

# بهسازی گونه‌های مسکن روستایی از دیدگاه انرژی و آسايش حرارتی

محمد تحصیلدوست \*

۱۳۹۷/۰۳/۱۶

۱۳۹۷/۰۸/۱۳

تاریخ دریافت مقاله:

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

مسکن روستایی به واسطه تعداد، گستردگی، اقتصاد شکننده و نقش تعیین کننده آن در توسعه پایدار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. محصول توجه به این مهم، سیاست‌های توسعه وارتقای مسکن روستایی است که منجر به ارائه پیشنهاد الگوی مسکن روستایی برای اقلیم‌های مختلف شده است. همچنین با پیشرفت علوم و توسعه ابزارهای دقیق و معتبر شبیه‌سازی، امکان ارزیابی کمی و نیز بهسازی طرح‌های پیشنهادی ایجاد شده است. این فرصت در کنار اهمیت موضوع مسکن روستایی امکان ارزیابی عملکرد الگوهای پیشنهادی و پیشبرد طرح و ارائه جزیاتی برای بهبود عملکرد آن‌ها را فراهم می‌سازد. از این رو این مقاله ابتدا با استفاده از شبیه‌سازی ریاضی و مدلسازی شرایط بنا در رابط گرافیکی Design builder و موتور محاسباتی Energy plus عملکرد گونه‌های فوق را از نظر انرژی و آسايش در پنج اقلیم مختلف بررسی کرده، سپس با ارائه پیشنهادهای اصلاحی در برخی از اجزای طرح در شرایط اقلیمی فوق الذکر، ارتقای حاصل از اصلاحات را مشخص می‌کند.

مطابق نتایج این پژوهش، اولاً متوسط مقدار مصرف انرژی در گونه‌های پیشنهادی فوق بین ۲۳۰ تا ۴۳۵ کیلووات ساعت بر متر مربع است که به مرتب بیشتر از استاندارد جهانی مربوطه و نیز مقدار قابل قبول در برچسب انرژی کشور است. جهت‌گیری بهینه، افزودن عایق حرارتی در بام و دیوارهای خارجی، تغییر مشخصات پنجره‌ها (ابعاد، فریم و نوع شیشه)، بین ۱۶ تا ۳۰.۵ درصد کاهش مصرف انرژی را در اقلیم‌های مختلف فراهم کرده است. همچنین بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر (پنلهای فتوولتايك و آبگرم کن‌های خورشیدی) موجب کاهش مصرف تا ۸۴ درصد نسبت به گونه‌های مسکونی اولیه شده است.

کلمات کلیدی: مصرف انرژی، مسکن روستایی، آسايش حرارتی، انرژی‌های تجدیدپذیر.

\* استادیار دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه شهید بهشتی. M\_tahsildost@sbu.ac.ir

لازمه امنیت اقتصادی جامعه است، خود تأیید کننده این امر است (Vidadili, Suleymanov, Bulut, & Mahmudlu, 2017).

براساس آمار رسمی در ایران (درگاه ملی آمار کشور، ۱۳۹۷) رشد جمعیت روستایی در دهه اخیر ۰.۷۳٪ درصد بوده و توزیع اصلی این جمعیت روستایی عمدتاً در مناطقی از کشور رخ داده است که توسعه یافته‌گی کمتری دارند (موسوی، تقیلو و باقری کشکولی، ۲۰۱۶). با توجه به اینکه یک‌چهارم جمعیت کشور را روستاییان تشکیل داده‌اند، توجه به بهره‌وری انرژی در مناطق روستایی به خصوص در گونه‌های مسکونی روستایی الزامی است که این مهم در مواد پنجم و دهم منشور اهداف طرح اجرای ویژه بهسازی مسکن روستایی بنیاد مسکن (احداث مسکن سبز و بهسازی و بهینه سازی مصرف انرژی در مسکن روستایی که در ۱۳۷۴ طرح و در ۱۳۸۴ در هیأت محترم دولت تصویب شد)، مورد توجه قرار گرفته است.

به دلیل گستردگی و تنوع اقلیمی و نیز جایگاه این مناطق روستایی در توسعه پایدار، این مقاله به بررسی کارکرد انرژی در گونه‌های پیشنهادی مسکن روستایی در اقلیم‌های مختلف می‌پردازد. در خصوص رابطه گونه مسکن روستایی و مصرف انرژی آن تحقیقات محدودی انجام شده است از جمله کالینس و کورتیس (۲۰۱۶) ضمن بررسی اثرگذاری بهینه‌سازی مصرف انرژی در ایرلنده به این جمع‌بندی رسیده است که در مناطق روستایی برخلاف مناطق شهری اشتیاق بیشتری به بهسازی انرژی وجود دارد (Collins & Curtis, 2016). همچنین اهرن و همکاران (۲۰۱۳) ضمن بررسی مصرف انرژی در مسکن روستایی ایرلنده با استفاده از مدل‌سازی، تأثیر بهسازی حرارتی بر کاهش مصرف انرژی را در حدود ۶۵٪ و اثر کاهش آن بر تولید گازهای

از آنجا که ساختمان‌ها ۳۰-۴۰٪ کل انرژی مصرفی جهان را به خود اختصاص داده‌اند (Lombard, p et.al, 2008)، بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها از استراتژی‌های کلیدی در کاهش مخاطرات ناشی از تغییرات اقلیمی در سراسر جهان است. با توجه به اینکه ساختمان‌های مسکونی بیشترین سهم را در میان ساختمان‌ها به خود اختصاص داده‌اند، کاهش تقاضای انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در این ساختمان‌ها گامی مؤثر در راستای افزایش بهره‌وری انرژی است (Galante, A & Torri, M, 2012). بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی به‌طور گسترده در سالیان اخیر مورد توجه بوده است. تحقیقات به‌طور خاص در مورد ساختمان‌های مسکونی به خصوص ساختمان‌های بلندمرتبه در محیط‌های شهری متمرکز بوده‌اند و به ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه و اینیه واقع در محیط‌های غیرشهری از جمله روستاهای کمتر توجه شده است. این در حالی است که در تحقیقات توسعه پایدار روستایی، اهمیت توسعه زیستمحیطی و فرهنگی در توسعه اقتصادی و لزوم آموزش محوری، نیاز به بروزرسانی سیستم‌های بهره‌برداری و افزایش بهره‌وری انرژی و مدیریت آن مورد توجه قرار گرفته است (Koopmans, Rogge, Mettepenningen, Knickel,) & Sandra, 2017). همچنین نیاز به توجه دوباره و نگاه ویژه به منابع تجدیدپذیر انرژی در توسعه جوامع روستایی نیز مطابق مطالعات پیشین امری اثبات شده و ضروری است (Afsharzade et al., 2016; Zhang & Su, 2016). نتایج مطالعات قبلی در زمینه وابستگی اقتصاد به سوخت فسیلی و منابع جایگزین و توجه به اینکه اولاً انرژی بزرگترین عامل تغییر اقلیم جهانی است و ثانیاً اینمنی در تأمین منابع جایگزین انرژی،

روستایی دور از شبکه برق را بررسی کرده و پیشنهاد بهسازی تجهیزات مصرفی در صنعت را ارائه کرده است (فراستی، ۱۳۹۲).

از سوی دیگر مطالعات محدودی نیز تأثیر عوامل مؤثر بر شرایط اقلیمی و نیز نوع گونه بنا و اجزای آن بر کارکرد اقلیمی ساختمان را بررسی کرده‌اند. از جمله این مطالعات بررسی رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستایی به کمک CFD بوده است (غلامحسینی، علیپور، حیدری و عماریان، محمد مرادی، حسین علیپور، حیدری و دودی، ۱۳۹۶)، مطالعات دیگری نیز با موضوع بررسی تأثیر بازشوها بر تهویه طبیعی خانه‌های روستایی (اسماعیلی، ۱۳۹۶) و نیز بررسی شناسه‌های حرارتی جداره‌های پوسته خارجی بنا در مناطق روستایی اردبیل (پوردهیمی و گسلی، ۱۳۹۴) در زمینه روش‌های بهسازی مصرف انرژی مناطق روستایی به صورت موضعی و محدود انجام پذیرفته است.

مطالعات فوق اولاً به خوبی نشان‌دهنده اهمیت موضوع و ثانیاً به وضوح بیانگر آن است که علیرغم این اهمیت، مطالعه جامعی در خصوص امکان بهسازی انرژی و بررسی کمی نتایج آن در طرح‌های موجود، یا پیشنهادی بر مبنای پهن‌های اقلیمی وجود ندارد. از این‌رو این پژوهش با استفاده از ابزارهای معتبر و روش شیوه‌سازی، تأثیر اقدامات مختلف بهسازی انرژی در الگوهای پیشنهادی مسکن روستایی را به صورت عددی و قابل مقایسه ارائه می‌نماید تا قابلیت بهره‌گیری بیشتری داشته باشد.

### سوالات تحقیق

۱. گونه‌های پیشنهادی مسکن روستایی تا چه میزان با شرایط اقلیمی هم خوانی دارند؟
۲. آیا گونه‌های مسکن روستایی از دیدگاه آسایش

گلخانه‌ای را نزدیک به ۳۶٪ تخمین زده‌اند (Ahern, Griffiths, & O'Flaherty, 2013) دیگر نظری لی و همکاران (۲۰۱۳) نیز اثر بهسازی انرژی در این خصوص را در شهرها و روستاهای چین بررسی و با ارزیابی اثربخشی بهسازی، بیش از ۹۰٪ از ساختمان‌های مسکونی مناطق شهری و روستایی را واجد شرایط بهسازی انرژی دانسته‌اند (Li, Zhao, & Zhu, 2013).

در ایران نیز تحقیقات محدودی در موضوع بهینه‌سازی انرژی در مسکن روستایی انجام شده‌است. از جمله قرشی (۱۳۹۳) بهسازی، نوسازی و بازسازی بافت‌های فرسوده روستایی را به صورت محدود و موردي مطالعه کرده است (قرشی، ۱۳۹۳). قاسم زاده و همکاران (۱۳۸۹) جایگاه مقررات ملی صرف‌جویی در مصرف انرژی را در ارتقای مسکن روستایی بررسی کرده و کوشیده است به منظور تسهیل به کارگیری این مقررات در روند ساخت و ساز در روستاهای نکته‌های اصلی را ذکر کرد (قاسم زاده، محمدکاری، و طهماسبی، ۱۳۸۹).

میرلطیفی و همکاران (۱۳۹۱) مسکن روستایی را از دیدگاه تأثیر جهت‌گیری جغرافیایی بر مصرف انرژی مورد بررسی قرار داده است (محمدرضا میرلطیفی، توکلی و بندانی، ۱۳۹۱). افتخاری و همکاران (۱۳۹۱) نیز انطباق ساخت و سازهای جدید در نواحی روستایی را با معماری بومی و میزان رضایتمندی ساکنین مطالعه کرده‌اند (افتخاری، حاجپور، فتاحی و پایدارکل، ۱۳۹۱). بعلاوه طاهباز و جلیلیان (۱۳۹۵) ضمن بررسی صرف‌جویی انرژی در مسکن بوم‌آورده در سه پنهان اقلیمی روستاهای استان سمنان، دستورالعمل‌هایی برای هریک پیشنهاد کرده‌اند (طاهباز و جلیلیان، ۱۳۹۵). فراستی (۱۳۹۲) بهینه‌سازی مصرف انرژی در مسکن

پیش‌بینی شد. همچنین سایر مشخصات نظیر آرایش فضاهای، جزئیات ساختار و مشخصات حرارتی اجزا، ابعاد و هندسه پنجره‌ها، شرایط اقلیمی، و نیز شیوه تصرف و سکونت و تجهیزات و برنامه‌زمانی تصرف متناسب کاربری و فضا به عنوان داده‌های مدل اولیه بر مبنای اطلاعات برآمده از مستندات و نقشه‌های مربوط به گونه‌های فوق الذکر در مدلسازی وارد شد. برخی از این مفروضات در تصویر شماره ۳ و جدول شماره ۲ ارائه شده است. به جهت تشابه بیشتر به شرایط واقعی، اطلاعات مستند تحقیقات قبلی (پورديهمی و گسلی، ۱۳۹۴) همچون نوع ساختار دیوارها نیز در گرینه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. به این ترتیب مقدار مصرف انرژی، به تفکیک انرژی‌های لازم برای سرمایش، گرمایش، روشنایی و نیز تجمعی آن‌ها در قالب انرژی کل ارائه خواهد شد. همچنین ساعت‌های سالیانه آسایش حرارتی بدون نیاز به استفاده از سیستم‌های تأسیساتی محاسبه می‌گردد. در گام بعد با بررسی نتایج فوق و بهره‌گیری از مطالعات قبلی، اولویت‌های بهسازی انرژی در گونه‌های ساخته شده و در دست احداث مشخص می‌گردد. سپس با ارائه راهکارهای اصلاحی برای هر یک از این اولویت‌ها، مدل مربوطه اصلاح و فرایند شیوه‌سازی با مفروضات جدید تکرار خواهد شد. نتایج این شیوه‌سازی مجدد، در مقایسه با نتایج مدل پایه، پتانسیل بهسازی کارایی انرژی در هر موضوع را نشان خواهد داد. به این ترتیب ضمن انتخاب روش‌های اصلی بهسازی انرژی از میان گزینه‌های پیشنهادی، اصلاحات لازم در طرح پیشنهادی الگوی مسکن روستایی هر اقلیم ارائه می‌شود. فرایند تحقیق بصورت خلاصه در تصویر شماره ۱ ارائه شده است.

متصرفین و مصرف انرژی قابل بهبود هستند؟

۳. راهکار کاهش مصرف انرژی و ارتقای سطح آسایش مسکن روستایی در اقلیم‌های مختلف چیست؟

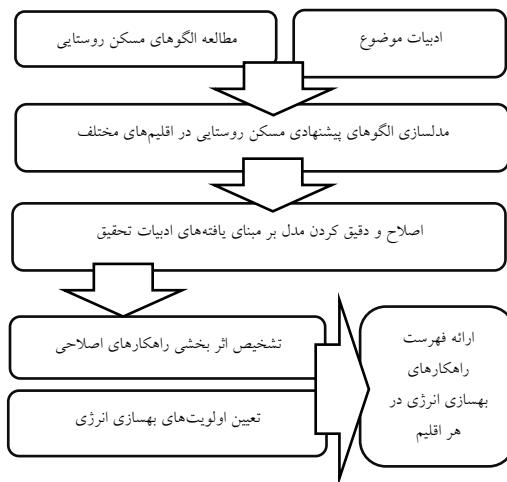
### روش تحقیق

در این پژوهش از منابع مکتوب و مطالعات کتابخانه‌ای در زمینه تحقیقات مشابه قبلی و تجربیات دیگر محققین در این خصوص بهره گرفته شده است و سپس با استفاده از مدلسازی رایانه‌ای و استفاده از قابلیت‌های روش شبیه‌سازی، شرایط آسایش حرارتی، رفتار حرارتی ساختمان و نیز کیفیت شرایط نور روز آن با استفاده از نرم‌افزار انرژی پلاس و رابط گرافیکی دیزاین بیlder ارزیابی شده‌اند. اعتبار هردو این ابزارها در مطالعات قبلی بررسی و تایید شده است (زمردیان و تحصیلدوست، ۱۳۹۴). همچنین دلیل استفاده و اعتبار این روش تحقیق مبتنی بر مطالعات متنوعی است که یا از این روش برای مطالعه روش‌های کاهش مصرف انرژی و افزایش سطح آسایش استفاده کرده‌اند (Galante, A & Torri, M, 2012) (Zhao et al., 2012) و یا روش‌های مورد استفاده در این مقاله را به عنوان روشی معتبر و کاربردی برای این اهداف بررسی و توصیه کرده‌اند (Griego D., et al., 2012). به این ترتیب در بخش شبیه‌سازی، ابتدا گونه‌های مسکن روستایی پیشنهادی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی در اقلیم‌های مختلف مدلسازی و جزئیات و مشخصات فنی ساختمانی آن‌ها (مشتمل بر مساحت و زیر بنا، مشخصات و نیز میزان و ابعاد بام و دیوارهای خارجی، میزان و جهت بازشوها...) به عنوان مدل پایه با استفاده از ابزار فوق در هر یک از این مدل‌ها اعمال شد. جهت استقرار نیز بصورت عمومی در مدل اولیه جنوب

ارتقا بخشد و موجب تعمیم‌پذیری بهتر آن باشد. چنان‌که بیان شد، مدلسازی در سه بخش کلی انجام پذیرفته است. بخش نخست ساخت مدل‌پایه، سپس بهینه‌یابی متغیرهای مختلف در مدل، و نهایتاً بررسی مطلوبیت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است. به این منظور و با توجه به قابلیت‌های نرم افزار DesignBuilder، مدلسازی پس از اعمال شرایط اقلیمی در پنج استان کشور، به نمایندگی از شرایط متنوع اقلیمی انجام شد. دلیل انتخاب این استان‌ها، توجه همزمان به تنوع اقلیمی و نیز بیشترین جمعیت روستایی بر مبنای داده‌های سرشماری ۱۳۹۵ نفوس و مسکن است که منجر به انتخاب استان‌های خراسان رضوی، سیستان و بلوچستان، مازندران، فارس و آذربایجان غربی شد. لازم به ذکر است اگرچه مناطق روستایی از نظر توزیع جغرافیایی و نیز شرایط آب و هوایی متفاوت از مناطق شهری هستند اما به دلیل محدودیت ایستگاه‌های هواشناسی و پراکندگی روستاهای در سطح استان، در این تحقیق از اطلاعات آب و هوایی مراکز استان‌ها براساس داده‌های هواشناسی در دوره ۲۰-۱۵ ساله در قالب فایل‌های TMY-2 استفاده شده است. خلاصه‌ای از اطلاعات و مشخصات اقلیمی مناطق مورد بررسی در تصویرشماره ۲ و جدول شماره ۱ ارائه شده است.

روطبت نسبی٪	میانگین سالانه دما °C	دسته‌بندی اقلیمی بر مبنای طبقه‌بندی koppen	عرض جغرافیایی °	مرکز استان
۷۹.۷۵	۱۶.۶	Csa / مدیترانه‌ای	۳۶.۰۵	ساری
۳۵.۶	۱۸.۲	BWh / بیابانی	۲۹.۴۷	Zahedan
۶۲.۴	۱۱.۶	Cfa / نیمه گرمسیری مرطوب	۳۷.۵۳	ارومیه
۳۷.۴	۱۶.۸	BSh / نیمه خشک	۲۹.۰۵	شیراز
۴۶.۸	۱۳.۴	BSh / نیمه خشک	۳۶.۲۷	مشهد

ج ۱. مشخصات اقلیمی مراکز استان‌های مورد بررسی (سایت سازمان هواشناسی کشوری، ۱۳۹۷).



### ت ۱. فرایند انجام تحقیق (منبع: نگارنده‌گان).

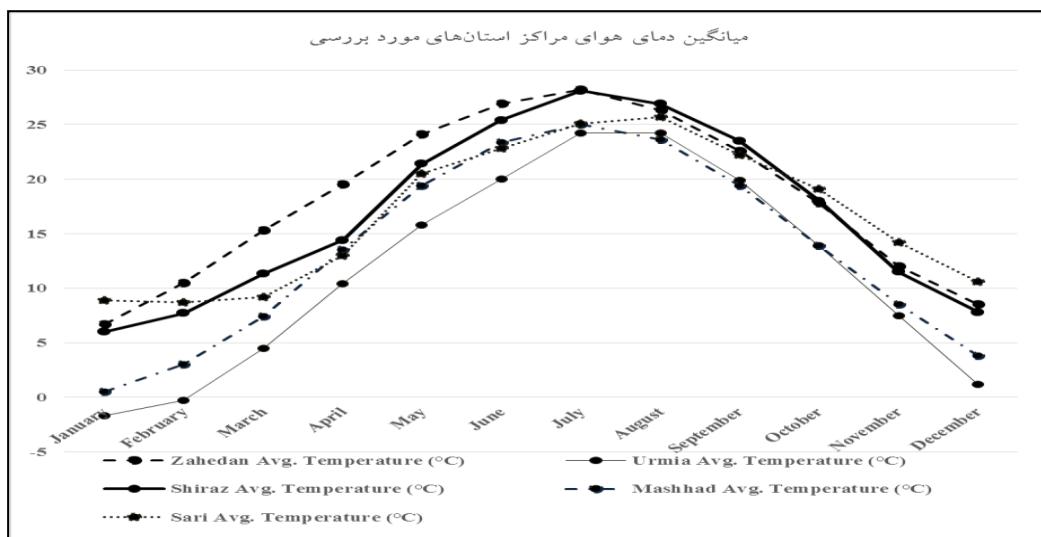
لازم به ذکر است پارامترهای کترنلی، یا به عبارت بهتر شاخص‌های مقایسه‌ای در این مطالعه، در موضوع مقدار مصرف انرژی، میزان انرژی اولیه (Primary Energy) و در موضوع آسایش نیز دمای عامل و نیز درصد ساعت‌آسایش سالیانه در نظر گرفته شده است.

### مدلسازی الگوهای مسکن روستایی

مطالعات مختلفی در زمینه گونه‌شناسی مسکن روستایی انجام پذیرفته است و نهایتاً مبتنی بر این اطلاعات الگوهای متنوعی از مسکن روستایی پیشنهاد شده که در اقلیم‌های مختلف قابل بهره‌برداری است. البته مطالعات گونه‌شناسی مسکن ویژه هر منطقه نیز در بسیاری از مناطق به صورت جداگانه بررسی شده که بازه محدودتری را به صورت عمیق‌تر بررسی می‌کند اما بهجهت گستردگی در این پژوهش تنها به تعدادی از نمونه‌های مورد اول بسته شده است. لازم به ذکر است هدف از این کار تأیید الگوهای فوق و یا انتقاد از آن نبوده است لیکن از آنجا که توصیه و یا نشر چنین الگوهایی نیازمند جامع‌نگری و ریزبینی در آن‌ها است، تحقیق حاضر در این زمینه مفید دانسته شد تا بتواند نتیجه نهایی را، گرچه در حد یک گام کوچک، بهبود و

به منظور مدلسازی واحداً نیز با توجه به شباهت کلی پلان الگوهای فوق الاشاره، از هر محدوده متراژی یک نمونه انتخاب و با مدلسازی دقیق هر یک از فضاهای مستقل آن تحت عنوان یک زون، مشخصات فیزیکی جداره‌ها و بام و نیز بازشوها و ابعاد آن‌ها در هر جهت، نحوه استفاده و الگوی تصرف، ضریب سایه در مشخصات شیشه و تأثیر آن بر تابش دریافتی، هندسه بنا، دماهای تنظیم یا ست پوینت گرمایش و سرمایش و سایر موارد مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان در تمامی الگوها به صورت یکسان اعمال مدل شد.

علاوه بر متغیرهای فوق در هر اقلیم، متغیرهای مستقل از جمله U-value اجزای پوسته بنا با ضخامت ۰ تا ۱۰



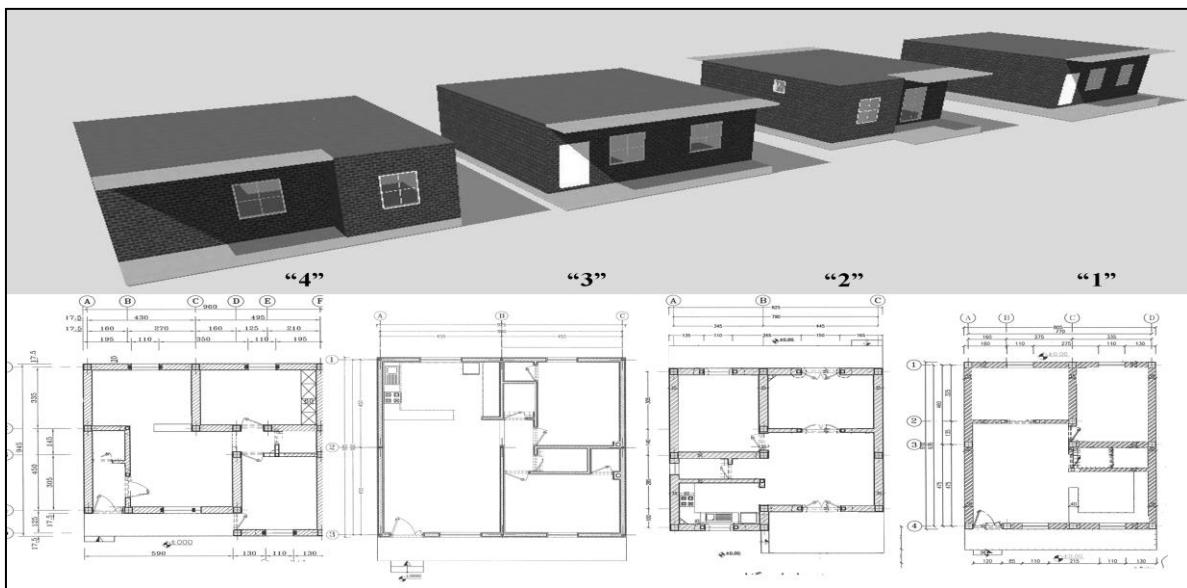
ت.۲. متوسط دمای هوای مرکز استان‌های مورد بررسی (سایت سازمان هوشناسی کشوری، ۱۳۹۷).

نحوه استفاده و الگوی تصرف، ضریب سایه در مشخصات شیشه و تأثیر آن بر تابش دریافتی، هندسه بنا، دماهای تنظیم یا ست پوینت گرمایش و سرمایش و سایر موارد مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان در تمامی الگوها به صورت یکسان اعمال مدل شد.

به منظور مدلسازی واحداً نیز با توجه به شباهت کلی پلان الگوهای فوق الاشاره، از هر محدوده متراژی یک نمونه انتخاب و با مدلسازی دقیق هر یک از فضاهای مستقل آن تحت عنوان یک زون، مشخصات فیزیکی جداره‌ها و بام و نیز بازشوها و ابعاد آن‌ها در هر جهت،

گردید. بهجهت ساده‌سازی، مصرف انرژی در حالت بار حرارتی ایده‌آل مدل‌سازی شد و مشخصات سیستم‌ها در تمام حالات شبیه‌سازی یکسان فرض شده است. جدول شماره ۲ اطلاعات پایه مدل‌های ساخته شده و نیز دامنه تغییرات متغیرهای نمایش می‌دهد. تصویر شماره ۳ نیز نشان‌دهنده نمونه‌هایی از مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار مورد استفاده است.

علاوه بر متغیرهای فوق در هر اقلیم، متغیرهای مستقل از جمله U-value اجزای پوسته بنا با ضخامت ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر عایق حرارتی در دیوار متناظر ساختمان‌های مختلف سبک و سنگین ۲۰ تا ۳۵ سانتی‌متری و ضخامت ۰ تا ۲۰ سانتی‌متر عایق حرارتی در بام و تقلیل مقدار ضریب تبادل حرارتی در پنجره به مقدار  $2.4\text{w/m}^2\text{k}$ ، جهت‌گیری شد و نیز ابعاد و اندازه و نسبت پنجره‌ها در هر وجه در مدل‌سازی لحاظ



ت ۳. مدل اولیه نمونه‌های انتخابی (از راست به چپ گزینه‌های شماره ۱ تا ۴) (منبع: نگارندگان).

ست پوینت سرمایش	ست پوینت گرمایش	جهت‌گیری اولیه	درصد پنجره	مقدار تهویه طبیعی	ضریب عبور نور از شیشه	U-value پنجره $\text{w/m}^2\text{k}$	U-value بام $\text{w/m}^2\text{k}$	U-value دیوار $\text{w/m}^2\text{k}$	واحد
$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$		%	ACH					مقدار
26	21	South	16	۰.۵	0.85	5.6	1.5	2.1	حد پایین
-	-	۳۰- نسبت به جنوب	۱۵	ثابت	ثابت	۲.۴	۰.۵	۰.۶	حد بالا
-	-	۳۰+ نسبت به جنوب	۷۵	ثابت	ثابت	۵.۶	۱.۵	۲.۱	

ج ۲. مفروضات و مشخصات اولیه مدل پایه و دامنه تغییرات نسبت به آن (منبع: نگارندگان).

بازشوها و جهت‌گیری بهینه آن‌ها در هر یک از مناطق انتخابی، به نمایندگی از پهنه اقلیمی مربوطه محاسبه و

در گام بعد نتایج بهینه‌سازی پارامترهای طراحی شامل موارد ضریب انتقال حرارتی دیوار و بام و پنجره، درصد

خارجی ۳۵ سانتیمتری، مقادیر عدم آسایش بهخصوص در اقلیم‌های گرمتر و بهویژه عدم آسایش بهواسطه گرما، بین ۲ تا ۳ درصد افزایش یافته و طبعاً قابل توصیه نخواهد بود، گرچه ساعت‌های عدم آسایش ناشی از برودت محیط در حدود ۱ درصد کاهش یافته است. مقادیر ساعت‌های آسایش و درصد ساعت‌های عدم آسایش ناشی از دمای پایین (زیر ۲۰ درجه سانتیگراد) یا بالا (بیش از ۲۸ درجه سانتیگراد) در مدل پایه در استان‌های بررسی شده در جدول شماره ۳ نمایش داده شده است. چنان‌که در جدول مشخص است، فرصت بهینه‌سازی برای تمام اقلیم‌ها وجود دارد، با این تفاوت که در اقلیم‌های سردتر، فرصت استفاده بیشتر از گرمایش خورشید و در اقلیم‌های گرمتر، فرصت بهتری برای کاهش بار سرمایش وجود خواهد داشت.

گونه‌های ساختمانی					
type 2	type 3	type 4	type 5	استان	
22.97%	22.99%	22.89%	22.90%	فارس	درصد ساعت‌های آسایش
26.15%	26.07%	26.19%	26.11%	آذربایجان	
26.36%	26.40%	26.29%	26.55%	سیستان و بلوچستان	
28.15%	28.12%	28.03%	28.21%	مازندران	
24.69%	24.76%	24.67%	24.77%	خراسان رضوی	
40.61%	40.63%	40.56%	40.61%	فارس	عدم آسایش مدل پایه ۲۰>
57.32%	57.60%	57.42%	57.58%	آذربایجان	
32.34%	32.68%	32.63%	32.52%	سیستان و بلوچستان	
43.66%	43.88%	43.78%	43.84%	مازندران	
48.60%	48.74%	48.70%	48.66%	خراسان رضوی	
36.43%	36.38%	36.55%	36.50%	فارس	عدم آسایش مدل پایه ۲۸<
16.53%	16.32%	16.39%	16.31%	آذربایجان	
41.30%	40.91%	41.08%	40.92%	سیستان و بلوچستان	
28.18%	28.00%	28.20%	27.96%	مازندران	
26.71%	26.50%	26.63%	26.56%	خراسان رضوی	

ج ۳. درصد ساعت‌های آسایش سالیانه در گونه‌ها و اقلیم‌های مختلف در مدل پایه، رنگ‌ها نشان‌دهنده شدت و ضعف به صورت گرافیکی است (منبع: نگارندگان).

ارائه شده است. به این ترتیب با تغییر هر پارامتر نقش عوامل مختلف در کاهش و افزایش درصد ساعت‌های آسایش هر یک از مدل‌ها در مقایسه با مدل پایه، در اقلیم‌های مختلف بررسی شد و تحلیل بهترین ترکیب پارامترهای طراحی در هر گونه مسکونی و شرایط اقلیمی مشخص شد. همچنین دو راهکار رایج فعل و غیرفعال بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر، یعنی استفاده از آبگرم‌خورشیدی و نیز سلولهای فتوولتایک به تناسب بررسی و تأثیر آن در کاهش نیاز به انرژی مصرفی، در بخش نتایج گزارش شده است.

### نتایج

دو پیشنهاد در خصوص ساختار دیوار در گونه‌های مورد بررسی درنظر گرفته شده است: ساختار سبک و سنگین به ترتیب با دیوارهای خارجی به ضخامت ۲۰ و ۳۵ سانتیمتر. نتایج اولیه مدل‌سازی پایه با ساختار سبک‌تر در اقلیم‌های مختلف نشان می‌دهد بدون سیستم سرمایش و گرمایش، در حداقل ۲۲.۸۹٪ و حداقل ۲۸.۲۱٪ درصد از زمان (به ترتیب در استان‌های فارس و مازندران)، فضای داخلی در شرایط آسایش حرارتی (بین ۲۰ تا ۲۸ درجه سانتیگراد دمای عامل) قرار دارد. گرچه این اختلاف در نگاه اول چندان قابل توجه نیست اما در گونه‌ها و شهرهای مختلف، درصد عدم آسایش ناشی از سرمای محیط (زیر ۲۰ درجه سانتیگراد) حداقل ۳۲.۳۴٪ و حداقل ۵۷.۶۰٪ عدم آسایش ناشی از گرمای بیش از حد محیط (بیش از ۲۸ درجه سانتیگراد) حداقل ۱۶.۴۱٪ و حداقل ۴۱.۳۰٪ از ساعت‌های سال است که بسیار قابل توجه است. گرچه اختلاف بین درصد زمانی عدم آسایش در گونه‌های مختلف در شرایط مدل پایه بین ۰.۰۷ تا ۰.۳۹٪ است. با توجه به شباهت کلیات گونه‌ها و زیربنای آن‌ها، اختلاف ناچیز فوق قابل قبول است. در مدل‌سازی‌های پایه با ساختار دوم، دیوار

تغییرات آسایش با استفاده از پنجره $U=2.4\text{ w/m}^2\text{k}$			
عدم آسایش $28 <$	عدم آسایش $20 >$	ساعت آسایش	
type 4	type 4	type 4	
1269	-333	-936	فارس
14.49%	-3.80%	-10.68%	درصد
-1246	-82	1328	آذربایجان
-14.22%	-0.94%	15.16%	درصد
1177	-320	-857	سیستان و بلوچستان
13.44%	-3.65%	-9.78%	درصد
-383	-26	409	مازندران
-4.37%	-0.30%	4.67%	درصد
154	-163	9	خراسان رضوی
1.76%	-1.86%	0.10%	درصد

#### ج. ۴. تغییرات ساعت آسایش با جایگزینی پنجره مدل پایه با $U\text{-value}=2.4\text{ w/m}^2\text{k}$ ، (منبع: نگارندگان).

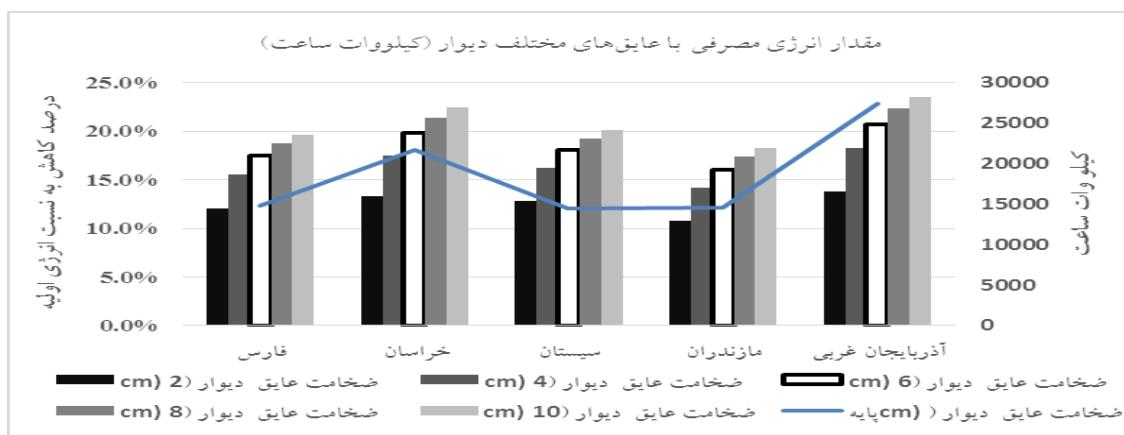
در گام بعدی، مقدار مقاومت حرارتی دیوار و بام در ترکیبی از چهار گزینه ضخامت عایق بام و پنجه گزینه ضخامت عایق دیوار بررسی و با حالت پایه مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد در حالی که اجرای ۱۰ سانتیمتر ضخامت عایق پلی استایرن در بام در اقلیم‌های مختلف ساعت عدم آسایش را در حدود ۳ تا ۱۱ درصد کاهش می‌دهد، دوبرابر کردن ضخامت عایق بام از ۱۰ به ۲۰ سانتیمتر تأثیر چندان چشمگیری ندارد. از سوی دیگر مقدار کاهش مصرف انرژی ناشی از اجرای ۲ تا ۱۰ سانتیمتر عایق پلی استایرن در دیوارهای در اقلیم‌های مختلف نیز در حدود  $23.5 - 18.3\%$  درصد است و لذا الزاماً است اما بررسی نشان می‌دهد نیازی به عایق مزاد بر آن وجود ندارد. تأثیر اجرای این عایق‌ها در بام در انرژی مصرفی الگوهای مختلف نشان می‌دهد مقدار کاهش انرژی در مازندران و فارس ۱۲.۵ و ۱۲.۱ درصد و در خراسان رضوی و آذربایجان ۱۳.۳ و ۱۳.۱ درصد و در سیستان تا ۱۵.۹ درصد است.

پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق، عمدهاً ناظر به مواردی است که یا در حین ساخت (جهت‌گیری، ابعاد بازشوها) یا پس از آن و در مرحله بهسازی انرژی (مشخصات پنجره‌ها، عایق دیوارهای و بام) قابل توجه است. این موارد با اولویت نگاه دوم، یعنی بهسازی ساختمان از منظر انرژی و نیز با هدف افزایش ساعت آسایش حرارتی بدون نیاز به تجهیزات سرمایش و گرمایش، افزایش آسایش بصری از منظر تأمین نور روز و کاهش نیاز به روشنایی مصنوع و نهایتاً کاهش مصرف انرژی ساختمان در طول سال مد نظر قرار گرفته‌اند و تلاش شده تأثیر هر تغییر در بهسازی نتیجه ملاحظه شود. با توجه به شباهت‌ها و نیز با عنایت به کارایی انرژی بهتر به نسبت زیربنا، از بین گونه‌های مورد بررسی گونه ۳ برای بهینه‌سازی انرژی در مراحل بعد انتخاب شده است.

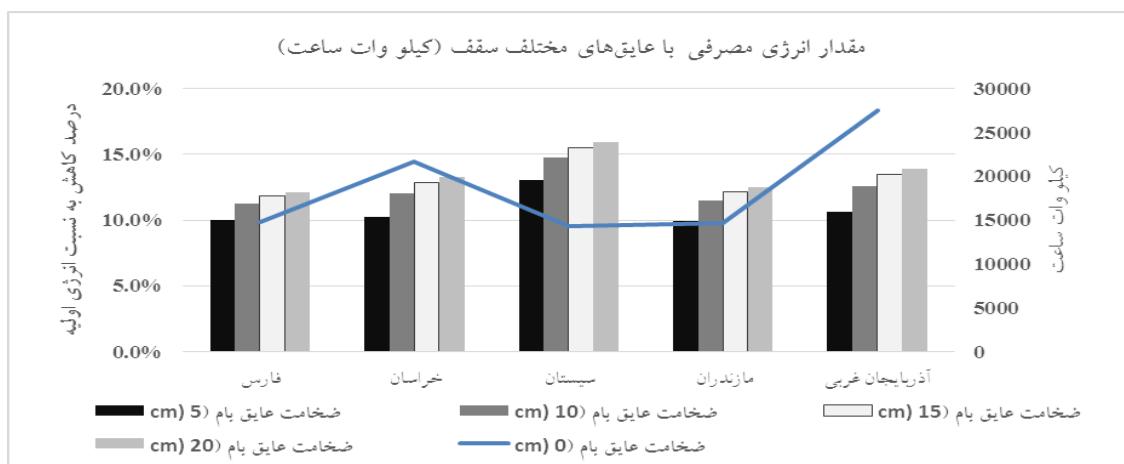
نتایج شبیه‌سازی در گام اصلاحی بعدی، یعنی جایگزینی پنجره تک جداره مرسوم در ساخت و ساز رایج در بسیاری از مناطق، با  $U\text{-value}=5.6\text{ w/m}^2\text{k}$ ، با پنجره مورد تأیید مبحث ۱۹ مقررات ملی، نشان می‌دهد علی‌رغم اینکه این اقدام در اقلیم‌های سرد و معتدل کاملاً منطقی است و اثر مثبتی (حدود ۱۵.۱۶٪) دارد اما در اقلیم‌های گرم موجب افزایش ساعت عدم آسایش (تا حدود ۱۰.۶۸٪) به دلیل بیش گرمایش و طبعاً بار سرمایش مازاد خواهد شد. از این رو این تغییر در اقلیم‌های گرم به‌نهایی توصیه نمی‌شود. در صورت استفاده از این پنجره‌ها، اجرای سایبان و شیشه‌هایی با ضریب جذب حرارت خورشیدی یا SHGC پایین‌الزامی است. جدول شماره ۴ نشان‌دهنده نتایج جایگزینی پنجره با پنجره‌هایی با مقاومت حرارتی بالاتر در تغییرات ساعت آسایش حرارتی است.

اقلیم‌های معتدل‌تر (مازندران و فارس) نیاز کمتری به عایق داشته و استان‌های خراسان، سیستان و بلوچستان و نیز آذربایجان غربی الزام بیشتری به اجرای آن دارند.

(تصاویرشماره ۴ و ۵). مقدار تأثیر این دو اقدام در انرژی مصرفی گونه‌های با زیربنای کمتر نظیر الگوی شماره ۱، از سایر الگوها کمتر خواهد بود. همچنین



ت. ۴. تأثیر عایق دیوار بر کاهش مصرف انرژی، (منبع: نگارندگان).



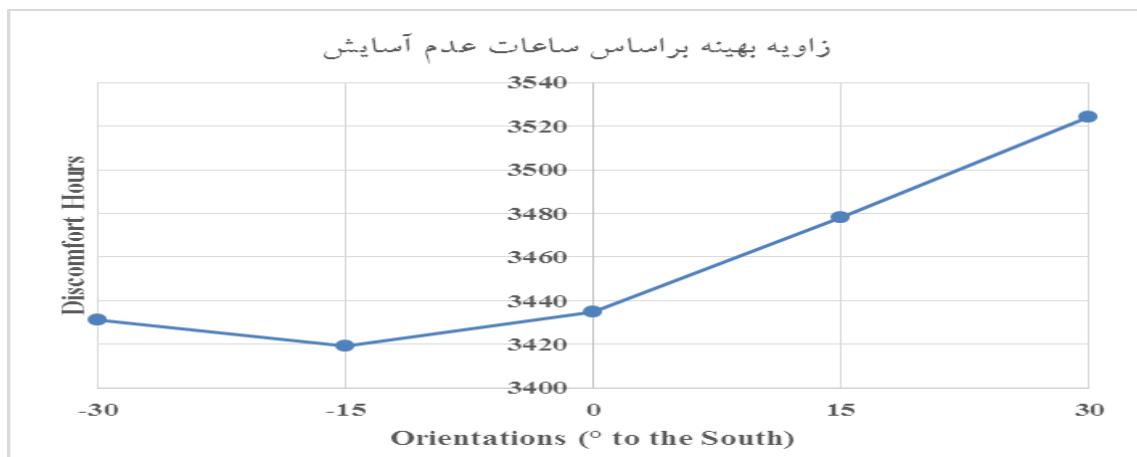
ت. ۵. تأثیر عایق بام بر کاهش مصرف انرژی، (منبع: نگارندگان).

بهینه برای اقلیم سیستان و بلوچستان و فارس و خراسان رضوی جهت جنوب، در اقلیم مازندران سی درجه جنوب شرقی و در اقلیم آذربایجان غربی ۱۵ درجه جنوب غربی است. نمونه نتایج بررسی پارامتریک فوق در استان آذربایجان غربی در تصویرشماره ۶ ارائه شده است.

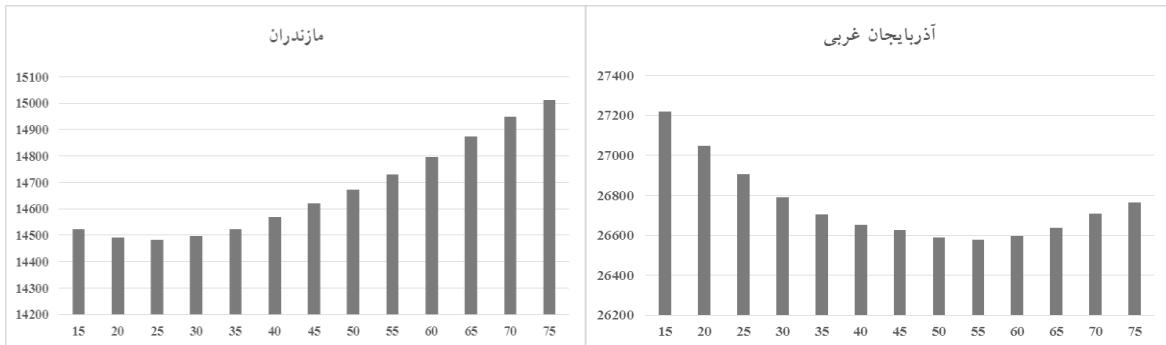
از آنجا که برای گونه‌های پیشنهاد شده از سوی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، جهت مشخصی نیز توصیه نشده است، بررسی جهت بهینه نیز می‌تواند راهگشا و کارآمد باشد، لذا با استفاده از روش مدلسازی پارامتریک، گونه ۳ در هر یک از اقلیم‌ها بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد در ترکیب حاضر، جهت‌گیری

انرژی در استان فارس ۲۰٪، در مازندران ۲۸٪، در سیستان و بلوچستان ۱۶٪، خراسان ۲۵٪ و آذربایجان غربی ۵۵٪ است. نمونه نتایج این بررسی در تصویرشماره ۷ ارائه شده است.

در قدم بعد اثر تغییر سطح پنجره بر مصرف انرژی گونه سه در استانهای انتخابی به صورت پارامتریک بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد مقدار بهینه درصد پنجره به نسبت سطح برای دستیابی به کمترین مقدار مصرف



ت ۶. جهت‌گیری بهینه الگوی شماره ۳ در استان آذربایجان غربی (منبع: نگارندگان).



ت ۷. درصد بهینه پنجره در الگوی شماره ۳ در استانهای آذربایجان غربی و مازندران به منظور دستیابی به مصرف انرژی حداقل (منبع: نگارندگان).

و ۴۴٪ از فضای بیش از ۲ درصد فاکتور نور روز فراهم است که به این ترتیب همگی از این وجه قادر نور روز کافی بوده‌اند (حداقل) (حداقل ۷۵٪ از فضای بایستی نور روز دریافت کنند) و لذا باید اصلاح گردند. به‌این منظور با افزایش سطح پنجره‌ها، مقدار سطح مناسب هر یک از گونه‌ها برای تأمین حداقل فاکتور نور روز برابر ۲ درصد در بیش از ۷۵٪ از فضای روش پارامتریک مشخص شد. حداقل درصد پنجره برای تیپ‌های

از سوی دیگر وضعیت گونه‌های مختلف از نظر میزان بهره‌مندی از نور طبیعی با یکدیگر مقایسه شده است. در هر چهار گونه تحت شرایط آسمان ابری میزان فاکتور نور روز محاسبه شده است. لذا مساحتی از فضای فاکتور نور روز (Daylight Factor) بیش از ۰/۲ دارد، محاسبه و در جدول شماره ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در گونه‌های مورد بررسی در شرایط مدل پایه در گونه‌های ۱ تا ۴ به ترتیب ۰/۶۸٪، ۰/۵۰٪،

مختلف (۲ و ۳ و ۴)٪ مشخص شده است. این در حالی است که گونه ۱ حتی با ۸۰٪ سطح شفاف در نما نیز به نور روز مناسب دست نخواهد یافت.

ردیف	تیپ	% فضای دارای نور کافی مدل پایه
۱	۲	۷۴۰
۲	۳	۷۵۰
۳	۴	۷۶۸
۴	۵	۷۴۴

#### ج ۵. درصد فضای دارای نور روز کافی در گونه های مختلف در مدل پایه WWR=16%

به این جهت سطح پنجره از ۱۶٪ در مدل پایه به ۳۶٪ افزایش یافت. این اقدام دو اثر به دنبال خواهد داشت. اثر اول، افزایش سطح دارای مقدار نور روز کافی به ۷۵٪ و نتیجه آن دستیابی به امکان بهره گیری از نور روز مناسب بوده است. اثر دوم افزایش تقریباً مشابه ساعات عدم آسایش ناشی از نیاز به سرمایش در فصول عمدهاً گرم در تمام گزینه ها و کاهش ساعت عدم آسایش دمای زیر ۲۰ درجه سانتیگراد است که در تمامی اقلیم ها به صورت محدود افزایش ساعت عدم آسایش را به همراه داشته است. طبعاً این مقدار در مقابل شرایط نور روز بهتر کاملاً قابل چشم پوشی خواهد بود. جدول شماره ۶ نشان دهنده نتایج این بررسی است.

از آنجا که افزایش مصرف انرژی با افزایش ابعاد پنجره ها به ۳۶ درصد اندک و کمتر از ۱.۵ درصد است با توجه به فراهم شدن نور روز مناسب و کاهش مصرف انرژی برای روشنایی در طول روز ۳۶ درصد پنجره برای استان های فارس ، سیستان ، خراسان و مازندران پیشنهاد می شود. بدیهی است استفاده از سایبان برای پیشگیری از دریافت بیش از حد تابش به خصوص در پنجره های جنوبی برای کاهش بار سرمایش الزامی و قابل توصیه است. تصاویر شماره ۸ و ۹ نحوه توزیع نور روز در شرایط با سطح پنجره مدل پایه WWR=16٪ و پیشنهاد اصلاحی WWR=36٪ در الگوی ۳ را نمایش می دهد. تأثیر و لزوم افزایش مقدار پنجره بهوضوح مشخص است.

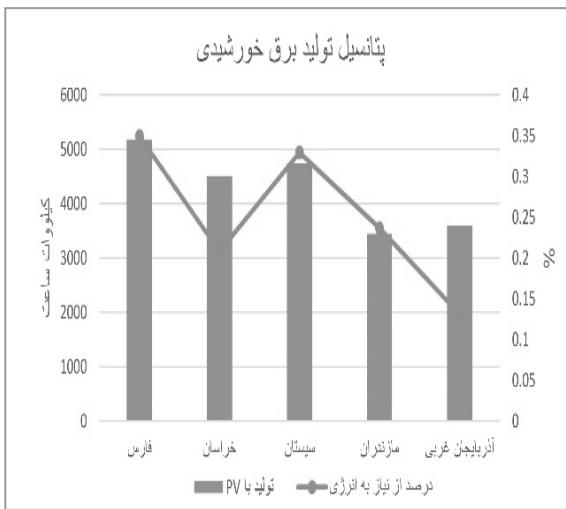
توزیع نور روز در شرایط با سطح پنجره مدل پایه WWR=16٪ و پیشنهاد اصلاحی WWR=36٪ در الگوی ۳ را نمایش می دهد. تأثیر و لزوم افزایش مقدار پنجره بهوضوح مشخص است.

تغییرات آسایش با افزایش ۳۰٪ WWR			
عدم آسایش <۲۰	عدم آسایش >۲۰	ساعت آسایش	
type 4	type 4	type 4	
218	-367	149	فارس
2.49%	-4.19%	1.70%	درصد
216	-259	43	آذربایجان
2.47%	-2.96%	0.49%	درصد
246	-379	133	سیستان و بلوچستان
2.81%	-4.33%	1.52%	درصد
240	-364	124	مازندران
2.74%	-4.16%	1.42%	درصد
204	-203	-1	خراسان رضوی
2.33%	-2.32%	-0.01%	درصد

#### ج ۶. تغییرات ساعت آسایش با افزایش سطح پنجره به ۳۶٪ در مدل پایه (منبع: نگارندها).

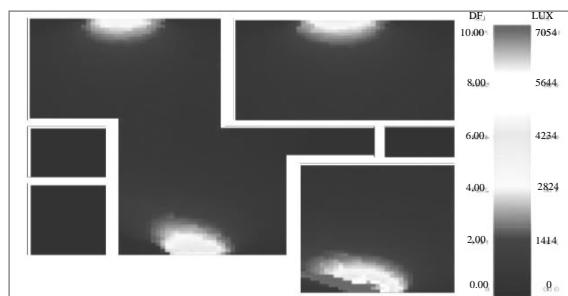
از آنجا که افزایش مصرف انرژی با افزایش ابعاد پنجره ها به ۳۶ درصد اندک و کمتر از ۱.۵ درصد است با توجه به فراهم شدن نور روز مناسب و کاهش مصرف انرژی برای روشنایی در طول روز ۳۶ درصد پنجره برای استان های فارس ، سیستان ، خراسان و مازندران پیشنهاد می شود. بدیهی است استفاده از سایبان برای پیشگیری از دریافت بیش از حد تابش به خصوص در پنجره های جنوبی برای کاهش بار سرمایش الزامی و قابل توصیه است. تصاویر شماره ۸ و ۹ نحوه توزیع نور روز در شرایط با سطح پنجره مدل پایه WWR=16٪ و پیشنهاد اصلاحی WWR=36٪ در الگوی ۳ را نمایش می دهد. تأثیر و لزوم افزایش مقدار پنجره بهوضوح مشخص است.

برق تولیدی از طریق نصب پنل های فتوولتاییک بر بام ساختمان در اقلیم های مختلف محاسبه شده است. به این منظور در مدل پایه، یک سیستم  $KW = 3$  با زاویه بهینه (مطابق عرض جغرافیایی) در هر اقلیم فرض شده است و میزان برق تولیدی در یکسال محاسبه شده است. بنابر نتایج، تولید انرژی این سلول ها در فارس حداقل و در ساری حداقل است. همچنین ۱۳ تا ۳۴ درصد از انرژی مصرفی سالیانه قابل تأمین است که این مقدار در استان های مختلف با توجه به شرایط تابش و نیز مقادیر انرژی مورد نیاز متفاوت خواهد بود. این مقادیر جهت امکان مقایسه بهتر در تصویر شماره ۱۰ ارائه شده است.

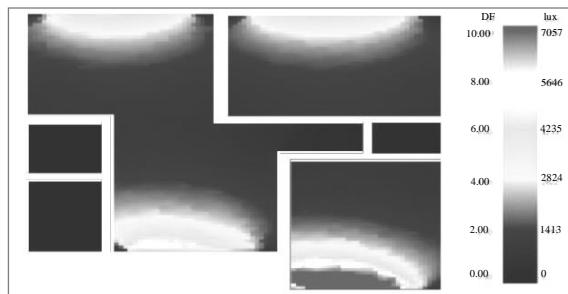


ت ۱۰. مقدار انرژی تولیدی پانل های سه کیلووات خورشیدی به صورت سالیانه و نسبت این مقدار انرژی تولیدی به نیاز انرژی مصرفی در هر منطقه (منبع: نگارنده گان).

به عنوان جمع بندی، نتایج این تحقیق که در جدول شماره ۷ به صورت خلاصه ارائه شده است، نشان می دهد اولاً کدام گونه ساختمانی برای کدام یک از شرایط اقلیمی مناسب تر است. ثانیاً کدام یک از تمهیدات و اقدامات بهسازی انرژی اثر بیشتری بر انرژی مورد نیاز



ت ۸. توزیع فاکتور نور روز و مقدار روشنایی بر حسب لوکس در فضاهای مختلف الگوی شماره ۳،  $WWR=16\%$ .



ت ۹. توزیع فاکتور نور روز و مقدار روشنایی بر حسب لوکس در فضاهای مختلف الگوی شماره ۳،  $WWR=36\%$ .

نتایج و بررسی های فوق، با اعمال راهکارهای معماری و ساختاری ذکر شده نیاز به انرژی در اقلیم های مختلف بین ۱۶ تا ۳۰.۵ درصد قابل کاهش است. علاوه بر کاهش نیاز به انرژی با توجه به پتانسیل بهره گیری از انرژی های تجدید پذیر در مناطق روستایی، میتوان بخشی از نیاز انرژی ساختمان را از این طریق تأمین کرد. از جمله آب گرم مصرفی ساختمان های مسکونی روستایی با استفاده از آبگرم کن های خورشیدی قابل تأمین است. در نهایت در صورت استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین آب گرم و نیز تأمین بخشی از انرژی مصرفی ساختمان، با استفاده از آبگرمکن خورشیدی، مقدار ۸۷۱ کیلووات انرژی به صورت سالیانه صرفه جویی خواهد شد که بدین وسیله حداقل ۳٪ از نیاز انرژی ساختمان کاهش داده می شود. همچنین

روی الگوهای پیشنهادی دانست. بررسی نتایج نشان می‌دهد که گرچه استفاده از راهکارهای معماری و ساختمانی حائز اهمیت است اما بهره‌گیری از روشهای تولید انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر در کنار این روش‌ها، تأثیرگذاری به مراتب بیشتر و مهمتری دارد. از سوی دیگر به وضوح پیداست که با استفاده از منابعی نظیر انرژی خورشیدی، امکان استقلال مسکن روستاوی در عمدۀ اقلیم‌های کشور به سهولت میسر است که می‌باشد در تحقیقات آتی به آن پرداخته شود.

و شرایط آسایش حرارتی و نیز تأمین نور روز مناسب در گونه‌های انتخابی دارد. ثالثاً علاوه بر ارائه توصیه‌هایی نظیر درصد بهینه بازشوها یا جهت‌گیری مناسب، مقدار بهبود در شرایط آسایش و مقدار انرژی مورد نیاز بر اثر هریک از اصلاحات قابل استفاده در مرحله طراحی و پیش از ساخت و یا مرحله بازسازی و بهسازی، بیان می‌کند. به عبارت دیگر در نهایت می‌توان محصول نهایی این تحقیق را مقدار انرژی مصرفی قابل صرفه‌جویی در صورت انجام هر یک از اقدامات بهسازی مورد اشاره

درصد میزان کاهش	مازندران	سیستان و بلوچستان	آذربایجان غربی	خراسان رضوی	فارس	حوزه	
%۷-۵	%۲۵	%۱۶	%۵۵	%۲۵	%۱۸	سطح پنجره به سطح دیوار (انرژی)	راهکار معماری و ساختمانی
%۲۸-۱	%۵۲	%۳۴	%۵۵	%۵۲	%۳۶	سطح پنجره به سطح دیوار (نور روز)	
%۱۱-۴	۳۰ جنوب شرقی	جنوب	۱۰ جنوب شرقی	جنوب	جنوب	جهت‌گیری بهینه	
%۱۵-۱۲	۱۰	۵	۱۵	۱۰	۱۵	حداقل ضخامت عایق بام (cm)	
%۱۹-۱۷	۸	۶	۴	۴	۶	حداقل ضخامت عایق دیوار (cm)	بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر
%۴-۳						استفاده از آب گرم کن خورشیدی در سطح بام	
%۳۴-۱۳	۳۴۶	۴۷۴۳	۳۵۹۶	۴۵۰۵	۵۱۸۱	تأمین انرژی مصرفی با استفاده از پل‌های فتوولتاییک در سطح بام (کیلو وات)	
	%۲۳	%۳۱	%۲۹	%۳۰	%۱۶	استفاده از راهکارهای معماری و ساختمانی	درصد بهبود انرژی مصرفی با استفاده از راهکارهای پیشنهادی
	%۶۰	%۸۴	%۵۳	%۵۴	%۷۳	استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و راهکارهای معماری و ساختمانی	

ج ۷. راهکارهای کاهش مصرف انرژی در مناطق روستاوی کشور و مقادیر تأثیر آن در هریک از شرایط اقلیمی  
(منبع: نگارنده‌گان).

## نتیجه

اهمیت حیات و توسعه پایدار روستایی در توسعه پایدار جوامع و رشد و ارتقای کیفیت زندگی بر کسی پوشیده نیست. مسکن روستایی از جمله موضوعاتی است که در تحقیق این امر نقش بهسازی دارد. در این راستا مطالعات گسترده‌ای در مورد گونه‌شناسی مسکن روستایی انجام پذیرفته است و گونه‌هایی نیز به عنوان مصاديق قابل تکرار پیشنهاد و ارائه شده‌اند. از آنجا که وجه مهمی از کیفیت زندگی در مسکن با موضوع انرژی و نیز تحقق شرایط آسایش گره خورده است، بهبود و ارتقای کارکرد انرژی و آسایش اهمیت زیادی دارد. به همین جهت با اتکا به الگوهای پیشنهادی بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، عملکرد انرژی این ساختمان‌ها در پنج استان خراسان رضوی، مازندران، آذربایجان غربی، فارس و سیستان و بلوچستان که بیشترین تعداد خانوار روستایی و تنوع جامعی از پراکندگی اقلیمی را دارند بررسی و در نرم افزارهای معتبر مدلسازی شد. نتایج نشان می‌دهد اولاً به منظور تأمین نور روز مناسب سطح پنجره در مدل‌های پیشنهادی باید حداقل ۲۰٪ افزایش یابد. اضافه کردن ۱۰ سانتیمتر عایق پلی استایرن در بام و دیوارها به ترتیب بین ۱۸ تا ۲۳٪ و ۱۱ تا ۱۴٪ کاهش مصرف انرژی به همراه خواهد داشت. این در حالی است که مصرف انرژی سالیانه الگوی بررسی شده در حالت پایه در خراسان رضوی و آذربایجان غربی در حدود ۲۱.۷ تا ۲۷.۴ مگاوات ساعت و در اقلیم‌های فارس، مازندران، و سیستان و بلوچستان بین ۱۴.۴ تا ۱۶.۸ مگاوات ساعت است و از آنجا که بیشترین درصد کاهش مصرف نیز در دو استان نخست اتفاق افتاده است، طبعاً اهمیت این اقدام اصلاحی در اقلیم‌های فوق ضروری خواهد بود. همین اقدام در تعویض پنجره‌های تک جداره به دو جداره (و کاهش

## فهرست منابع

- اسماعیلی، ش. (۱۳۹۶)، چگونگی تأثیر بازشوها بر تهווیه طبیعی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در خانه‌های سنتی مازندران نمونه موردی: روستای کندلوس In چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش‌های نوین در عمران ، معماری و شهرسازی (p.12).
- افتخاری، ع. ر.؛ حاجیپور، م؛ فتاحی، ا؛ پایدارکل، ا. (۱۳۹۱)، بررسی میزان انطباق ساخت و سازهای جدید در نواحی روستایی با معماری بومی و میزان رضایتمندی ساکنین روستایی (نمونه موردی: بخش مرکزی شهرستان دلفان) مسکن و محیط، (۳۱)، (۱۳۹)، ۸۵-۹۸.
- پوردیمیمی، ش؛ گسلی، ب. (۱۳۹۶)، بررسی شناسه‌های حرارتی جداره‌های پوسته خارجی بنا مطالعه موردی: مناطق روستایی اردبیل. مسکن و محیط رosta، (۳۴)، (۱۵۰)، ۵۲-۷۰.
- زمردان، ز؛ تحصیلدوست، م. (۱۳۹۴)، اعتبارسنجی نرم افزارهای شیوه‌سازی انرژی در ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه ای نشریه انرژی ایران، (۱۸)، (۴)، ۱۱۵-۱۳۲.
- طاهباز، م؛ جلیلیان، ش. (۱۳۹۵)، صرفه‌جویی انرژی در مسکن بوم آورده روستاهای استان سمنان مسکن و محیط

- Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, 743–755.
- Ahern, C., Griffiths, P., & O'Flaherty, M. (2013). State of the Irish housing stock—Modelling the heat losses of Ireland's existing detached rural housing stock & estimating the benefit of thermal retrofit measures on this stock. *Energy Policy*, 55, 139–151.
  - Collins, M., & Curtis, J. (2016). An examination of energy efficiency retrofit depth in Ireland. *Energy and Buildings*, 127, 170–182.
  - Galante, A., & Torri, M (2012). A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale. *Energy and Buildings*, 48, 211–219.
  - Griege, D., Krarti, M., & Hernández-Guerrero, A (2012). Optimization of energy efficiency and thermal comfort measures for residential buildings in Salamanca, Mexico. *Energy and buildings*, 54, 540–549.
  - Koopmans, M. E., Rogge, E., Mettepenningen, E., Knickel, K., & Sandra. (2017). The role of multi-actor governance in aligning farm modernization and sustainable rural development. *Journal of Rural Studies*.
  - Li, M., Zhao, J., & Zhu, N. (2013). Method of checking and certifying carbon trading volume of existing buildings retrofits in China. *Energy Policy*, 61, 1178–1187.
  - Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and buildings*, 40(3), 394–398.
  - Vidadili, N., Suleymanov, E., Bulut, C., & Mahmudlu, C. (2017). Transition to renewable energy and sustainable energy development in Azerbaijan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1153–1161.
  - Zhang, M., & Su, B. (2016). Assessing China's rural household energy sustainable development using improved grouped principal component method. *Energy*, 113, 509–514.
  - Zhao, X., Li, N., & Ma, C. (2012). Residential energy consumption in urban China: a decomposition analysis. *Energy Policy*, 41, 644–653.
- <https://doi.org/10.22034/38.167.3>
- روستا، ۳۵ (۱۵۳)، ۲۲–۳.
- غلامحسین، معماریان؛ محمدمرادی، ا؛ حسینعلیپور، س؛ حیدری، ا؛ دودی، س. (۱۳۹۶). تحلیل رفتار باد در تهویه طبیعی مسکن بومی روستای قلعه نوی سیستان به کمک CF مسکن و محیط روستا، ۳۹ (۱۵۷)، صص ۲۱–۳۶.
- فراتی، ف. (۱۳۹۲). بهینه‌سازی مصرف انرژی در مسکن روستایی دور از شبکه برق In پنجمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک و کارآمد (p. 67) تهران - ایران: بهینه‌سازی مصرف انرژی در مسکن روستایی دور از شبکه برق، پنجمین همایش علمی تخصصی انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک و کارآمد، تهران، هماندیشان انرژی کیمیا.
- قاسمزاده، م؛ محمدکاری، ب؛ طهماسبی، ف. (۱۳۸۹). مسکن روستایی و ضوابط صرفه جویی در مصرف انرژی مسکن و محیط، ۲۹ (۱۳۱)، ۶۰–۵۱. Retrieved from <https://jhre.ir/article-1-32-fa.html>
- قرشی، س. ص. (۱۳۹۳). هسازی، نوسازی و بازسازی بافت‌های فرسوده روستایی مطالعه موردی: مسکن روستای طول لوت. In اولین همایش ملی افق‌های توین در توامندسازی و توسعه پایدار معماری، عمران، گردشگری، انرژی و محیط زیست شهری و روستایی (p. 250). تهران - ایران.
- Retrieved from [https://www.civilica.com/Paper-DEVELOPMENT01-DEVELOPMENT01\\_250.html](https://www.civilica.com/Paper-DEVELOPMENT01-DEVELOPMENT01_250.html)
- محمودرض، میرلطیفی؛ توکلی، م؛ بندانی، م. (۱۳۹۱). بررسی تطبیقی وضعیت استقرار جهات جغرافیایی مسکن روستایی و مصرف انرژی در منطقه سیستان. *مسکن و محیط*, ۳۱ (۱۳۸)، ۵۲–۳۹.
- موسوی، م؛ تقیلو؛ ع. ا؛ باقری کشکولی، ع. (۲۰۱۶). تحلیل رابطه شاخص‌های جمعیتی با توسعه یافتنگی استان‌های ایران جغرافیا و مطالعات محیطی، ۴ (۱۶)، ۲۲–۷. Retrieved from [http://ges.iaun.ac.ir/article\\_13523.html](http://ges.iaun.ac.ir/article_13523.html)
- سایت‌ها:
- <http://www.irimo.ir/far>  
 سازمان هواشناسی کشوری
- <https://www.amar.org.ir/>
- درگاه ملی آمار ایران
- Afsharzade, N., Papzan, A., Ashjaee, M., Delangizan, S., Van Passel, S., & Azadi, H. (2016). Renewable energy development in rural areas of