نشریه علمی (فصلنامه) «انرژی ایران»
دوره ۲۲، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحه ۲۱ – ۵

تأثیر تیپولوژی ساختمان در کاهش مصرف انرژی در ساختمان مدارس شهر اصفهان

[۱] میترا قرمزی، [۲] فرشاد نصراللهی *

چکیده

با توجه به تأثیر اقلیم بر معماری به ویژه در کشور ایران که شرایط اقلیمی در آن کاملاً مشهود است و همچنین محدود بودن سوخت‌های فسیلی، طراحی معماری مناسب می‌تواند با استفاده از راهکارهای سامانه‌های غیرفعال به کاهش مصرف نهایی ساختمان منجر شود. یکی از راهکارهای طراحی، تعیین شکل و فرم متناسب با اقلیم و چگونگی جا نمایی فضاهای داخلی می‌باشد. مدارس به دلیل الگوی اشغال فضاها و نوع کاربران و زمان استفاده (۹ ماه از سال) از پتانسیل بیشتری برای طراحی همساز با اقلیم برخوردار است. از سوی دیگر میانگین دمای ماهانه در شهر اصفهان، حدود ۷ ماه از سال (مهر تا فروردین) پایین‌تر از محدوده پایینی شرایط آسایش حرارتی ارائه شده در استاندارد اشری است. در این مقاله از طریق مدل‌سازی دینامیک انرژی، تأثیر فرم بهینه، تعداد طبقات و جانمایی مناسب فضای کلاس‌ها در جهت کاهش مصرف انرژی کل برای یک نمونه مدرسه در شهر اصفهان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از آنالیزها نشان داده است که تنها با بهره‌گیری از فرم بهینه ساختمان و جانمایی درست فضاهای داخلی می‌توان مصرف انرژی اولیه ساختمان را نسبت به نامناسب‌ترین فرم بستر پژوهش به میزان ۹٪ کاهش داد.

تاریخ دریافت:
۱۳۹۶ / ۰۲ / ۰۳

تاریخ پذیرش:
۱۳۹۷ / ۱۰ / ۰۶

کلمات کلیدی:
فرم بهینه،
مدرسه،
صرفه‌جویی انرژی،
مدل‌سازی انرژی،
اصفهان

۱. کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، اصفهان، ایران mitraghermezi@yahoo.com
۲. استادیار دانشگاه هنر برلین و هنر اصفهان f.nasrollahi@udk-berlin.de

۱. مقدمه

انرژی به دست آمده از سوخت‌های فسیلی پایان‌پذیر هستند، به همین جهت استفاده بجا و حساب شده و اصلاح راندمان انرژی و بهینه کردن مصرف آن بسیار توسعه یافته است. از سوی دیگر می‌بایست تولید انرژی را به طرف انرژی‌های تجدیدپذیر سوق داد. معماری سنتی ایران نمونه آشکار و بارزی از چنین استفاده بجا و ارزنده از فرهنگ بکارگیری روش غیرفعال را به تجربه و نمایش گذاشته است. احیاء و باز زنده‌سازی فرهنگ صرفه‌جویی می‌تواند به سادگی ما را در این جهت یاری دهد.

ساختمان‌ها یکی از بزرگترین بخشهای مصرف‌کننده انرژی در اکثر جوامع محسوب می‌گردد. توجه به فن‌آوری‌های ساختمان به منظور صرفه‌جویی و بهینه‌سازی مصرف انرژی به میزان بسیار مؤثری می‌تواند در این راستا نقش سازنده داشته باشد. این نکته قابل ذکر است که مصرف زیاد انرژی به هیچ وجه به معنی آسایش در ساختمان نیست. نارضایتی‌های موجود در ارتباط با عدم وجود آسایش، به تجهیزات مکانیکی سرمایشی و گرمایشی ساختمان باز می‌گردد. عوامل مؤثر در راندمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی به سه دسته تقسیم می‌گردند:

الف) طراحی معماری ساختمان

ب) طراحی تأسیسات برقی و مکانیکی

ج) رفتار ساکنین [۱]

عوامل سه‌گانه فوق جدای از یکدیگر عمل نمی‌نمایند و یقیناً استراتژی مصرف بهینه انرژی در طراحی ساختمان هم به سیستم تأسیسات رفته و همه به رفتار ساکنین ساختمان وابسته است. زیرا رشد فزاینده‌ای در مشاهدات رضایت ساکن به‌کار ین در ساختمان‌هایی که از انرژی غیرفعال مانند روشنایی روز و تهویه طبیعی هوا، استفاده می‌کنند وجود دارد.

در بخش طراحی معماری عواملی چون نحوه استقرار ساختمان و فرم ساختمان نیز در میزان اتلاف انرژی نقش مؤثری را دارد. نحوه استقرار و فرم ساختمان از دو جهت می‌تواند اتلاف انرژی را کاهش دهد. یکی جهت تابش خورشید و دیگری جهت وزش باد می‌باشد. پیش‌آمدگی و عقب‌رفتگی‌ها در فرم ساختمان موجب اتلاف حرارتی می‌گردد. پلان‌های فشرده اتلاف کمتری دارند. طراحی معماری غیرفعال با توجه به میزان تابش خورشید و باد می‌تواند تا حدود قابل توجهی از گرمایش و سرمایش

ساختمان را تأمین نماید، ضمن اینکه هزینه بیشتری را در ساخت ساختمان در بر نخواهد داشت. بـرای دستیابی به طراحی معماری غیرفعال کافی است به شش اصل آن توجه داشته باشیم.

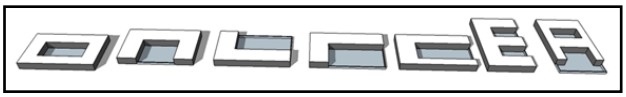
۱. نحوه استقرار ساختمان ۲. استفاده از فضای سبز و درخت ۳. موقعیت و اندازه بازشوها ۴. نحوه چیدمان داخلی فضایی ۵. طراح ۶. گرمایش و سرمایش.

۲. شکل و فرم

نیاز به انرژی در یک ساختمان به شدت بـه شـکل و تیپولـوژی سـاختمان بسـتگی دارد. در واقـع تیپولوژی، فرم و شکل اجزای مهم در جذب، ذخیره‌سازی و انتشار گرما در طول روز و شب، و در نتیجـه عامل کلیدی برای نیاز به گرمایش و سرمایش در سـاختمان‌هـا هسـتند [۶]. فـرم بهینـه سـاختمان در اقلیم‌های گوناگون متفاوت است. فرم و شکل ساختمان باید با اثـرات مطلـوب و یـا نـامطلوب حرارتـی محیط مطابقت داشته باشند. بر این اساس، برخی از اشکال و فرم‌ها نسبت به برخـی دیگـر در منـاطق مختلف ترجیح داده می‌شوند. شـکل و فـرم‌هـای مختلـف بـدلایل متعـدد از جملـه، میـزان سـطوح در جبهه‌های مختلف، نسبت سطح به حجم، اثرگذاری بر میزان دریافت انرژی تابشی متفاوت در زمان‌های متفاوت و غیره، عملکرد حرارتی متفاوتی دارند. بنابراین ساختمان‌هـای بـا فـرم‌هـای متفـاوت، میـزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی متفاوتی دارند. همچنین به دلیل تفاوت در جداره‌های نـورگیر ایـن ساختمان‌ها، میزان مصرف انرژی روشنایی آنها نیز متفاوت است. در واقع شـیوه‌هـای معمـاری کـاهش مصرف انرژی به این امر می‌پردازد که چگونه می‌تـوان تنهـا بـا طراحـی معمـاری مناسـب و انتخـاب فاکتورهای معماری و شهرسازی اثرگذار بر مصرف انرژی ساختمان برای هر اقلیم از قبیل جهت‌گیـری و کشیدگی ساختمان، جانمایی و چیدمان فضاهای داخلی، تعداد طبقات و غیره، میـزان مصـرف انـرژی ساختمان‌ها را کاهش داد. یکی دیگر از مزایای کاهش مصرف انرژی با طراحی معماری، پتانسیل بالای صرفه‌جویی انرژی با این روش می‌باشد. به‌واسطه شرایط اقلیمی در ایران، میزان تأثیر طراحی معمـاری بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها بسیار زیاد است [۵].

با توجه به موضوع پژوهش به سراغ سازمان نوسازی مدارس شهر اصفهان رفته و فرم‌های غالـب مدارس بررسی شد. اغلب مدارس طراحی شده توسط سازمان نوسازی مدارس شهر اصفهان به ۷ فـرم فیزیکی کلی طبق (شکل۱) ساخته شده است. در راستای تبیین فرم بهینه برای سـاختمان آموزشـی در بستر پژوهش، ۸ فرم متفاوت طبق برنامه فیزیکی طراحی مدرسه و ویژگی‌هـای سـایت از لحـاظ فـرم

زمین و دسترسی‌ها طراحی و همچنین براساس فرم‌های موجود، مدل‌سازی و آنالیز شده است. این ۸فرم شامل: فرم یو شکل رو به شمال (تیپ۱)، فرم یو شکل رو به جنوب (تیپ۲)، حیاط مرکزی (تیپ۳)، فرم ال شکل رو به شرق (تیپ۴)، فرم ال شکل رو به شمال (تیپ۵)، فرم ال رو به غرب (تیپ۶)، فرم خطی رو به جنوب (تیپ۷)، فرم خطی رو به شمال (تیپ۸). فرم‌های مدل‌سازی شده فرم‌های معمول استفاده شده برای طراحی مدارس در شهر اصفهان می‌باشند.



شکل ۱. فرم کلی مدارس ساخته شده توسط سازمان نوسازی و تجهیز مدارس اصفهان.

۳. اقلیم شهر اصفهان

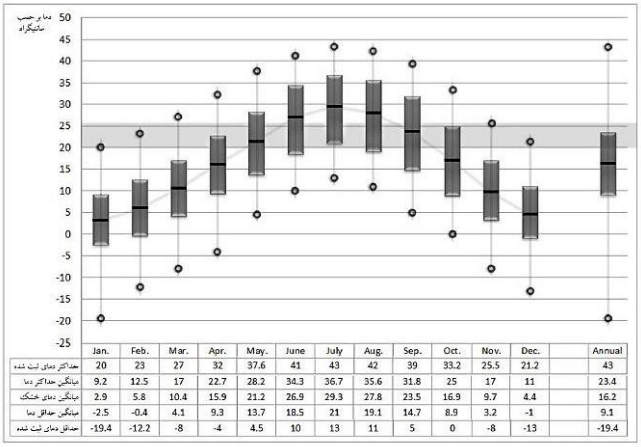
اصفهان به عنوان یکی از شهرهای مهم ایران، از لحاظ کلیات آب و هوایی در تقسیم‌بندی اقلیمی چهارگانه مرتضی کسمایی در حوزه اقلیم فلات مرکزی (گرم و خشک) [۴] و در تقسیم‌بندی ۱۵ گانه مسعودیان در ناحیه ایران مرکزی قرار گرفته است. همچنین بستر این پژوهش بنا بر تقسیم‌بندی کوپن جز اقلیم گرم و خشک و طبق تقسیم‌بندی اولگی دارای زمستانی سرد و تابستانی گرم و خشک است[۹]. شاخص‌ترین عامل طبیعی که باعث ایجاد تغییرات مداوم در شرایط آب و هوایی یک نقطه روی سطح زمین می‌گردد نیروی خورشید است که علاوه بر روشنایی، عامل اصلی گرمایش یک منطقه نیز است [۴]. طبق شکل (۳-۴)، گرم‌ترین ماه سال در شهر اصفهان تیر ماه و سردترین آن دی ماه می‌باشد. همچنین می‌توان متوجه شد که در بیشتر روزهای سال (حدود ۷ ماه) دما زیر خط آسایش اشری بوده و در نتیجه در اصفهان نیاز به گرمایش بیشتر از سرمایش وجود خواهد داشت. از آنجا که بخشی از زمان مدارس در ماه‌های سرد سال برگزار می‌گردد تأمین گرمایش مورد توجه قرار می‌گیرید. نفوذ مستقیم آفتاب به کلاس‌های درس می‌تواند عامل مهمی در گرم شدن کلاس‌ها باشد. همچنین این انرژی می‌تواند بخشی از حرارت تلف شده را جبران نماید.

راهکارهای معماری مؤثر در جهت بهره‌گیری از انرژی خورشید جهت تأمین انرژی حرارتی برای گرمایش شامل:

۱. استقرار ساختمان در جهت تابش حداکثر خورشید در فصل سرد؛ البته به این نکته باید توجه نمود که نور مستقیم در فضاهای آموزشی موجب خیرگی چشم شده و مشکلاتی برای دانش‌آموزان به وجود می‌آورد.

۲. استفاده از مصالحی با ظرفیت حرارتی زیاد؛ تا قادر باشد به میزان قابل توجهی وضعیت گرمای هوای داخلی خود را کنترل نمایید. البته وجود دانش‌آموزان در کلاس و گرمای حاصل از فعالیت آنها در شرایط مختلف (ایستادن، نشستن، قدم زدن و...) فاکتورهای مؤثری در تعیین بار گرمایی و سرمایی مورد نیاز برای فضاهای آموزشی می‌باشد. گرمای دانش‌آموزان هنگام حل مسئله تا ۴۰ درجه می‌باشد [۳].

۳. فرم ساختمان؛ باید به گونه‌ای باشد که جداره‌هایی که بیشترین میزان تابش آفتاب را درزمستان دریافت می‌کنند بزرگتر و جداره‌هایی که در تابستان دارای بیشترین تابش هستند به حداقل برسد. براساس نظر اولگی [۷] بهتر است در اقلیم گرم و خشک ساختمان‌های آموزشی فشرده و پلان مربع و حداکثر کشیدگی ۱:۱/۳ در راستای شرقی ـ غربی داشته باشد.



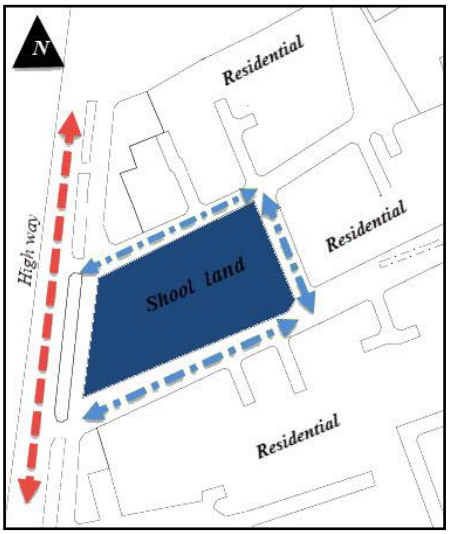
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Annual
حداکثر دمای ثبت شده	20	23	27	32	37.6	41	43	42	39	33.2	25.5	21.2	43
میانگین حداکثر دما	9.2	12.5	17	22.7	28.2	34.3	36.7	35.6	31.8	25	17	11	23.4
میانگین دمای خشک	2.9	5.8	10.4	15.9	21.2	26.9	29.3	27.8	23.5	16.9	9.7	4.4	16.2
میانگین حداقل دما	-2.5	-0.4	4.1	9.3	13.7	18.5	21	19.1	14.7	8.9	3.2	-1	9.1
حداقل دمای ثبت شده	-19.4	-12.2	-8	-4	4.5	10	13	11	5	0	-8	-13	-19.4

شکل ۲. به ترتیب از بالا به پایین: حداکثر دمای ثبت شده، میانگین حداکثر و حداقل دمای روزانه هوا، میانگین دمای خشک، میانگین حداقل دمای روزانه هوا، حداقل دمای ثبت شده (درجه سانتیگراد) [۲]

۴. روش انجام پژوهش

برای تخمین اثر طراحی معماری بر مصرف انرژی ساختمان، در اقلیم گرم و خشک، با همکاری سازمان نوسازی مدارس شهر اصفهان، زمینی که مناسب برای ساخت مدرسه می‌باشد انتخاب گردید. زمین مورد نظر دارای کشیدگی شرقی – غربی و به سمت جنوب و دارای دسترسی از هر چهار سمت می‌باشد (شکل ۲). مرحله اول پروسه شبیه‌سازی، مدل‌سازی فرم‌های مناسب ساختمان در بستر

پژوهش می‌باشد تا براساس میزان مصرف انرژی اولیه[۱] بتوان به فرم مناسب دست یافت. نتایج مدل‌سازی اولیه براساس نرم‌افزار دیزاین بیلدر در سه حوزه روشنایی، گرمایش، سرمایش و انرژی اولیه مورد بررسی قرار گرفت. مدرسه انتخابی با مصالح و ساختاری که حداکثر شباهت با وضعیت موجود داشته مدل شده است داده‌هایی که به نرم‌افزار به‌صورت پیش فرض وارد می‌شود.[۲]



شکل۳. زمین آموزشی برای طراحی ساختمان مدرسه انرژی کارا

۵. فرم بهینه

فرم‌های به دست آمده از بررسی فرم مدارس شهر اصفهان برای این بخش مورد استفاده قرارمی‌گیرد. شیوه آنالیز در این پژوهش به این صورت می‌باشد که ۸ فرم متفاوت در نرم‌افزار مورد نظر

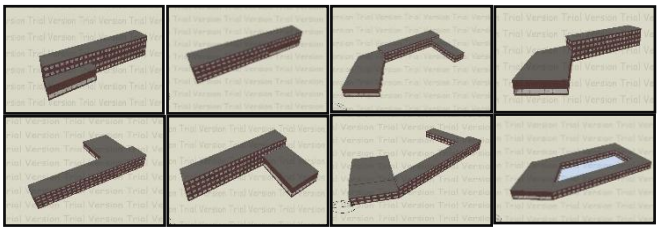
۱. انرژی اولیه= (انرژی روشنایی+ سرمایشی) برق × ۳/۶ + (انرژی گرمایشی) گاز × ۱/۱

۲. ساعت کارکرد مدرسه: یک شیفت از ساعت ۷:۳۰ صبح تا ۱۴:۰۰ از اول مهر تا ۱ تیر بصورت تمام وقت به جز تعطیلی پنج‌شنبه و جمعه.

دیوارهای خارجی: ضخامت ۳۰ سانتی‌متر و دیوارهای داخلی ۱۵ و ۲۲ سانتی‌متر. سقف طبقات: تیرچه بلوک با اندود گچ و خاک. پوشش نهایی بام: آسفالت.

سیستم گرمایش و سرمایش: مرکزی (با ۷۰ درصد بازدهی گرمایش و ۷۵ درصد بازدهی سرمایش). سیستم روشنایی: ترکیب نور طبیعی و مصنوعی با استفاده از لامپ‌های فلورسنت. (سازمان نوسازی مدارس اصفهان ۱۳۹۲)

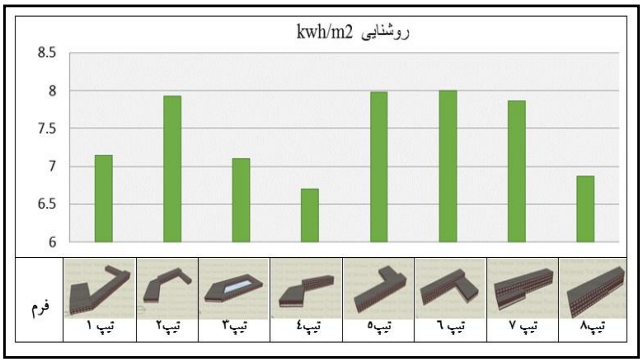
مدل‌سازی شده است (شکل ۳). سپس اطلاعات اولیه شامل: فعالیت‌ها (تعداد افـراد، تجهیـزات، میـزان روشنایی و ست پوینت‌ها)، ساختار و مصالح (دیوار، سـقف، کـف)، بازشـوها (درصـد پنجـره‌هـا و ابعـاد پنجره‌ها)، تأسیسات مکانیکی (سرمایش، گرمایش و تهویه) وارد نرم‌افزار گردید. با ثابت بودن اطلاعات اولیه و صرفاً با تغییر فرم به عنوان متغیر اعمال شده، میزان انرژی گرمایشـی، سرمایشـی، روشـنایی و انرژی اولیه برای ۸ فرم بررسی و مقایسه گردید.



شکل ۴. فرم‌های مختلف بررسی شده توسط نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای ساختمان مدرسه انرژی کارا

۵-۱. انرژی روشنایی

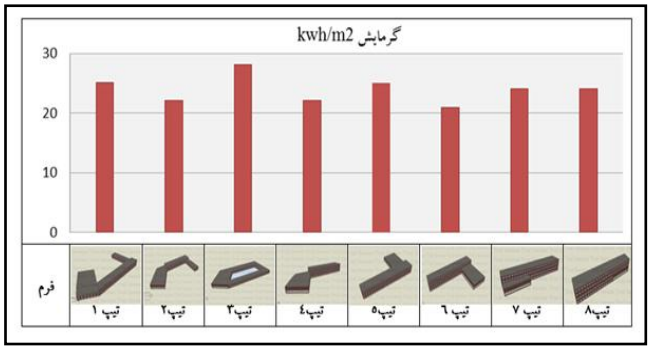
بررسی نتایج حاصل از آنالیزها (شکل ۴) نشان می‌دهد که میزان مصرف انرژی روشـنایی در فـرم ال رو به غرب (تیپ ۶) حداکثر و در مدرسه با فرم ال به سمت شرق (تیپ ۴) و حیاط مرکزی (تیـپ۳) حداقل است. نتایج نشان می‌دهد که هر چه از فرم خطی به سمت فرم حیاط مرکـزی پـیش مـی‌رویـم میزان مصرف انرژی روشنایی روند نسبتاً کاهشی دارد. دلیل این امر چرخش ساختمان به سمت جنـوب شرقی می‌باشد، که با وجود اینکه سایه‌اندازی در ساختمان افزایش پیدا می‌کند، ولی به دلیل بهره‌مندی بخش زیادی از ساختمان از نور شرقی و غربی میزان مصرف انرژی روشنایی رو به حـداقل مـی‌رسـاند. بنا بر نتایج آنالیزها می‌توان مصرف انرژی روشنایی برای ساختمان مدرسه بستر پژوهش با انتخاب فرم مناسب به میزان ۲۱٪ نسبت به نامناسب‌ترین فرم کاهش داد.



شکل ۵. میزان مصرف انرژی روشنایی برای ساختمان مدرسه با فرم‌های مختلف (جهت شمال به سمت بالا)

۵-۲. انرژی گرمایشی

نتایج حاصل از آنالیزها متفاوت بودن عملکرد حرارتی ساختمان مدرسه با فرم‌های مختلف را نشان می‌دهد. ساختمان با فرم ال شکل رو به غرب (تیپ۶) و ال شکل به شرق (تیپ۴) حداقل انـرژی لازم برای گرمایش و ساختمان حیاط مرکزی (تیپ ۳) حداکثر مصرف انرژی گرمایشی را دارند. با توجه بـه نتایج حاصل از آنالیزها می‌توان حدود ۳۳/۸٪ با انتخاب فرم بهینه در بستر پژوهش در مصـرف انـرژی برای گرمایش صرفه‌جویی کرد. (شکل ۶)

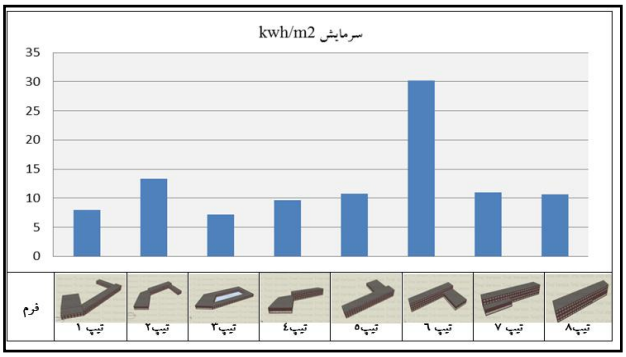


شکل ۶. میزان مصرف انرژی گرمایشی ساختمان مدرسه با فرم‌های متفاوت (جهت شمال به سمت بالا).

۵-۳. انرژی سرمایشی

مصرف انرژی برای سرمایش ساختمان مانند مصرف انرژی روشنایی و گرمـایی تحـت‌تـأثیر فـرم ساختمان متفاوت است. براساس (شکل ۷) انرژی سرمایشی برای ساختمان مدرسه با فرم حیاط مرکزی

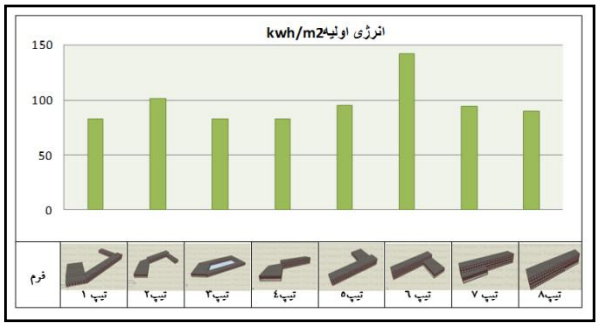
(تیپ۳) به دلیل حداکثر سایه‌اندازی فرم بر روی خود حداقل و برای ساختمان بـا فـرم ال رو بـه غـرب (تیپ۶) به دلیل سایه‌اندازی کمتر و دریافت تابش بیشتر حداکثر است. با توجه به نتایج آنالیزها می‌توان بیان کرد که با گزینش فرم مناسب می‌توان ۷۹٪ در میزان مصرف انرژی بـرای سـرمایش نسـبت بـه نامناسب‌ترین فرم در مدرسه مورد بررسی صرفه‌جویی کرد.



شکل ۷. میزان مصرف انرژی سرمایشی ساختمان مدرسه با فرم‌های متفاوت (جهت شمال به سمت بالا).

۵-۴. انرژی اولیه

با توجه به شکل ۸ میزان مصرف انرژی اولیه برای ساختمان هنرستان با فرم حیاط مرکزی (تیپ۳) و یو شکل به سمت شمال (تیپ۱) در کمترین میزان می‌باشد و فرم ال شکل به سمت شرق (تیپ۴) در رتبه دوم قرار می‌گیرد. برای فرم ال شکل به سمت غرب (تیپ ۶) به علت مصرف بیشتر انرژی برای سرمایش نسبت به ۷ فرم دیگر حداکثر است. با توجه به شکل ۸ می‌توان با گزینش فرم مناسب برای بستر پژوهش ۴۲٪ نسبت به نامناسب‌ترین فرم در میزان مصرف انرژی اولیه صرفه‌جویی کرد.



شکل ۸. میزان مصرف انرژی اولیه ساختمان مدرسه با فرم‌های متفاوت (جهت شمال به سمت بالا).

جمع‌بندی فرم بهینه

بررسی ۸ فرم طراحی و مدل‌سازی شده حاکی از آن است که علاوه بر مسئله انـرژی فاکتورهـای زیادی در تعیین فرم مدارس مؤثر بوده ولی اکثر اوقات صرفاً براساس سلیقه طراح بدون در نظر گـرفتن اینکه طراحی معماری بر میزان مصرف انرژی و تأمین آسایش در مدارس مؤثر بوده فـرم‌هـای مختلـف طراحی و اجرا می‌شوند. اقدامات شبیه‌سازی و بررسی عملکرد حرارتی و روشنایی سـاختمان در مراحـل اولیه طراحی زمانی که آلترناتیوهای مختلف توسط معمار طراحی می‌شود و به دنبـال معیارهـایی بـرای ارزیابی و گزینش آلترناتیو برتر است، بسیار سودمند می‌باشد. در این پژوهش هدف انتخاب فرم متناسب با بستر پژوهش می‌باشد که با آنالیز ۸ فرم متناسب با برنامه فیزیکی مدارس، نتایج جدول ۱ بـه دسـت آمده است.

جدول ۱. تأثیر فرم‌های مختلف بر میزان مصرف انرژی ساختمان مدرسه در اصفهان.

کل								
	تیپ ۱	تیپ۲	تیپ۳	تیپ۴	تیپ۵	تیپ ٦	تیپ ۷	تیپ۸
روشنایی	۷/۱۴	۷/۹۳	۷/۱	۶/۷	۷/۹۸	۸	۷/۸۶	۸/۸۷
گرمایشی	۲۵/۱۲	۲۲/۱۴	۲۸/۱۵	۲۲/۰۸	۲۵	۲۰/۹۷	۲۴/۰۶	۲۴/۱
سرمایشی	۸/۰۱	۱۳/۳۳	۷/۲	۹/۶	۱۰/۷۵	۳۰/۱۶	۱۰/۹۴	۱۰/۶۸
اولیه	۸۲/۵۵	۱۰۰/۹۹	۸۲/۵۴۵	۸۳/۰۶۸	۹۵/۰۳	۱۴۲/۵۴۳	۹۴/۲۴۶	۸۹/۷۹
کاهش مصرف انرژی			۴۲٪					

مأخذ: نتایج تحقیق

۶. تعداد طبقات

تعداد طبقات ساختمان به علت تغییر در نسبت سطح به حجم ساختمان در میـزان مصـرف انـرژی ساختمان تأثیر دارد. در راستای تبیین تعداد طبقات بهینه برای ساختمان فرم حیاط مرکزی که از مرحلـه قبل مورد تأیید قرار گرفت با تعداد طبقات ۲ تا ۵ طبقه مدل‌سازی و آنالیز شـده اسـت. تـا بـدین‌وسـیله بهینه‌ترین حالت از نظر تعداد طبقات برای ادامه پژوهش انتخاب گردد.

۶-۱. انرژی روشنایی

با توجه به شکل ۹ با افزایش تعداد طبقات از ۲ تا ۵ انرژی لازم برای روشنایی کاهش پیدا می‌کند. انرژی لازم برای روشنایی برای در حالت ساختمان ۲ طبقه حداکثر و در ۵ طبقه حداقل بوده است. بنابراین افزایش تعداد طبقات تأثیر مثبتی بر کاهش مصرف انرژی روشنایی دارد.

شکل ۹. میزان مصرف انرژی روشنایی، گرمایشی و سرمایشی ساختمان مدرسه با تعداد طبقات مختلف

۶-۲. انرژی گرمایشی

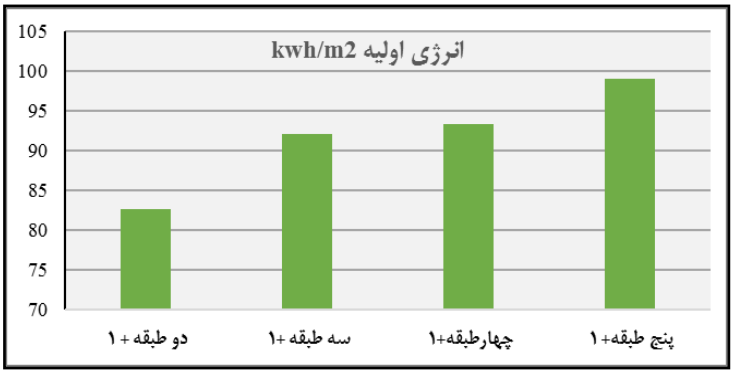
با افزایش تعداد طبقات مقدار انرژی لازم برای گرمایش افزایش پیدا می‌کند، به‌طوری که در ساختمان ۱ طبقه حداقل و در ۵ طبقه حداکثر است.

۶-۳. انرژی سرمایشی

با افزایش تعداد طبقات از ۲ تا ۵ انرژی لازم برای سرمایش فضاها تقریباً روند افزایشی دارد. ساختمان ۳ طبقه کمترین میزان و ۵ طبقه بیشترین میزان مصرف انرژی سرمایشی را دارد.

۶-۴. انرژی اولیه

با توجه به شکل ۱۰ با افزایش تعداد طبقات از ۲ تا ۵ انرژی اولیه افزایش پیدا می‌کند.

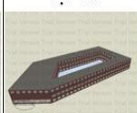
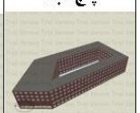


شکل ۱۰. میزان مصرف انرژی اولیه ساختمان مدرسه با تعداد طبقات مختلف

جمع‌بندی تعداد طبقات بهینه

مقدار انرژی برای گرمایش و سرمایش با افزایش تعداد طبقات افزایش و انرژی روشنایی کاهش پیدا می‌کند. ولی به طور کلی انرژی اولیه روند افزایشی را با افزایش تعداد طبقات دارد. با توجه به نتایج آنالیزها، بهینه‌ترین حالت تعداد طبقات ساختمان حیاط مرکزی مورد تأیید از بخش اول، ۲ طبقه می‌باشد که با برنامه فیزیکی و تعداد دانش‌آموزان مدرسه مورد پژوهش همخوانی بیشتری دارد. که به میزان ۱۶٪ می‌توان نسبت به حالت ۵ طبقه کاهش مصرف انرژی داشت. البته طبق آیین‌نامه سازمان نوسازی مدارس، ساختمان هنرستان‌ها می‌توانند تا ۴ طبقه هم ساخته شود که بسته به برنامه فیزیکی و فرم ساختمان می‌تواند تا ۴ طبقه نوسان داشته باشد.

جدول ۲. تأثیر تعداد طبقات بر میزان مصرف انرژی در ساختمان مدرسه مورد بررسی.

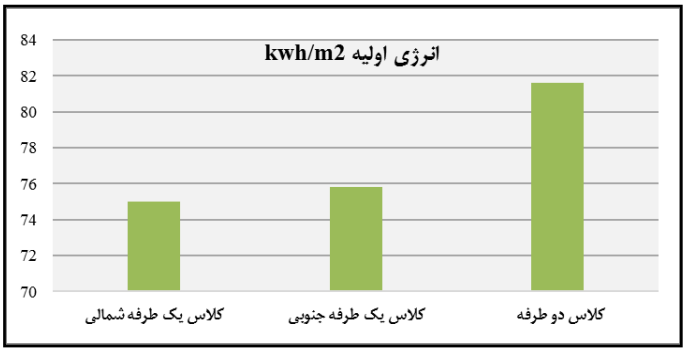
تعداد طبقات بهینه	شکل		دوطبقه	سه طبقه	چهار طبقه	پنج طبقه
						
	Kwh/m2	روشنایی	۷/۶۱	۷/۲	۷	۶/۸۷
		گرمایشی	۲۸/۱۵	۳۲/۲۴	۳۲/۷۷	۳۳/۲۴
		سرمایشی	۷/۲	۸/۲	۸/۸۷	۹/۳۱
		اولیه	۸۲/۵۴۵	۹۲/۱۰۴	۹۳/۳۷	۹۹/۰۱
	کاهش مصرف انرژی		٪۱۶			

مأخذ: نتایج تحقیق

۷. جانمایی فضاهای داخلی (کلاس درس)

علاوه بر شکل و فرم ساختمان، جای‌گیری فضاهای داخلی از مهم‌ترین عوامل در بررسی تیپولوژی ساختمان می‌باشد. با توجه به موضوع پژوهش کلاس‌های درس به عنوان فضای غالب داخلی در نظر گرفته شده است. در این راستا برای بررسی فاکتور جایگیری فضاها بر میزان مصرف انرژی۳ آلترناتیو طراحی شده است. آلترناتیو اول ساختمان مدرسه با کلاس‌های یک‌طرفه رو به شمال و راهرو جنوبی، آلترناتیو دوم ساختمان با کلاس‌های درس یک‌طرفه به سمت جنوب و راهروشمالی و آلترناتیو سوم ساختمان با کلاس‌های دو طرفه به سمت شمال و جنوب و راهروهای بین می‌باشد. هر سه این گزینه‌ها طراحی، مدل‌سازی و آنالیز شده است. نتایج حاصل از آنالیزها در شکل شماره ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۱. میزان مصرف انرژی روشنایی، گرمایشی و سرمایشی ساختمان مدرسه با چیدمان کلاس‌های یک‌طرفه و دو طرفه



شکل ۱۲. میزان مصرف انرژی اولیه ساختمان مدرسه با چیدمان کلاس‌های یک‌طرفه و دو طرفه

۷-۱. انرژی روشنایی

با تغییر چیدمان کلاس‌ها از دوطرف کلاس شمالی و جنوبی و راهرو میانی به کلاس‌های یک‌طرفه شمالی و کلاس‌های یک‌طرفه جنوبی میزان مصرف انرژی روشنایی کاهش پیدا می‌کند. چیدمان‌های یک‌طرفه به دلیل تأمین روشنایی طبیعی برای راهروها انرژی کمتری برای روشنایی مصرف می‌کند. با توجه به نتایج شکل شماره ۱۰ میزان مصرف انرژی روشنایی برای کلاس‌های یک‌طرفه با اختلاف کمی از کلاس‌های جنوبی، حالت بهینه‌تری نسبت به کلاس‌های دو طرفه با راهروی میانه دارد. کلاس‌های رو به شمال، نور خوبی را برای آموزش و استفاده از کامپیوترها را فراهم می‌کند و در فرآیند طراحی نسبت به کلاس‌های جنوبی با راهروی شمالی در اولویت قرار می‌گیرد. قرارگیری راهروها در سمت جنوب باعث می‌شود که تابش خیره‌کننده نور خورشید در راهروها اذیت‌کننده نباشد. در این پژوهش با طراحی بهینه کلاس‌ها می‌توان ۴۰٪ نسبت به حالت غیربهینه کاهش مصرف انرژی روشنایی داشت.

۷-۲. انرژی گرمایشی

با توجه به شکل شماره ۱۰ مصرف انرژی برای گرمایش در چیدمان‌های دو طرفه نسبت به یک‌طرفه کمتر است. دلیل این امر را می‌توان در حالت چیدمان کلاس‌ها دو طرفه دانست که از دو جبهه شمالی و جنوبی تابش خورشید را دریافت می‌کنند. در چیدمان یک‌طرفه جنوبی به دلیل دریافت مستقیم انرژی تابشی خورشید در کلاس‌ها میزان مصرف انرژی کمتری نسبت به کلاس‌های یک‌طرفه رو به شمال دارد. البته در کلاس‌های شمالی با راهروی جنوبی، راهرو هم می‌تواند به عنوان یک فضای بافر حرارتی عمل کند و به گرمایش کلاس‌ها کمک کند. نتیجه آنالیز این بخش نشان می‌دهد که در ساختمان مورد پژوهش میزان مصرف انرژی گرمایشی در کلاس‌های دو طرفه به میزان ۳۱٪ نسبت به کلاس‌های یک‌طرفه کاهش داد.

۷-۳. انرژی سرمایشی

نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد که با تغییر چیدمان کلاس‌ها از دو طرف کلاس به یک‌طرفه مصرف انرژی برای سرمایش افزایش پیدا می‌کند هر چند میزان این افزایش برای ساختمان

بستر پژوهش بسیار ناچیز می‌باشد. محاسبات نشان می‌دهد که با استفاده از چیدمان یک‌طرفه تقریباً ۷٪ مصرف انرژی برای سرمایش کاهش پیدا می‌کند.

۷-۴. انرژی اولیه

با توجه به شکل شماره ۱۲ میزان مصرف انرژی اولیه در چیدمان یک‌طرفه شمالی نسبت به چیدمان دوطرفه و چیدمان یک‌طرفه جنوبی کمتر است هر چند میزان انرژی اولیه کلاس‌های یک‌طرفه جنوبی اختلاف ناچیزی با کلاس‌های یک‌طرفه شمالی دارد ولی اولویت با چیدمان شمالی می‌باشد و در صورت نیاز و کمبود فضا می‌توان از کلاس‌های یک‌طرفه جنوبی هم بهره گرفت. بنابراین چیدمان شمالی به عنوان چیدمان بهینه گزینش می‌شود. با توجه به نتایج با استفاده از چیدمان یک‌طرفه شمالی مصرف انرژی اولیه به میزان ۸٪ نسبت به چیدمان دو طرفه کاهش پیدا می‌کند.

جدول ۳. تأثیر چیدمان کلاس‌ها بر میزان مصرف انرژی ساختمان مدرسه در اصفهان.

جانمایی فضاهای داخلی(کلاس درس)	فرم		کلاس یطرفه شمالی	کلاس یطرفه جنوبی	کلاس دو طرفه
	شکل				
	Kwh/m2	روشنایی	۵/۴	۶/۵	۹
		گرمایشی	۲۴	۲۱/۵	۱۶/۵
		سرمایشی	۷/۹	۸	۸/۶۳
		اولیه	۷۴/۵	۷۵/۸۵	۸۱/۶
	کاهش مصرف انرژی		٪۸		

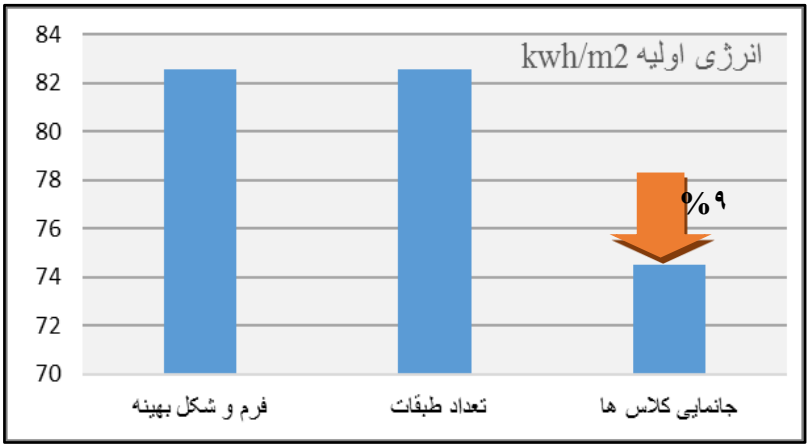
مأخذ: نتایج تحقیق

۸. نتیجه‌گیری

برای دستیابی به بهره‌وری انرژی در این ساختمان، از روش‌های مختلف کاهش مصرف انرژی در مقیاس مختلف ساختمانی استفاده شده است. پایه اصلی این روش‌ها، صرفه‌جویی انرژی از طریق بهینه کردن فرم و طراحی معماری بوده است. بنابراین صرفه‌جویی انرژی از طریق طراحی معماری، که روشی

پایدار، بدون هزینه و کارا است، بـه عنـوان مهمتـرین روش بهـره‌وری و صـرفه‌جـویی انـرژی در ایـن ساختمان آموزشی استفاده شده است. براساس آنالیزهای انجام شده در سـه مرحلـه فـرم بهینـه، تعـداد طبقات و جانمایی فضاهای داخلی کلاس درس در سه حوزه گرمایش و سرمایش و روشنایی نتـایج بـه این شرح به دست آمده است.

آنالیزهای فرمی در ۸ مرحله انجام شده است و بهینه‌ترین گزینه در هر مرحله براساس انرژی اولیه تعیین و به عنوان پایه آنالیز برای مرحله بعد در نظر گرفته شده اسـت. بـا گـزینش فـرم بهینـه حیـاط مرکزی برای ساختمان مورد نظر می‌توان ۴۲٪ نسبت به بقیه فرم‌های آنالیز شـده، در مصـرف انـرژی اولیه صرفه‌جویی کرد. ساختمان حیاط مرکزی به دست آمده از بخش فرم را در ۴ حالت ۲ تـا ۵ طبقـه بررسی شد که با توجه به فرم حیاط مرکزی، ۲ طبقه کمترین میزان مصرف انرژی اولیـه بـا توجـه بـه برنامه فیزیکی مدرسه مورد پژوهش در بین بقیه تعداد طبقات داشت که مـی‌تـوان ۱۶٪ صـرفه‌جـویی انرژی اولیه را نسبت به بقیه تعداد طبقات به دنبال داشته باشد. در راستای بررسی فـاکتور جـای‌گیـری فضاها بر میزان مصرف انرژی ۳ آلترناتیو طراحی شده است. در این بین کلاس‌هـای شـمالی بـا راهـرو جنوبی کمترین میزان انرژی اولیه را داراست که نسبت به آلترناتیو ۸٪ صرفه‌جویی انرژی را بـه همـراه دارد. با استفاده از راهکارهای این بخش به میزان ۹٪ مصرف انرژی اولیه نسـبت بـه سـاختمان اولیـه حیاط مرکزی کاهش یافته است. (شکل ۱۳)



شکل ۱۳. تأثیر پارامترهای بررسی شده در ساختمان مدرسه بر میزان کاهش مصرف انرژی

منابع

[۱] اربابیان، همایون (۱۳۸۰)، دانشکده معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران. تهران: *سومین همایش ملی انرژی*.
[۲] آقارب پرست، امیر مسعود (۱۳۹۲). "مجتمع مسکونی با سیستم‌های غیرفعال خورشیدی"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*. اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
[۳] غفاری، علی (۱۳۹۰). *اصول و مبانی طراحی فضاهای* آموزشی. سازمان نوسازی، توسعه و تجهیزات مدارس.
[۴] کسمایی، مرتضی (۱۳۸۲). *اقلیم و معماری*. ویراستار محمد احمدی نژاد. تهران: نشر خاک.
[۵] نصراللهی، فرشاد (۱۳۹۰). "مقررات ملی ساختمان و کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان." *دومین کنفرانس و نمایشگاه مدیریت و بهینه‌سازی انرژی*. تهران: پژوهشگاه نیرو.