، شناسایی کرد. در این مطالعه، چهار استراتژی مختلف طراحی نما در (شکل ۵) برای سناریوهای احتمالی نماهای سازگار با وضعیت اقلیمی با استفاده از خواص و فناوری نانو حسگر هوشمند مقاوم به حرارت، در انواع اجزای متمایز با مکانیسم‌های حرکت و تغییر شکل متفاوت، تهیه و ارائه‌شده‌اند. همه راهبردهای تطبیقی ارائه‌شده، حرکات موردنظر را بین حالت‌های باز و بسته نشان می‌دهند (Boldini et al., 2017. 798). برای پاسخگویی به شرایط

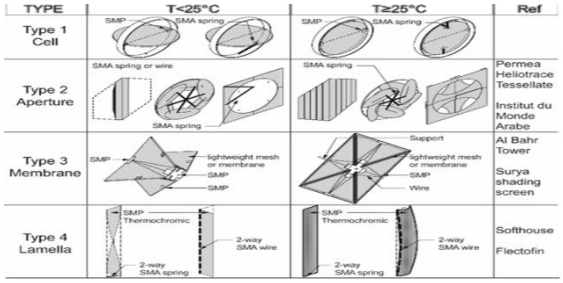
خارجی، مدولاسیون نیز باید در نظر گرفته شود و نسبت باز شدن در مقیاس مؤلفه با توجه به اشکال مختلف برای تغییرات در همه انواع در نظر گرفته می‌شود (Fiorito et al., 2016, 880). اندازه اجزای پیشنهادی به دلیل اندازه‌های مجزا و قابلیت‌های مواد هوشمند به‌عنوان محرک و همچنین سیستم‌های نمای توسعه‌یافته متفاوت است. بااین‌حال، به دلیل سازگاری گسترده مواد ترموکرومیک، می‌توان تغییر رنگ را به هر استراتژی اضافه کرد.

جدول ۶. شناسایی مواد برای استراتژی‌های تطبیقی

(Yoon, hungwon, 2018)

شماره	مؤلفه	مکانیسم		نانو مواد هوشمند
۱	سلول	جنبشی	چرخش کردن	SMP SMA
۲	دیافراگم		جمع و باز شدن	SMA
۳	غشاء		استقرار	SMP
۴	لایه‌ای		چرخش کردن	SMA
		خمشی/ پیچشی		SMP

هدف این پیشنهاد مشاهده این است که چگونه گرما می‌تواند بر مورفولوژی پوست در رابطه با تغییر شکل و درنتیجه سایه، جریان هوا، نور روز و باز بودن بصری تأثیر بگذارد. مواد هوشمند شناسایی‌شده به گیرنده‌ها و عوامل محرک‌های محیطی تبدیل می‌شوند، درحالی‌که پردازش توسط خواص ذاتی و پیکربندی مورفولوژیکی آغاز می‌شود. به این معنا، فرآیند طراحی محور، آستانه‌ها و ظرفیت‌های مواد را بررسی می‌کند و با ارزیابی نتیجه مدولاسیون و باز بودن نفوذپذیر کالیبره می‌شود (Elzeyadi et al., 2016, 8).



شکل ۵. انواع استراتژی تطبیقی (Boldini et al., 2017)

۳-٤-۱- سناریوها

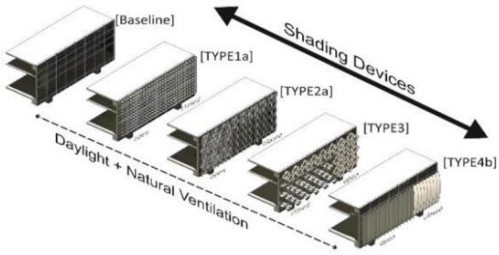
نمای سازگار با اقلیم با مواد ساخته‌شده با نانو حسگرهای هوشمند انتخاب‌شده می‌تواند در تکنیک‌های مواد نوآورانه و اثرات بصری پویا برای طراحی سازگار با محیط‌زیست استفاده شود. این مطالعه یک سیستم پوششی معماری را برای اعمال نانو مواد هوشمند حساس به حرارت را پیشنهاد می‌کند.

نتایجی که از تحلیل و تفسیر نمودار سایکرومتریک و شاخص اولگی[1] به‌دست‌آمده است نشان می‌دهد که سایه‌بان خورشیدی پنجره‌ها و تهویه راحت تطبیقی را می‌توان به‌عنوان اقدامات کلیدی برای دستیابی به کنترل استراتژیک آب‌وهوای داخلی در نظر گرفت. تجزیه‌وتحلیل راحتی تطبیقی بر اساس محدوده راحتی قابل‌قبول مطابق با مدل راحتی تطبیقی استاندارد اشره ۵۵[2] است. راحتی یک ادراک پیچیده است که مبتنی بر تعامل بین محرک‌های فیزیکی و فرآیندهای شناختی است و با سازگاری رفتاری، سازگاری فیزیولوژیکی و سازگاری روان‌شناختی با رضایت کاربر از طریق سازگاری با محیط اطراف ارتباط دارد (طاهباز، ۱۳۹۲، ۶۶). در این مطالعه، دستگاه‌های سایه‌انداز پیشنهاد می‌شود که به‌جای رفتار کاربران، به رفتارهای ذاتی مواد مرتبط شوند؛ بنابراین، مهم است بررسی شود که چگونه دستگاه‌های سایه‌انداز مستقل می‌توانند بر عملکرد ساختمان تأثیر بگذارند، سازگاری با محیط را فراهم کنند و نقش مرکزی را در بهینه‌سازی انرژی ساختمان با پیشرفت تحقیقات طراحی بازی کنند.

[1] Olgyay

[2] ASHREH55

درنهایت، چهار نوع استراتژی نما در مطالعات طراحی نمای آزمایشی مطابق (شکل ۶) نه‌تنها به‌عنوان ابزاری برای سایه‌اندازی، بلکه برای نور روز و تهویه طبیعی نیز استفاده می‌شوند. مطالعات عمیق هر نوع نما با مواد هوشمند قابل‌اجرا برای توسعه سیستم در ادامه مطالعه بیشتر توسعه خواهد یافت.



شکل ۶. چهار نوع استراتژی نما در مطالعات آزمایشی (Fiorito et al. 2016)

۳-٤-۲- ارزیابی و اعتبارسنجی چند معیاره

با به‌کارگیری شبیه‌سازهای عملکردی، ارزیابی چند معیاره می‌تواند پاسخ مثبتی به اثربخشی پیشنهادات بدهد و به استراتژی‌های طراحی اجازه می‌دهد تا با جهت‌گیری بهبودیافته روش‌ها در فرآیندهای تحقیقاتی انتخاب مواد و پردازش ترسیم شوند.

ابزارهای محاسباتی را می‌توان برای ارزیابی خواص حرارتی، روشنایی و جریان هوا در طول فرآیند طراحی برای شبیه‌سازی عملکرد موردبررسی قرارداد. بزرگ‌ترین چالش تعیین استراتژی طراحی کامپیوتر از طریق تنظیم متغیرها و قوانین و تبدیل فیزیکی ویژگی‌های مواد از طریق نرم‌افزارهای کامپیوتری، تائید اثربخشی آن و اطمینان از بهره‌وری انرژی کمّی و همچنین عملکرد زیبایی‌شناختی کیفی خواهد بود. هدف از تجزیه‌وتحلیل عملکرد انرژی و مطالعات پارامتری، بررسی استراتژی‌های تطبیقی پیشنهادی در مورد پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تأثیر آن برآسایش حرارتی است (پوردیهیمی، ۱۳۹۱، ۴۱). شبیه‌سازی انرژی ساختمان با در نظر گرفتن سازگاری و انعطاف‌پذیری، با نرم‌افزار برای مطالعه طراحی، به اجرای مدل نما مربوط می‌شود. علاوه بر این، بهینه‌سازی پارامتری و الگوریتم‌های مولد موردنیاز برای نمای مصالح هوشمند، نرم‌افزار موجود را برای تحلیل عملکرد محدود می‌کند. در این مطالعه، اطلاعات نانو حسگر هوشمند ازجمله ویژگی‌های فیزیکی و پارامترهای رفتاری پس از آزمایش‌های عملی و مدل کوچک‌شده برای تجزیه‌وتحلیل نسبی کارایی همه نمونه‌های اولیه و سناریوها، همان‌طور که در (جدول ۷) نشان داده‌شده است، ساده‌سازی شده‌اند (Elzeyadi et al., 2016, 9).

علاوه بر این، مطابق (شکل ۷) می‌توان الگوریتم‌های پارامتری برای شبیه‌سازی مکانیسم تبدیل با استفاده از راینهو[1] با پلاگین‌های آن[2] شبیه‌سازی گردد تا شرایط برنامه‌ریزی‌شده و فعال‌شده را شامل شود. شبیه‌سازی‌های تابش خورشیدی و اثر حرارتی در این مطالعه با استفاده از لیدی‌باگ[3] درخشندگی و هانی‌بی[4] و دیزاین بیلدر[5] برای تحلیل سایه‌های دینامیکی هم روش دیگری است. جهت ارزیابی نهایی از میزان نتایج می‌بایست شاخص‌هایی موردبررسی و مقایسه قرار بگیرند.

شاخص‌هایی مورد آزمایش و تحلیل مانند:

-میزان بازتابش نور خورشید،

- مقدار انتقال نور خورشید،

-اثر حرارتی و جذب انرژی تابشی،

-قابلیت تکرارپذیری،

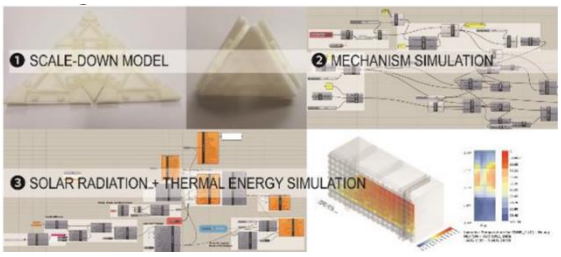
-زیبایی،

-تهویه طبیعی،

بنابراین، آزمایش و بررسی تمام مقادیر موردنیاز در فرآیندهای ارزیابی و اعتبار سنجی بیشتر چالش‌برانگیز است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که تقریباً هر چهار استراتژی نمای تلفیقی بسیار نزدیک به یکدیگر می‌باشند، برای غلبه بر محدودیت‌های فرآیند انتخاب استراتژی نما، ارزیابی عملکرد ساختمان و ارزیابی کیفیت آسایش داخلی و مزایای اقتصادی

1Rhinoceros
2Grass hoppers, Kangaroo
3Ladybug
4Honeybee
5DesignBuilder

باید در مرحله بعد به‌عنوان پروتکل بعدی تحقیق بلندمدت موردبررسی قرار گیرد(Yoon, hungwon, 2018, 625).



شکل ۷. شبیه‌سازی کاربرد نانو حسگر هوشمند برای نوع ۱ (Yoon,hungwon. 2018)

نتایج به‌دست‌آمده مقایسه بین ۴ نوع مدل نما مطابق (جدول ۷) قابل‌مشاهده می‌باشد.

جدول ۷. مقایسه شاخص‌های بررسی‌شده برای چهار نوع استراتژی نما

نام شاخص	واحد اندازه‌گیری	مدل شماره A1	مدل شماره A2	مدل شماره A3	مدل شماره A4
میزان بازتابش نور خورشید	$Kw/h/m^2$	۳,۶۰	۲,۵۶	۳,۳۷	۲,۷۰
مقدار انتقال نور خورشید (بهره خورشیدی)	lux	۴۰۰	۲۷۵	۳۷۵	۳۰۰
اثر حرارتی و جذب انرژی تابشی	Kw/h	۳۵۰	۴۴۰	۳۰۰	۴۵۰
قابلیت تکرارپذیری	per	٪۹۰	٪۸۷	٪۸۵	٪۹۰
زیبایی	per	٪۷۰	٪۸۵	٪۸۵	٪۷۵
تهویه طبیعی	per	٪۸۰	٪۹۰	٪۹۰	٪۸۰

٤- نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای و جامع نانو حسگر هوشمند پاسخگوی حرارتی موجود و ویژگی‌های ذاتی، ویژگی‌های اجرایی و ویژگی‌های فیزیکی آن‌ها، کاربرد به‌عنوان اجزای نمای ساختمان تطبیقی را ممکن می‌سازد. تجزیه‌وتحلیل دقیق سیستم‌های پاسخگو در موردسنجش ورودی‌ها، کنترل خروجی‌ها و طبقه‌بندی مورفولوژی اجزا منجر به توسعه مفاهیم استراتژی طراحی برای پوسته‌های ساختمانی سازگار با اقلیم با استفاده از نانو مواد و حسگرهای هوشمند شد. تنوع و پویایی نانو مواد هوشمند حساس به حرارت و استراتژی‌های نما تطبیقی، طیف گسترده‌ای از سناریوهای طراحی و پیشرفت‌های نمونه اولیه را ارتقا می‌دهد. علیرغم ماهیت طراحی محور این تحقیق، با محدود کردن دامنه انتخاب مصالح هوشمند و استراتژی‌های طراحی نما بر اساس معیارهای اقلیم‌های مختلف، چهار استراتژی کلیدی مختلف با مواد SMA، SMP و ترموکرومیک برای مطالعات آزمایشی و بیشتر تعریف شد. کاوش در شبیه‌سازی برای ارزیابی انرژی و اثرات نور روز مدل‌های نمونه اولیه[1] برای تأیید مکانیسم‌های دینامیکی پیشنهاد شدند. نتایج این پژوهش و نتایج به‌دست‌آمده پس از تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای و جامع نانو حسگر هوشمند پاسخگوی حرارتی موجود و ارزیابی ابعاد مختلف نانو مواد، حاکی از آن است که نماهای تطبیقی طبق تعریف پوسته هوشمند سازگار با اقلیم، تغییرات و شرایط محیطی را به‌منظور ایجاد آسایش و امنیت بیشتر و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بخصوص در مصرف منابع انرژی اندازه‌گیری کرده، درنهایت می‌تواند مصارف انرژی را تحت کنترل قرار دهند. در خصوص اقلیم مناسب هرکدام از این استراتژی می‌توان گفت که تقریباً برای تمام اقلیم‌های جغرافیایی از کاربرد مناسبی برخوردار است. مطالعات آینده می‌تواند یافته‌های قابل‌انتقال به فرآیندهای تحقیقاتی طراحی چندگانه مواد مشابه، استراتژی‌های طراحی و اقلیم برای پتانسیل نما تطبیقی را با به‌دست‌آمده آوردن بینش‌هایی در مورد ظرفیت‌های

1 Scaled down

مصالح برای کاربردهای معماری و رویکردهای طراحی تجربی ارائه دهد.

۵- منابع

- احمدی، سوفیا، و کردجمشیدی، ماریا.(۱۳۹۷). بررسی عملکرد نماهای هوشمند در بهینه‌سازی مصرف انرژی، *کنگره بین‌المللی معماری و شهرسازی معاصر پیشرو در کشورهای اسلامی*، مشهد.

https://civilica.com/doc/809406

- افشارطارمی، فرامرز، و زهرا شریعتی‌نیا.(۱۳۹۴). *نانو زیست‌فناوری: مبانی و کاربردها*. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- باستان‌فر، متین، محسنی، منصوره.(۱۳۹۴). انعطاف‌پذیری و هوشمندی، ناگزیر معماری آینده. *اولین کنفرانس سالانه بین‌المللی عمران، معماری و شهرسازی*.تهران.

https://civilica.com/doc/587971

- تراز، معصومه، و تقی‌زاده، کتایون، و عزیزی قهرودی، مهرزاد. (۱۳۹۴). تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر تهران. *نقش‌جهان - مطالعات نظری و فناوری‌های نوین معماری و شهرسازی*. ۵ (۲)، ۶۴-۵۵.

DOR: 20.1001.1.23224991.1394.5.2.5.8

- شهرام، پوردیهیمی. (۱۳۹۱). *زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار*. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

- جعفری تبریزی، سمیرا، و حق‌پرست، فرزین، و ملکی، آیدا. (۱۴۰۱). بررسی نقش سیستم‌های سایه‌اندازی تطبیق‌پذیر در مصرف انرژی و مکانیز حرکتی آن‌ها. *معماری سبز*. ۸(۱)، ۳۶-۲۵.

http://greenarchitecture.ir/post.aspx?id=745

- رزازی، سمیرا، و مظفری، فاطمه. (۱۳۹۷). پوسته-های سازگار و انطباق‌پذیر ساختمان با الگوپذیری از گیاهان در طبیعت. *معماری سبز*.۴(۱۱)، ۲۰-۱.

http://greenarchitecture.ir/post.aspx?id=544

- شودک، دانیل، و ادینگتون، دی. میچل. (۱۳۹۱). *مواد هوشمند و فناوری نانو: کاربرد در معماری و طراحی داخلی* (ترجمه فریبا شریفی). تهران: ناشر عزت‌الله غلامی.

- طاهباز، منصوره. (۱۳۹۲). *دانش اقلیمی طراحی معماری*. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

- کرمی، نگار، و زال، محمدحسن، واحمدنژادکریمی، مجید. (۱۳۹۷). نمای متحرک (هوشمند). *کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران*، تهران.

https://civilica.com/doc/847045

- گلابچی، محمود، و مظاهریان، حامد.(۱۳۸۹). *فناوری‌های نوین ساختمانی*. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

- Al-Obaidi, K. M., Azzam Ismail, M., Hussein, H., & Abdul Rahman, A. M. (2017). Biomimetic building skins: An adaptive approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 79, 1472–1491.

DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.028

- Boldini, A., Colangelo, M., Pilla, A., Tavanti, M. (2017). Metereosensitive user-controllable skin for dynamic façades. *In 12th Conference on Advanced Building Skins*. Bern. 740–832.

- Clifford, D., Zupan, R., Brigham, J., Beblo, R., Whittock, M., & Davis, N. (2017). Application of the dynamic characteristics of shape-memory polymers to climate adaptive building facades. *In 12th Conference of Advanced Building Skins*. Bern. 171-178.

- Elzeyadi, I. M. K., Abboushi, B., Hadipour, H., & Rivera, I. (2016). High-performance façades: measuring the impacts of dynamic shading prototypes on indoor environmental quality Using Yearly Simulations and Field Tests. *32nd International Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Los Angeles, California. 0–9.

- Fiorito, F. & Sauchelli, M. & Arroyo, D. & Pesenti, M. & Imperadori, M. & Masera, G. & Ranzi, G. (2016). Shape morphing solar

future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 25, 483-493.

DOI: 10.1016/j.rser.2013.04.016

- Lurie-Luke, E. (2014). Product and technology innovation: What can biomimicry inspire? *Biotechnology Advances*. 32(8), 1494-1505

DOI: 10.1016/j.biotechadv.2014.10.002

- Lopez, M., Rubio, R., Martin, S., Croxford, B., & Jackson, R. (2015). Adaptive architectural envelopes for temperature, humidity, carbon dioxide and light control. *10th conference on Advanced Building Skins*. Bern: Switzerland.

- Ng, Rashida. (2010). Something Borrowed: Defining an Emerging Covenant between Architecture and Materials. *International Conference on Architectural Research*.

https://www.brikbase.org/content/something-borrowed-defining-emerging-covenant-between-architecture-and-materials

- Yoon, H. (2018). Strategies of Thermo Responsive Smart Material Applications for Building Skins in Seoul. *Smart and Healthy within the 2-degree Limit.* Hong Kong.

- Yoo, seung-HO. (2001). Efficieny characteristic of building integrated photovoltaics as a shading device. *Building and Environment*. 37(6), 615-623.

DOI:10.1016/S0360-1323(01)00071-3

shadings: A review. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 55, 863-884.

DOI: 10.1016/j.rser. 2015.10.086

- Fernández-Galiano, L. (2013). Architecture and life. *Infrastructure and urban planning sociology and economics.* Anthropocene, Fifteen Theses.

https://arquitecturaviva.com/articles/architecture-and-life

- Braham, W. W. & Willis, D. (2013). *Architecture and Energy: Performance and Style*. New York, USA: Routledge.

- Favoino, F., Goia, F., Perino, M., & Serra, V. (2016). Experimental analysis of the energy performance of an ACTive, RESponsive and Solar (ACTRESS) façade module. *Solar Energy*. 133(133). 226–248.

DOI: 10.1016/j.solener.2016.03.044

- Gosztonyi, S., Stefanowicz, M., Bernardo, R., & Blomsterberg, Å. (2017). Multi-active façade for Swedish multi-family homes renovation: Evaluating the potentials of passive design measures. *Facade Design & Engineering*, 5(1), 7–21.

DOI: 10.7480/jfde.2017.1.1425

- Klooster, T. (2009). *Smart surfaces and their application in architecture and design*. Basel: BIRKHÄUSER.

- Kim, Y. J. and Matsunage. Y. T. (2017). Thermo-responsive polymers and their application as smart biomaterials. Center for International Research on Integrative BiomedicalSystems (CIBiS), The University of Tokyo. *Materials Chemistry B*. 23,4307-4321

DOI:10.1039/C7TB00157F

- Lelieveld, C. M. J. L. (2013). *Smart Materials for The Realization of An Adaptive Building Component*. Doctoral Thesis. Delft University of Technology. Roterdam. Netherlands

DOI:10.4233/uuid:21ba183b-450e-45a1-bc89-24799586735c

- Loonen, R. C. G. M., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L.M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and

Received: 10/09/2022
Accepted: 12/12/2022

Applications of Smart Nanomaterials for Climate-Compatible Building Shells

Hamidreza Baniansari[1], Azam Razavizadeh[*2], Masoumeh Firozi[3]

Abstract: The facades of the building as a wall play an important role in the connection between the interior and exterior of the building and directly cause factors such as heat exchange inside and outside the building, management, optimization and prevention of energy loss in buildings. Therefore, climate-compatible skins are effective in designing, simulating and achieving dynamic aesthetics, on energy efficiency and qualitative improvement of climatic comfort inside the building. This research is an exploratory framework for the design of facades compatible with the climate and thermally responsive smart materials in the building shell, which is able to create thermal comfort inside the building with the aim of using environmental energy. The method used in this research is based on the combined method by examining case studies based on the descriptive-analytical process, in which library studies with logical reasoning method are used to collect information. Therefore, a comparative analysis was performed on a smart Nano sensor with thermal responsiveness and evaluation of different dimensions of Nano materials. The obtained results indicated that smart skins compatible with the climate in terms of changes and environmental conditions in different geographical climates can be used to create more comfort and safety for users and save energy resources. As a result of energy consumption and creating climatic comfort in every geographical climate, it is under the comprehensive control and management of climate compatible shells.

Keywords: Smart Building Shells, Nano Sensor, Energy Saving, Climatic Comfort

[1]*M.Sc., Department of Architecture, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran.
[2] Assistant Professor, Department of Architecture, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran; Corresponding Author, Email: a.razavizadeh@ iaukashan.ac.ir
[3] Assistant Professor, Department of Physics, Kashan Branch, Islamic Azad University, Kashan, Iran.