دوازدهمین کنگره ملّی مهندسی عمران
۷و۸ خرداد ۱۳۹۹
دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران

معرفی و ارزیابی انواع پویایی در نماهای ساختمانی

امیرحسین صادقپور [۱]، سحر اسکندری[۲]

۱- استادیار، گروه تکنولوژی معماری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری معماری بیونیک، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

sadeghpour@kashanu.ac.ir
sahareskandari@grad.kashanu.ac.ir

خلاصه

در دهه های اخیر استفاده از نمای پویا به علت ویژگی های مفید آن رواج زیادی پیدا کرده است؛ کاربرد پویایی در نماهای ساختمانی و نماهای هوشمند از نظرکنترل نور،تهویه، دما و ذخیره انرژی مزایای قابل توجهی ایجاد می کند. در این تحقیق ضمن معرفی انواع نماهای پویا، تقسیم بندی آن از نظر شکل ظاهری و همچنین مکانیزم حرکتی برای تغییر شکل نما مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ سپس با تحلیل خصوصیات ۴۰ نمونه پروژه مشهور با نمای پویا، این نوع نما از دیدگاه کابری، مصالح، مکانیزم حرکتی، نوع کنترل و عوامل مهم دیگر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: نماهای متحرک،پویا،داینامیک،نما های هوشمند

۱–مقدمه

نماهای ساختمان به عنوان بخشی از پوسته خارجی ساختمان به دلیل ارتباط مستقیم با محیط خارج در مصرف انرژی وایجاد شرایط آسایش ساکنین در ساختمان ها نقش حیاتی و عمده ای را بر عهده دارند.در طی دهه های اخیر با پیشرفت تکنولوژی، نماها به وسیله ترکیب عناصر خاص متحمل نوآوری هایی شدند که در برابرشرایط متفاوت بیرونی خود را سازگار می کنند تا نیازهای ساکنین فراهم شود[۱]. انتظار میرود ساختمانهای جدید، همانند یک ارگانیسم زنده انطباق پذیرتر با محیط اطراف خود باشند، به همین دلیل استفاده ازعناصر متحرک در زمینه معماری به دلیل انطباق با شرایط مختلف محیطی میتواند باعث کاهش مصرف انرژی در ساختمانها شود.مکانیسم حرکتی در نماهای متحرک نیز مسئله ای مهم میباشد. از گذشته تا به امروز برخی از این نماها با مکانیسمهای دستی باز و بسته می شدند [۲]. با پیشرفت فن آوری سیستمهای الکترومکانیکی و هوشمند جایگزین سیستمهای دستی شده اند. نحوه ی کنترل این مکانیسمها نیز با روشهای مختلفی مانند روشهای مستقیم،غیرمستقیم و ... صورت میگیرد. در برخی ازحالات هوشمند سازی این نوع نماها با استفاده از حسگرهای خاص انجام پذیرفته است. در ادامه پس از بیان نقش این نماها برای رسیدن به یک معماری پایدار و بهینه سازی مصرف انرژی، آنها را بر اساس نحوه و مکانیسم حرکتی طبقه بندی نموده و ویژگیهای آنها در قالب نمونه های موردی گوناگون بررسی و تأثیر آن در بهینه سازی مصرف انرژی بیان شده است.

معماری متحرک یا پویا به لحاظ کاربردی،مفهومی نوین از کیفیت طراحی ساختمان ها است؛به گونه ای که در عین حفظ تمامیت ساختاری،بخش قابل توجهی از آن قادر به حرکت است.قابلیت تحرک ساختمان ها علاوه بر پاسخگویی به شرایط محیطی،برزیبایی بنا می افزاید.بدین ترتیب ساختار،دارای عملکردی خواهد بود که از یک سازه ایستا و ساکن به دور است. با تلفیق حرکت در معماری،طراحان بعد جدیدی را به ساکنان نمایش می دهند که اجازه تعامل بیشتر با محیط را به آنها می دهد.ایجاد تعامل افراد با محیط میتواند در حرکت،انتقال یا تغییر بنا نمود پیدا کند و این برای ساکنان آن ،شگفت آور و جذاب خواهد بود.نوع متحرک آن میتواند سبب افزایش کارایی انرژی در ساختمان شود[۳]در این پژوهش به بررسی نمونه هایی از نمای متحرک پرداختیم و بررسی شده است که کدام سیستم ،حرکت نماهای متحرک،عملکرد نماهای متحرک،پارامترهای تاثیر گذار و تنظیمات به کار رفته موثرتر است و بیشتر به کار برده شده است.

۲–نما متحرک

در دهه های ابتدایی قرن 20 ام، پویایی در معماری به طور کامل از دیدگاه نظری مطرح می شد، اما در سال1970 ویلیام زوک سه کتاب با عنوان معماری پویا منتشر نمود که الهام بخش نسل جدیدی از طراحان در فرایند خلق طیف گسترده ای از ساختمانهای به طور حقیقی تغییرفرم پذیر قرارگرفت. از دهه 80 به بعد، به یاری توسعه های صورت گرفته در رباتیک و مکانیک، ساختمان های متحرک به طور فزاینده ای متداول شد[۴] نماهای متحرک بخش عمده ای ازاین ساختمانها را دربرمی گیرند .این نماها که در اصلاح عامیانه، نماهای هوشمند نامیده می شوند نماهای پویایی هستند که قادرند فرم، شکل، جهت گیری و باز و بسته شدن خود را بطور خودکار با پارامترهای محیطی(دما،رطوبت،باد، ..)تطبیق دهند[۵]نماهای متحرک قابلیت تطبیق با شرایط محیطی به منظور حفظ و کاهش مصرف انرژی در ساختمان، شرایط آسایش کاربران را در مواردی همچون تنظیم میزان حرارت خورشید، نور ورودی، کنترل تهویه طبیعی و در برخوی از حالات تولید انرژی را نیز فراهم میکنند. این نماها میتوانند با توجه به شرایط مختلف محیطی تغییر حالت دهند و زمینه کاهش مصرف انرژی در ساختمانها را فراهم کنند. نمونه های زیادی از این دست نماها وجود دارد که به خوبی به کاهش مصرف و در برخی از حالات به تولید انرژی در ساختمانها کمک کرده اند. [۶]

نماهای متحرک قابلیت تطبیق با شرایط محیطی به منظور حفظ و کاهش مصرف انرژی در ساختمان،شرایط آسایش کاربران را در مواردی همچون تنظیم میزان حرارت خورشید،نور ورودی،کنترل تهویه طبیعی و در برخی از حالات تولید انرژی را نیز فراهم کنند.مکانیسم حرکتی نماهای متحرک شامل مکانیسم های دستی و سیستم های الکترومکانیکی و هوشمند می شود. نمونه های زیادی از این دست نماها وجود دارد که به خوبی به کاهش مصرف و در برخی از حالات به تولید انرژی در ساختمان ها کمک کرده اند.مکانیسم حرکتی در نماهای متحرک نیز مسیله ای مهم می باشد.از گذشته تا به امروز برخی از این نماها با مکانیسم های دستی باز و بسته می شدند.[۷]

۳–تقسیم بندی های نماهای متحرک

۳–۱ از نظرساختار ظاهری

به طور کلی،از لحاظ ساختار ظاهری و نحوه حرکت عناصر نمایی،می توان نماهای متحرک را به فرم زیر تقسیم کرد:

- مشبک:با تغییر در میزان ابعاد،همپوشانی و شکل روزنه ها
- تاشونده:جمع شوندگی با حرکت تاشونده به یک یا چند سمت
- ماهیچه ای:با تغییر در شکل و میزان تراکم گرافیک (نقوش)لحظات مختلف
- قطعه ای:متشکل از قطعات هندسی بسیار زیاد و حرکت متفاوت هر قطعه نسبت به قطعه مجاور و ایجاد ساختارهای متفاوت
- لغزشی:با حرکت کشویی و همپوشانی عناصر مجاور هم نسبت به یکدیگر[۸]

۳–۲ از نظر نحوه حرکت

این نماها از لحاظ ساختار ظاهری و نحوه حرکت به پنج دسته تقسیم می شوند.

الف) انقباض و انبساط؛ ب) بالونی؛پ) مثلثی گسترش پذیر؛ت)کشویی و چرخشی؛ ث) کشویی و جمع شونده[۸]

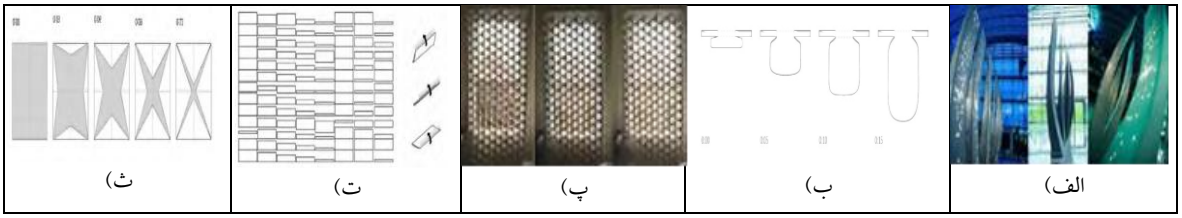
الف)انقباض و انبساط: در این حالت با توجه به میزان گرم شدن و سرد شدن هوای اطراف شروع به تغییر و حرکت در نمای متحرک می شودکه در شکل ۱ مشاهده می شود.

ب) بالونی: بالون از سه صفحه جنبشی یکپارچه تشکیل شده است که شامل اشکال مدور توخالی با قطر پنجاه میلی متر در هر صفحه است.حرکت بالون ها به صورت تورم و خالی شدن آنها صورت می گیرد که در شکل ۱ مشاهده می شود.

پ) مثلثی گسترش پذیر: این سیستم از لایه های مختلف تشکیل شده است که با همدیگر همپوشانی داشته و به هنگام حرکت لایه های مختلف از هم جدا شده و سطح گسترده ای را ایجاد میکنندکه در شکل ۱ مشاهده می شود.

ت) کشویی و چرخشی: اجزای پانل ها به یک میله متصل هستند که حرکت های مختلف حول میله به صورت کشویی و چرخشی صورت می گیرد.در واقع حرکت حول یک محور انجام می شود که در شکل ۱ مشاهده می شود.

ث) کشویی و جمع شونده: حرکت از طریق فعال کردن نقطه مرکزی هر پانل توسعه و گسترش می یابد.در واقع حرکت کشویی و جمع شونده از نقطه مرکزی پانل ها صورت گرفته و اشکال مختلفی را ایجاد می کندکه در شکل ۱ مشاهده می شود.



شکل۱: تقسیم نماهای متحرک از لحاظ نحوه حرکت

۴–نما متحرک از نظر روش کنترل

نماهای متحرک با توجه به سیستم هایی که در آنها به کار رفته میتوانند شرایط داخلی را بدون دخالت کاربر تنظیم کنند و نسبت به شرایط مختلف واکنش نشان دهند. این واکنش از طریق شبکه های ارتباطی کامپیوتری که شامل حسگرها، محرک ها، منبع تغذیه و پردازنده است صورت می گیرد. نماهای متحرک از نظر نوع کنترل به دو دسته تقسیم می شوند:۱. کنترل مستقیم؛۲. کنترل غیر مستقیم.

در حالت مستقیم محرک باعث به حرکت در آوردن عنصر حرکتی بدون واسطه خواهد شد. این کار توسط منابع تامین کننده انرژی مثل موتورهای الکتریکی یا نیروی انسانی صورت میگیرد. اما در روش غیر مستقیم که حالتهوشمندانه حرکت نما می باشد تغییرات محیطی ابتدا توسط سنسورها دریافت شده و توسط پردازندهها پردازش میشوند سپس واکنشی که نما در مقابله با تغییر پارامترها باید نشان دهد توسط عنصرهای فعال کننده به عناصرمتحرک اعمال می شود[۳]

۵–نما متحرک هوشمند

پوشش های ساختمانی یکی از مهمترین فاکتورها در تعدیل شرایط حرارتی داخلی ساختمان برای رسیدن به آسایش حرارتی هستند که بر روی میزان مصرف انرژی در ساختمانها تأثیر دارند. استفاده از عناصر تطبیق پذیر در معماری میتواند نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ایفا کند. یکی از عناصر تطبیق پذیر نماهای متحرک هستند. یک نمای متحرک میتواند میزان مصرف انرژی در داخل ساختمان را به طور چشمگیری کاهش دهد و به بهبود شرایط داخلی در ساختمان کمک شایانی کند [۹]نمای متحرک هوشمند به نمایی اطلاق میشود که خود را به صورت پویا با شرایط محیطی برای کاهش مصرف انرژی درساختمان تغییر میدهد. نسخه ی اولیه چنین روشهایی در ساختمان با استفاده از سیستم های دستی صورت گرفته است. ایده تغییر از حالات دستی به دیگر حالات با پیشرفت تکنولوژی در نماها ایجاد شد. در چنین نماهایی، عناصر نما به طور غریزی از طریق تنظیم خود به خود به پیکربندی فعالی تبدیل میشوند. این نوع نماها با توجه به سیستم هایی که در آنها به کار رفته است میتوانند شرایط داخلی را بدون دخالت کاربر تنظیم کنند.[۱۰]

برای هوشمند سازی نما سه راهکار پیشنهاد می شود:

- استفاده از مصالح هوشمند و تغییر خواص آنها تحت شرایط محیطی
- استفاده از سیستم های مکانیکی شامل سنسور،پردازشگر و محرک
- ترکیبی از مصالح هوشمند و سیستم هوشمند مکانیکی [۱۱]

نماهای هوشمند متحرک از لحاظ کاربرد به ۴ گروه زیر تقسیم می شوند:

۱-نماهای متحرک هوشمند و کنترل دما:

این دسته از نماهای متحرک با هدف افزایش جذب انرژی خورشیدی در فصل زمستان و کاهش جذب آن در تابستان به کار برده می شوند. درواقع هدف استفاده از این ابزارها این است که حرارت وارده به داخل ساختمان به میزان دلخواه کنترل گردد [۶].رایج ترین و موثرترین مثال از این نوع سیستم ها سایبان ها و کرکره ها هستند. عملکرد سایبان های خارجی ساختمان نقش مهمی در کاهش بار سرمایشی در مناطق گرم دارد.به طوریکه سایبان های خارجی موثرتر از سایبا نهای داخلی بوده و ضریب سایه کمتری دارند و تابش خورشید را قبل از ورود به ساختمان و تبدیل شدن به گرما، مسدود میکنند. همچنین سایبا نهای قابل تنظیم، اگر دقیق و مطابق با نیازهای گرمایشی، سرمایشی و روشنایی کنترل گردند، کاراتر از سایبا نهای ثابت هستند [۱۲]

۲-نماهای متحرک هوشمند و کنترل روشنایی:

یکی از ویژگی های بسیار خوب نماهای متحرک عکس العمل آنها در بهینه سازی نور ورودی به ساختمانها می باشد با توجه به این اینکه حرکت مسیر خورشی دارای الگوی ثابتی است لذا با در نظر گرفتن محل ساختمان نسبت به خط استوا و همچنین عرض جغرافیایی محل میتوان براحتی نمایی با الگوی مناسب حرکتی برای ساختمان طراحی کرد.

۳-نمای متحرک هوشمند و تهویه طبیعی:

نیاز به تهویه، معمولا با تکیه بر سه هدف خاص می باشد؛ ۱- حفظ کیفیت هوای داخلی ساختمان بوسیله ورود هوای تازه ۲- تامین آسایش حرارتی در شرایط آب و هوایی گرم از طریق از دست دادن حرارت همرفتی ۳- خنک سازی جرم کلی ساختمان [۵].بعضی از ساختمان ها که از سیستم نمای متحرک برای کنترل تهویه استفاده می کنند، یا از سیستم های کرکره ای متغیر و یا از خاصیت پشته سازی نماهای دوپوسته استفاده می کنند . این دو نوع سیستم باعث به وجود آمدن تهویه مستقیم وغیر مستقیم می شوند [۱۳] کنترل از طریق نماهای دوپوسته تهویه شونده به صورت مستقل یا در تلفیق با عناصر جنبشی به کار می رود و در حین سرمایش در اوج تابستان از طریق خروج گرما به روش تهویه طبیعی،۱۰٪-۱۵٪ به حفظ انرژیِ کمک میکند[۱۴]

۴- نماهای متحرک هوشمند و تولید انرژی

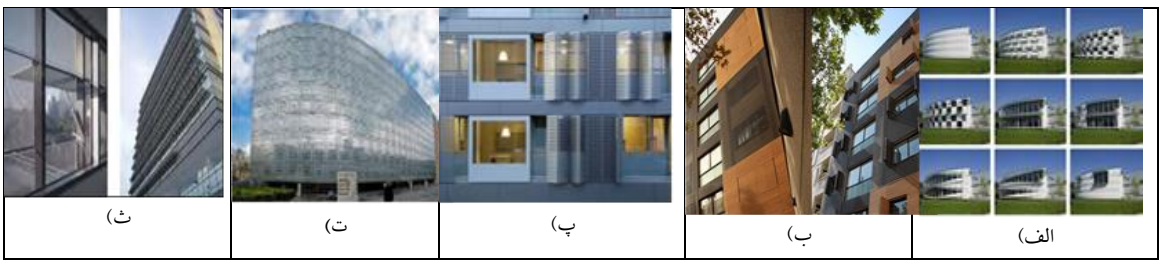
تولید انرژی غالبا با جذب حرارت خورشیدی و تبدیل آن به الکتریسته از طریق مبدل ها اتفاق می افتد. از بهترین نمونه ها پانل های فتوولتاییک هستند. این پانل ها در نماها و به ویژه در تلفیق با نماهای جنبشی به دلیل حفظ و ذخیره انرژی گرمایی جذب شده می تواند در افزایش کارایی سیستم و بهره وری انرژی تاثیر گذار واقع شود[۱۵] از سوی دیگر، فتوولتائیک نه تنها که به عنوان منبع قابل توجهی از انرژی تجدید پذیر برای تولید برق است، بلکه منبعی برای گرمایش و سرمایش در ساختمان است [۱۶]

۶–ارزیابی نمونه های اجرا شده از نمای متحرک

به بررسی نمونه های موردی پرداخته می شود:

نماهای متحرک هوشمند و کنترل روشنایی

- **نمایشگاه Kiefer** : پروژه نمایشگاه بین المللی در سال ۲۰۰۷ و با کاربری اداری-نمایشگاهی ساخته شده است و پنل های مشبک آلومینیومی به کار رفته شده در نما برای کنترل روشنایی نور روز به روش تاشونده عمل می کنند و با روش اتوماتیک تغییر میکنند و باعث ایجاد طرح های متنوع در طول روز می شوند.[۱۷] نمای این پروژه در شکل۲ نشان داده شده است.
- **ساختمان مسکونی دستور**:ساختمان مسکونی دستور در ایران در سال ۱۳۸۸ و با کاربری مسکونی ساخته شد.نمای متحرک این ساختمان مسکونی برای کنترل نور به کار گرفته شد.حرکت نمای پویای این ساختمان به روش کشویی کار میکند.در طی روز هر زمان که نور روز شدید و آزار دهنده باشد به روش دستی میتوان جلوی نور را گرفت.[۱۸] نمای این پروژه در شکل۲ نشان داده شده است.
- **مجموعه مسکونی دانشگاه دوبلین**:مجموعه مسکونی دانشگاه دوبلین در اسلوونی با عنوان کاربری مسکونی ساخته شد.مصالح نمای به کار گرفته شده از جنس پنل های آلومینیومی بوده است که برای کنرل روشنایی به کار رفته است.حرکت نمای متحرک از نوع تا شونده – کشویی و به روش دستی کنترل می شود.[۳] نمای این پروژه در شکل۲ نشان داده شده است.
- **ساختمان انستیتوی عرب**:پروژه ساختمان انستیتوی عرب در امارات متحده عربی در سال ۱۹۸۰ و با کاربری اداری-نمایشگاهی ساخته شده و نمای پویای این ساختمان برای کنترل نور و از پوسته های فلزی ساخته شده که به نور حساس بوده و با روش اتوماتیک و کامپیوتری تغییر می کند.حرکت نمای متحرک آن به روش لغزشی-کشویی است.[۱۹] نمای این پروژه در شکل۲ نشان داده شده است.
- **ساختمان منطقه ۷ کالترانس**:ساختمان منطقه ۷ کالترانس در سال ۱۹۹۴ ساخته شده وکاربری آن اداری بوده و مصالح نمای به کار گرفته شده از جنس آلومینیوم بوده است و حرکت نمای متحرک آن به روش کشویی و به روش دستی کنترل می شود.نمای متحرک به کار گرفته شده در آن بیشتر برای کنترل نور روز به کار رفته است.[۶] نمای این پروژه در شکل۲ نشان داده شده است.



شکل۲:نمای کلی نماهای متحرک هوشمند و کنترل روشنایی

الف) نمایشگاه Kiefer ب) ساختمان مسکونی دستور پ) مجموعه مسکونی دانشگاه دوبلین ت) ساختمان انستیتوی عرب ث) ساختمان منطقه ۷ کالترانس

نمای متحرک هوشمند و تهویه طبیعی

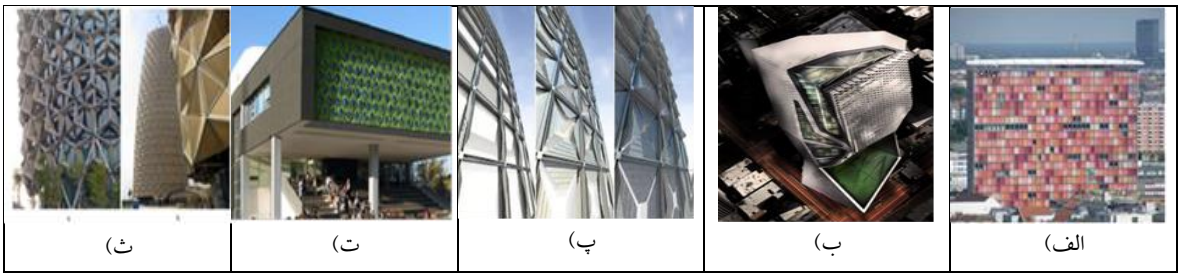
- **ساختمانGsw**:نمونه استفاده از نماهای متحرک برای تهویه در ساختمان GSW به کار رفته است .در این ساختمان پیشامدگی های متحرک این ساختمان در هنگام نیاز به تهویه به طور هوشمند باز میشود تا تهویه طبیعی در ساختمان شکل بگیرد .نکته قابل توجه ترکیب پیشا مدگی متحرک در این ساختمان و یک نمای شیشه ای در جلوی نمای دو لایه ای است تا با استفاده از اثر دودکشی عملکرد تهویه صورت پذیرد[۶]نمای این پروژه در شکل ۳ نشان داده شده است.
- **آسمان خراش شیکاگو**:هدف اصلی پوسته این ساختمان بهره گیری از تهویه طبیعی برای ساختمان است.درون پوسته ساختمان از نرم افزاری استفاده شده که شرایط آب و هوا را ثبت می کند و نسبت به آن واکنش نشان می دهد.این ایده از نتایج اصل تصفیه شبانه است که در بیشتر آسمان خراش ها رعایت می شود ودر شرایط اقلیمی گرم به خنک کردن ساختمان در طول اوقات شبانه کمک میکند.واحدهای متحرک در شب به سمت بیرون حرکت می کنند و مانند یک مکنده خلا،هوای سرد محبوس را به درون نواحی ثابت زندگی می فرستد. [۱۳] نمای این پروژه در شکل ۳ نشان داده شده است.

نماهای متحرک هوشمند و کنترل دما

- **ساختمان Helio Trace**:ساختمان Helio Trace به عنوان مرکز معماری در سال ۲۰۱۰ ساخته شده ونمای متحرک آن برای کنترل دما و درجه حرارت به کار رفته است و از پنل های آلومینیومی و با روش اتوماتیک و کامپیوتری کنترل می شود.[۲۰] نمای این پروژه در شکل ۳ نشان داده شده است.
- **ساختمان Decker Yeado**:صفحات هوشمندی که در این پروژه به کارگرفته شده است شامل متریال های هوشمندی با حافظه حرارتی است که میتواند حفره های موجود در نما را باز و بسته کنندو از این طریق تبادل گرمایی نمایند .صفحات هوشمند نسبت به تغییرات دمایی محدود اتاق ها واکنش نشان میدهند و نیازی به حسگرها،موتور محرک و نیروی برق به جهت فعال شدن ندارند.صفحات هوشمند زمانی که دمای داخلی از حد اسایش فرا تر می رود بسته میشوند و روند در یافت انرژی گرمایی خورشید را متوقف میکنند و همچنین اگر دمای دخلی خنک تر شود این سیستم با باز کردن حفره ها اجازه دریافت انرژی خورشید را میدهد[۲۱] نمای این پروژه در شکل ۳ نشان داده شده است.
- **برجهای اداری تجاری البحار**:پروژه برجهای اداری تجاری البحار در امارت متحده عربی در سال ۲۰۱۲ ساخته شده و نمای پویای این ساختمان برای کنترل نور و دما و از مصالح پشم شیشه ساخته شده و با روش اتوماتیک و کامپیوتری کنترل می شود. نمای این پروژه در شکل ... نشان داده شده است.[۲۲] نمای این پروژه در شکل ۳ نشان داده شده است.

نماهای متحرک هوشمند و تولید انرژی

- ساختمان Eve آرنا:دارای یک نمای متحرک با قابلیت تولید انرژی است .این نما در طول روز با توجه به جهت خورشید حرکت میکند وتوسط دو رینگ در بالا و پایین کنترل شده است، رینگ بالایی وزن صفحات را کنترل میکند و رینگ پایینی در مقابل نیروی جانبی باد مقاومت میکند . صفحات فتولتائیک در حدود 200 درجه چرخش میکنند و 27200 کیلوو وات انرژی در سوال تولید میکند.[۶]



الف) ب) پ) ت) ث)

شکل۳:نمای کلی نماهای متحرک هوشمند و کنترل دما –تهویه طبیعی

الف) ساختمان Gsw ب) آسمان خراش شیکاگو پ) ساختمان Helio Trace ت) ساختمان Decker Yeado ث) برجهای اداری تجاری البحار

نمونه های موردی دیگری از نماهای متحرک بررسی شد که در جدول ۱ ارائه شده است:

جدول۱:ارزیابی نمونه موردی نما متحرک

نام پروژه	محل	سال ساخت	کاربری	مصالح نما	پارامتر تاثیر گذار	نوع عملکرد	نوع حرکت	روش کنترل	مرجع
کتابخانه مرکزی فونیکس	آمریکا	نود میلادی	فرهنگی	آلومینیومی	آفتاب	کنترل روشنایی	لغزشی	کامپیوتر	[۶]
ساختمان BRE	انگلستان	۱۹۹۴	اداری	آلومینیومی	آفتاب	کنترل روشنایی	کشویی- چرخشی	کامپیوتر	[۲۳]
مرکز سایمون دانشگاه استونی بروک	نیویورک	۲۰۱۰	آموزشی	فلزات مختلف یا پلاستیک	آفتاب	کنترل روشنایی	تا شونده	کامپیوتر	[۲۴]
فرودگاه بریسبین	استرالیا	۱۹۲۵	فرودگاه	۲۵۰هزار پانل آلومینیومی	باد	زیبایی	–	–	[۲۵]
ساختمان مدیا ITC	–	۲۰۰۷	فرهنگی	بالشتک های قابل تورمETFE	آفتاب	کنترل روشنایی	جمع شونده	کامپیوتر	[۲۶]
نمایشگاه یوسو		۱۹۰۹	نمایشگاه	لاملا شیشه ای مسلح شده با فیبر پلاستیک	آفتاب	کنترل روشنایی	حرکت بر اساس محور	کامپیوتر	[۱۹]
مرکز خریدAldar		۲۰۰۶- ۲۰۱۰	مرکز خرید	فولاد- آلومینیوم	آفتاب	کنترل روشنایی	لغزشی	کامپیوتر	[۴]
ساختمان شماره ۱ محلات	ایران	۱۳۹۲- ۱۳۹۴	مسکونی	چوب	آفتاب	کنترل روشنایی	کشویی- چرخشی	دستی	[۱۸]
ساختمان اداری مطهری	ایران	۲۰۱۱	اداری	چوب	آفتاب	کنترل روشنایی	کشویی	دستی	[۱۸]

نمونه های دیگری که بررسی شد که عبارتند از:ساختمان آپارتمانی را در لوگزامبورگ، مدرسه کسب و کار Advance در پاریس، خانه استودیو،دفتر کار، هتل sheung wan، خانه های ام-ولوپ، خانه چرخشی، خانه دگرگون، برجهای دینامیکی لندن، غرفه نمایشگاهی دانمارک، نما دینامیکی ساختمان، پردیس حقوق مادرید، انیستیتو معماری کاتولینیا، ساختمان بورس اوراق بهادر غنا،Brisbane domestic terminal **و..**

۷-ارزیابی سیستم های پویایی نما

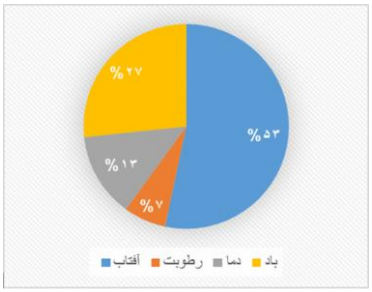
این تحقیق به بررسی تعداد ۴۰ نمای پویا ساختمانی پرداخته که نهایتا با بررسی های انجام شده نمودارهای زیر به دست آمده است:

- **پارامترهای تاثیرگذار در نماهای هوشمند**

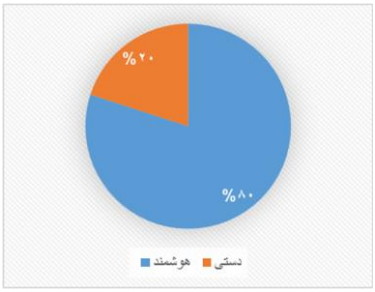
پارامترهای تاثیرگذار نماهای متحرک شامل ۴ مورد آفتاب،باد،دما،رطوبت می باشد که بررسی نماهای مختلف از نظر پارمترهای کنترلی نشان میدهد که بیش از نیمی از نماهای پویا برای کنترل آفتاب و نور طراحی شده است. پس از آن کنترل باد با ۲۷ درصد و کنترل دما با ۱۳ درصد در جایگاه بعدی قرار میگیرد و کنترل رطوبت توسط نماهای پویا تنها در ۷ درصد موارد مورد استفاده قرار گرفته است.

- **تفکیک نماهای هوشمند از نظر عوامل کنترل کننده**

روش های کنترل نمای متحرک به دو روش دستی یا هوشمند کنترل می شود که بررسی نماهای مختلف از نظر پارامتر های کنترلی نشان میدهد که بیشتر به روش هوشمند و با کمک کامپیوتر کنترل می شود و درصد کمتری به روش دستی تنظیم می شود.



شکل٤: پارامترهای تاثیرگذار در نماهای هوشمند



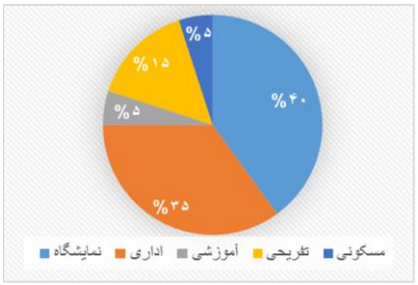
شکل٥:تفکیک نماهای هوشمند از نظر عوامل کنترل کننده

- **کاربری های مختلف در نماهای هوشمند**

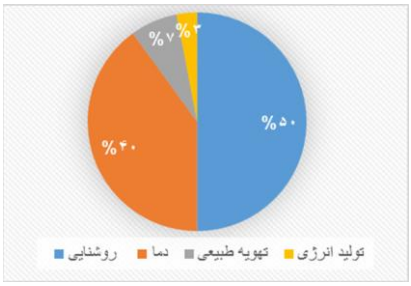
بررسی نماهای متحرک نشان میدهد که بیشتر ساختمان هایی که با نمای متحرک ساخته شده اند کاربری نمایشگاهی داشته اند.پس ازآن ساختمان هایی با کاربری اداری با حدود ۳۵ درصد بیشترین آمار ساخته شده را دارا هستند.ساختمان هایی با کاربری آموزشی و مسکونی کمترین درصد ساخت نماهای متحرک را با ۵ درصد به خود اختصاص داده اند.

- **انواع عملکرد نماهای هوشمند**

برای ساختمان هایی با نماهای متحرک ۴ عملکرد در نظر گرفته می شود.که بررسی نماهای مختلف از نظر پارامتری نشان میدهد که در حدود نیمی از نماهای متحرک به روش کنترل روشنایی و دید و دومین عملکرد با درصد حدود ۴۰ درصد با روش کنترل دما صورت میگیرد.دو نوع عملکرد در نماهای پویا کمترین کاربرد را دارا هستند که کنترل تهویه طبیعی با ۷ درصد و کنترل تولید انرژی با ۳ درصد کمترین عملکرد را به خود اختصاص می دهند.



شکل٦:کاربری های مختلف در نماهای هوشمند



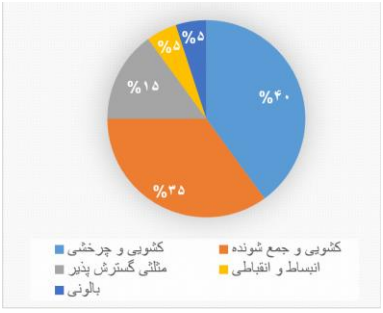
شکل۷:انواع عملکرد نماهای هوشمند

- **نحوه کنترل حرکت در نمای هوشمند**

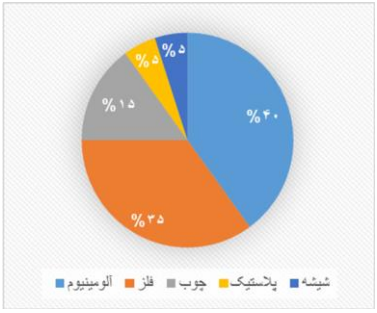
نماهای متحرک دارای ۶ نوع حرکت می باشند که بررسی های انجام شده در نمونه های مورد بررسی نشان میدهد که حرکت کشویی و چرخشی با حدود ۴۰ درصد و حرکت کشویی و جمع شونده با ۳۵ درصد به عنوان بیشترین حرکت به کار رفته در نماهای پویا به کار رفته اند.۳ حرکت دیگر کمتر به کار می روند.حرکت گسترش پذیر ۱۵ درصد و حرکت های انبساط و انقباضی و حرکت بالونی کمترین کاربرد در نماهای متحرک با ۵ درصد را به خود اختصاص داده اند.

- **مصالح پرکاربرد در نمای هوشمند**

دو نوع مصالح آلومینیوم و فلز نسبت به سایر مصالح دیگر به عنوان پرکاربردترین مصالح نماهای متحرک به کار رفته اند.پس از آن چوب با ۱۵ درصد و شیشه و پلاستیک با ۵ درصد به عنوان کمترین مصالح استفاده شده در نماهای متحرک به کار رفته اند.



شکل۸:نحوه کنترل حرکت در نمای هوشمند



شکل۹:مصالح پرکاربرد در نمای هوشمند

۸–نتیجه‌گیری

در حال حاضر نماهای پویا جایگزین نماهای ثابت و ایستا قرار گرفته اند. سیستم نمای متحرک این قابلیت را دارد که با تنظیم مقدار نور ورودی، آسایش ساکنان رافراهم کرده و پاسخگو به شرایط اقلیمی میباشد. همچنین با تمهیداتی به جریان هوا و تهویه کمک میکند. نمای متحرک با امکان صرفه جویی در مصرف انرژی باعث کاهش هزینه های جاری ساختمان میشود.در این پژوهش ابتدا به تقسیم بندی های مختلف نماهای پویا پرداخته شده و آنها را از لحاظ ساختار ظاهری و نحوه حرکت تقسیم بندی شده اند و به بررسی نماهای هوشمند به عنوان یکی از نماهای پرکاربرد پرداخته شده است. در این پژوهش با تجزیه و تحلیل نمونه های نماهای متحرک این نتایج حاصل شد:

- مهمترین پارامتر تاثیرگذار در نماهای پویا آفتاب می باشد و کمترین پارامتر تاثیر گذار رطوبت می باشد.
- بیشترین درصد عملکرد نماهای متحرک به کنترل روشنایی و دید و کمترین آن به تولید انرژی اختصاص دارد.
- درصد زیادی از نماهای متحرک به واسطه کامپیوتر و هوشمند تنظیم می شوند و درصد کمتری به واسطه دست کنترل می شوند.
- بیشترین نوع کاربری این دسته از نماها به نمایشگاهی اختصاص دارد و در صد کمتری با کاربری مسکونی ساخته می شوند.
- بیشترین نحوه حرکت به کار رفته در نماهای پویاکشویی و چرخشی و کمترین نوع از حرکت بالنی است.
- همچنین مصالح بیشتر آنها از نوع آلومینیومی ساخته شده است و کمترین مصالح به کار رفته از نوع شیشه ساخته شده اند.

۹–مراجع

1.Ahmed M., A.k. Abel Rahman, and A.H. Ali, 2014. Development of intelligent façade based on outdoor invironment and indoor thermal comfort, Procedia Technology 19: 742 – 749

2.Zuk W, Clark. R. Kinetic Architecture, Van Nostrand Reinhold, New York,1970.

۳. آصفی، مازیار و مجید احمدنژاد کریمی (۱۳۹۵)فناوری معماری متحرک، اصول نظری و عملی معماری تغییر شکل پذیر تهران: انتشارات نقش همراز

۴. تراز، م و تقی زا، ک و عزیزی قهرودی، م(1394). ،" تحلیل انرژی و میزان کارآمدی یک نمونه نمای متحرک در شهر - تهران"، فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان

5. GhaffarianHoseini, A.H,. Berardi. U,. GhaffarianHoseini,A., and Makaremi,N. (2012), “Intelligent Facades in Low-Energy Buildings”, British Journal of Environment & Climate Change, 2(4), pp 437-464.

۶. فائزه سپهرداد،دکتر مریم آزموده،وحید محمد حسین زاده،تاثیر نماهای هوشمند شهری بر ابعاد توسعه پایدار،دومین همایش بین المللی عمران،معماری و شهر سبز پایدار

۷.مهدی مختاری،حمیدرضا عامری سیاهویی،فاطمه احودی سرخونی،نقش نماهای هوشمند متحرک در ارتقا بهره وری و کاهش اتلاف مصرف انرژی _کنگره فناوری های نوین ایران

8. Kamil Sharaidin. (2014). Kinetic Facades: Towards design for Environmental Performance. Doctor of Philosophy (PhD), Architecture and Design, RMIT University.

9. Ghamari, H., Asefi, M., 2010. Toward Sustainability by the Application of Intelligence Building Systems. The Second International Conference on Sustainable Architecture and Urban Development, Amman, Jordan, SAUD2010.

10. Kirkegaard. P.H. Shape Control of Responsive Building Envelopes. (IASS). Shanghai, China, 2010

۱۱. توسلی، ن. (۱۳۹۳) ، "نماهای هوشمند،تعاملی و پاسخگو" ، نخستین همایش ملی سیستم های هوشمند مدیریت ساختمان با رویکرد های بهینه سازی مصرف انرژی، سازمان نظام مهندسی ساختمان استان قزوین، قزوین

۱۲.نصراللهی، ف. (۱۳۹۳)، "ساختمان های اداری انرژی کارا : بهره وری انرژی با طراحی معماری"، مجموعه مقالات تحقیقاتی پروژه شهرهای جوان، جلد یازدهم

۱۳.شهابی، ا و رسولی لارمایی، م و شهبازی، ی. (۱۳۹۳)، "بررسی عملکرد نماهای متحرک هوشمند در بهینه سازی مصرف انرژی"، دومین کنگره بین المللی سازه، معماری و توسعه شهری، تبریز، ایران

14. Xu,L., and Ojima,T.(2007), “Field experiments on natural energy utilizationin are sidential house with a double skin façade system”, BuildEnviron 2014, pp23–42.

15. Kensek ,K., and Hansanuwat, R.(2011),” Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems”, Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment, CSABE,1, pp 27-46.

16. GhaffarianHoseini, A.H,. Berardi. U,. GhaffarianHoseini,A., and Makaremi,N. (2012), “Intelligent Facades in Low-Energy Buildings”, British Journal of Environment & Climate Change, 2(4), pp 437-464.

۱۷. سهیل عربی،نسیم غفوری بارجین،غزاله فائزپور،عملکرد نماهای متحرک و سازه های آن،کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران،معماری،مدیریت شهری و محیط زیست،کرج-دی ۱۳۹۶

18.http://archline.ir/?s=%D9%BE%D9%88%DB%8C%D8%A7+%D8%AF%D8%B1+%D8%A7%DB%8C%D8%B1%D8%A7%D9%86.1398/9/22

19. Edupuganti, S. R. (2013). “*Dynamic Shading: An Analysis”,* A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Architecture, Department of Architecture, University of Washington, pp 1-64.

20. Elkhayat, Yousef. O. (2014), “Interactive Movement in Kinetic Architecture”, Journal of Engineering Sciences, Assiut University Faculty of Engineering, 42(3), pp 816- 845.

21. Edupuganti, Siva Ram. "Dynamic Shading: An Analysis." PhD diss., University of Washington, 2013.

۲۲. میلاد مقاری،پوششهای هوشمند ساختمان: طراحی معماری در تعامل با محیط زیست،کنفرانس بین المللی نخبگان عمران،معماری،شهرسازی ،خرداد۱۳۹۵

23. Wigginton M, Harris J. Intelligent skins. Butterworth-Heinemann Linacre House”. Jordan Hill. Oxford, 2002.

24. Alkhayyat, Jamil Majed Jamil. "Design strategy for adaptive kinetic patterns: creating a generative design for dynamic solar shading systems." PhD diss., University of Salford, 2013

۲۵. علی اکبر خوئی، ضحی هادی زاده" بررسی تاثیرات استفاده از نمای هوشمند"کنگره بین المللی علوم و مهندسی ۱۳۹۶

۲۶. آزاده شکری هراتی،ماریا کرد جمشیدی،نمای متحرک هوشمند: نمایی با عملکرد بالا در راستای رسیدن به معماری تطبیق پذیر