

بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در بدنه‌های ساختمان بر مصرف انرژی بخش خانگی* نمونه موردی جهت گیری جنوب غربی و جنوب شرقی در شهر شیراز

زهرا برزگر**، شاهین حیدری^۱

^۱ دانشجوی دکتری معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران.

^۲ دانشیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۱/۶/۱۵، تاریخ پذیرش نهایی: ۹۲/۲/۲۱)

چکیده

در این تحقیق از آنالیز رگرسیون چند منظوره و روش انتخابی گام به گام جهت بررسی تاثیر انرژی خورشیدی بر میزان مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش در بخش مسکونی استفاده شده است. در شهر شیراز (با قابلیت بالای بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در تامین بخشی از انرژی)، ساختمان‌های مسکونی براساس جهت‌گیری ساختمان به دو گروه شمال شرقی - جنوب غربی و شمال غربی - جنوب شرقی تقسیم گردیدند و با استفاده از تست دوربین - واتسون فرضیه وجود همبستگی میان خطاها رد گردید. همچنین، جهت حذف تاثیر عوامل نامطلوب ساختمانی از مصرف انرژی اولیه، با بهره‌گیری از نرم افزار EC9.5 فرایند تحلیل سلسله مراتبی وزن هر یک از عوامل تعیین گردید. با توجه به ارتباط بین میانگین تابش دریافتی بدنه‌های عمودی با مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش در هر دو گروه، فرضیه اولیه تحقیق محقق گردید. این فرضیه بیان می‌نماید که خانه‌های دارای جهت‌گیری اقلیمی دارای مصرف کمتری می‌باشند. به عنوان یک نتیجه مشخص گردید که ۷۴٫۹۹٪ تابش دریافتی خانه‌ها مربوط به سطوح افقی می‌باشد. در پایان راه‌حلی جهت بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در کاهش مصرف انرژی خانه‌ها در شهر شیراز و پیشنهادهاتی به منظور گسترش و ادامه تحقیق ارائه گردیده است.

واژه‌های کلیدی

مصرف انرژی، بخش خانگی، انرژی خورشیدی، جهت‌گیری ساختمان، رگرسیون، تحلیل سلسله مراتبی.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نگارنده اول تحت عنوان "تدوین الگوی انرژی خانه ایرانی در پیوندی با انرژی‌های نو در شهر شیراز" در رشته معماری به راهنمایی نگارنده دوم می‌باشد.

** نویسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۷۷۱۸۹۳۷۸، نمابر: ۰۷۱۱-۶۲۲۲۲۸۴، E-mail: zahrabarzegar86@yahoo.com

مقدمه

(درگاه آمار ایران). با توجه به آمار شرکت توزیع برق منطقه ای، در سال ۱۳۸۹، مصرف انرژی ساختمان‌های شیراز ۴۹,۶ درصد کل است (shirazedc.co). با توجه به تعداد بالای مشترکین برق خانگی (۳۵,۷۹٪ کل ساختمان‌ها) و مصرف بالای این بخش، در نظر گرفتن سیاست‌های کنترلی ضروری است. از طرفی دیگر، محاسبه تابش خورشیدی شهر شیراز توسط جعفرپور و همکاران (Jafarpour, 1989, 177)، نشان داد که این منطقه دارای فراوانی دریافت تابش خورشید است. کل تابش سالانه، میانگین تابش روزانه، درصد تکرار روزهای آفتابی به ترتیب 7250 MJ/m^2 ، $19,9 \text{ MJ/m}^2$ و ۵۹ درصد بود که امکان بهره‌گیری از تابش خورشید در راستای کاهش مصرف انرژی ساختمان در شهر شیراز را بیان می‌نماید. لذا برای تامین آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی توامان با توجه به افزایش قیمت حامل‌های انرژی و حذف یارانه‌های این بخش، ضرورت توجه و کنترل مصرف انرژی در این بخش و بهره‌گیری از انرژی‌های جایگزینی مانند انرژی خورشیدی نمایان می‌گردد. با درک و شناسایی مشخصات اقلیمی، معماران گذشته شیراز، ساختمان‌هایی خلق نموده‌اند که مبنای اولیه آنان آسایش حرارتی بوده است (قبادیان، ۱۳۸۷، ۱۴). این تحقیق تأثیر جهت‌گیری ساختمان ابتدا بر مصرف انرژی اولیه (E_{primary}) و سپس بر مصرف انرژی گاز (E_{Gas}) و برق ($E_{\text{Electricity}}$) در بخش‌های سرمایش و گرمایش (E_{cooling} و E_{heating}) را در خانه‌های مسکونی شهر شیراز در دو بازه سالانه و ماهانه تعیین نموده است. خانه‌ها به دو گروه شمال شرقی - جنوب غربی (NE-SW) و شمال غربی - جنوب شرقی (NW-SE) تقسیم گردیده‌اند.

امروزه با افزایش رفاه، نیاز به انرژی در حال افزایش بسیار سریع است و این در حالیست که منابع انرژی محدود است (Pugha et. al, 2011, 634). ساختمان‌ها ۴۵ درصد انرژی مصرفی دنیا را مصرف می‌نمایند و همچنین ۳۰ درصد گازهای گلخانه‌ای آمریکا را تولید می‌نمایند (Zhai et. al, 2010, 357). دلایل روز افزون مصرف انرژی ساختمان‌ها شامل تغییر اقلیم، افزایش نیاز برق خانگی، افزایش ساختمان‌ها، رشد استفاده از وسایل برقی خانگی، تغییرات در صنعت، مصرف زیاد ساختمان‌های موجود و فقدان نظارت دولتی است (Yao, 2011, 2197). ساختمان‌های بخش مسکونی از اصلی‌ترین بخش‌های مصرف‌کننده انرژی است. مانند بسیاری دیگر از کشورهای ایران نیز بخش مسکونی سهم بسزایی در مصرف انرژی دارد و تحقیق در این زمینه یکی از نیازهای روز جامعه می‌باشد. مصرف انرژی وابستگی شدیدی با اقلیم منطقه دارد (Zhang, 2004, 1217). اقلیم گرم و خشک با دو مشخصه مهم گرمای زیاد و خشکی هوا تعریف می‌شود (کسمایی، ۱۳۸۵، ۳۷). در این مناطق تابش مستقیم خورشیدی بر سطح افق بین ۷۰۰ تا 800 k cal/h/m^2 است (Moradia et. al, 2011, 37). طبری با بررسی روند حداکثر و حداقل دمای هوا در مناطق گرم و خشک ایران نشان داد که دمای حداقل و حداکثر به مرور زمان افزایش یافته‌اند (Tabari et. al, 2011, 4).

شهر شیراز در عرض جغرافیایی "۳۳° ۲۹" و در طول جغرافیایی "۳۳° ۵۲" در منطقه نیمه گرم و خشک ایران قرار دارد. با افزایش جمعیت (۱۷۴۹۹۲۶ در سال ۱۳۸۹) و تعداد خانوار (۶۴۴۱۹۵ در سال ۱۳۸۵) این شهر دارای خانه‌های بسیار است

سابقه تحقیق - مصرف انرژی در بخش مسکونی و تأثیر جهت‌گیری ساختمان بر آن

در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی، مورد توجه پژوهشگران و مدیران انرژی در بخش مسکونی قرار گرفته است. در این زمینه، سوان و آگورسال به مرور ادبیات تکنیک‌های متفاوت استفاده شده در مدل‌سازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند (Swan et. al, 2009, 1824). دونگ و همکارانش از یک الگوریتم شبکه عصبی، برای پیش‌بینی مصرف انرژی ساختمان در مناطق گرمسیر استفاده کردند (Dong et. al, 2005, 552). برای بدست آوردن اطلاعات تخصصی تر در زمینه مدیریت انرژی ساختمان، لی و کونگ در مقاله خود پیشنهاد تعدیل روش سنتی را با استفاده از طبقه بندی آب و هوایی و تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) مطرح کردند (Lee et. al, 2011, 1801). با استفاده از داده‌های آماری، ژانگ مصرف سالانه برق، گاز مایع، گاز طبیعی و زغال سنگ و همچنین انرژی برای گرمایش منطقه در اقامتگاه‌های شهری مناطق مختلف را با معادلات رگرسیون تجزیه و تحلیل کرد (Zhang, 2004, 1219).

هیرست و همکارانش، داده‌های پیمایش مصرف موقت انرژی در سطح ملی (NIECS) در مورد مصرف انرژی خانگی اعم از کل انرژی مصرفی، مصرف برق و استفاده از سوخت‌های اصلی گرمایش فضا را بررسی کردند (Hirest et. al, 1982, 76). با استفاده از داده‌های پیمایش مصرف انرژی مناطق مسکونی، کازا از روش آنالیز کمی رگرسیون به منظور تبیین اثرات پارامترهای مختلف بر توزیع کل در طیف مصرف انرژی استفاده نمود. نتایج حاکی از آن بود که در حالی که اندازه مسکن برای تهویه فضا اهمیت دارد، نوع مسکن دارای تأثیر کمتری است. علاوه بر این، به نظر نمی‌رسد تراکم همجواری‌های گزارش شده هیچ نوع تأثیری بر مصرف انرژی داشته باشد (Kaza, 2010, 6578). در تحقیق دیگری، میچالیک و همکاران از رویکرد سیستم فازی برای پیش‌بینی نیاز انرژی بخش مسکونی استفاده نموده‌اند (Michalik et. al, 1997, 950).

تحقیقاتی که به منظور مطالعه اثر جهت ساختمان در مصرف انرژی انجام شده باشند، بسیار کم است. یو و همکارانش از نرم‌افزار EQUSET برای تجزیه و تحلیل اثرات راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف انرژی کولر در اتاق‌هایی با جهت‌های

عوامل بدنه ساختمان است، بدین معنا که مشخصات مختلف طراحی و ساخت یک بنا بر میزان انرژی مصرفی خانه رابطه نزدیک دارد که در این مقاله انرژی تابشی بر بدنه‌ها ملاک عمل است. یکی دیگر از عوامل ادوات انرژی بر، درون ساختمان است که مستقیماً بر میزان انرژی تاثیر می‌گذارد.

الف) انرژی تابشی خورشید در نمونه‌های موردی: در

اصل مصرف انرژی ساختمان به چگونگی پاسخگویی طراحی ساختمان به اقلیم وابسته است. برای مثال موقعیت پنجره‌ها در یک ساختمان دارای اهمیت بسیاری است زیرا می‌تواند بر میزان جذب نور، میزان سرمایش و تهویه تاثیر مستقیم گذارد (Taleb et al, 2011, 384). پینل و همکاران (۲۰۱۱، ۳۵۹) از تحقیق خود دریافتند که ذخیره فصلی انرژی گرمایی دارای پتانسیل بالایی برای تامین گرمایش و آب گرم بخش مسکونی است. بنابراین مشخصات معمارانه متفاوتی بر میزان مصرف انرژی تاثیر می‌گذارند؛ مانند کیفیت بدنه‌ها، مصالح سقف، شکل ساختمان، تعداد طبقات، اندازه و موقعیت پنجره‌ها، نفوذپذیری و ارتباط با زمین. در این مقاله، جهت بررسی تنها تاثیر عامل جهت‌گیری عوامل دیگر عوامل نامطلوب اطلاق می‌شوند (جدول ۱).

تابش خورشیدی تاثیر بسزایی بر میزان آسایش حرارتی ساختمان دارد، چه در زمستان با جذب حرارت و چه در تابستان با جلوگیری و دفع حرارت از ساختمان. برای جلوگیری از جذب تابش خورشید در بدنه‌های ساختمان در گرمای تابستان، از سایه اندازی و عایق حرارتی در معماری بومی بهره می‌گرفته‌اند (Borong et al, 2004, 74). شن و همکارانش (۲۰۱۱، ۵۸۰)، دریافتند که تابش خورشیدی بر دمای داخلی و خارجی تاثیر می‌گذارد. پارکر و همکارانش (۱۹۹۴)، با بررسی مصرف انرژی ۶ خانه قبل و بعد از عایق کاری سقف، شاهد کاهش مصرف برق تهویه مطبوع خانه‌ها از ۱۱٪ تا ۴۳٪ بودند. با توجه به اهمیت داده‌های تابش خورشیدی در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی و همچنین مهندسی، روش‌های متفاوتی برای محاسبه آن وجود دارد (Sabziparvar, 2008, 1003). برخی از محققان تابش خورشیدی بر سطح افق را اندازه‌گیری نموده‌اند. پارتیج و پروکتر (۱۹۷۶، ۲۳۵)، مدلی را برای تخمین تابش خورشیدی در سطح زمین بکار گرفته‌اند. دانشیار (Sabziparvar, 2008, 1002)، مدلی را برای پیش بینی تابش روزانه در شهر تهران ارائه داده است. جعفریور و یعقوبی (۱۹۸۹، ۱۷۷) نیز تابش ماهانه و سالانه را برای یک نقطه مشخص در شهر شیراز برآورد نموده‌اند. در تحقیق

مختلف در چین استفاده نمودند. نتایج نشان می‌دهد که سایبان و عایق بندی دیوارهای خارجی، بهترین راهکار برای کاهش مصرف برق است که صرفه جویی ۱۱،۳۱ و ۱۱،۵۵ درصدی را به دنبال دارد. بهینه سازی راهکارهای مختلف می‌تواند مصرف سالانه برق را تا ۲۵،۹۲ درصد کاهش داده و مصرف برق برای سرمایش و گرمایش به ترتیب تا ۲۱،۰۸ و ۳۴،۷۷ درصد کاهش می‌یابد (Jinghua et al, 2008, 1539). جابر و عجیب، ارزیابی بهترین جهت گیری ساختمان، اندازه پنجره، و ضخامت عایق کاری حرارتی برای یک ساختمان مسکونی در منطقه مدیترانه را بررسی کرده‌اند. نتایج دال بر این مطلب بودند که در حدود ۲۷،۵۹ درصد از مصرف انرژی سالانه را می‌توان با انتخاب بهترین جهت، اندازه بهینه پنجره‌ها، سایبان و ضخامت مطلوب عایق صرفه جویی نمود (Jaber et al, 2011, 1830).

معرفی خانه‌های انتخابی

نحوه‌گزینش نمونه‌های موردی

با توجه به گستردگی شیراز، خانه‌های انتخابی از میان منازل با عمر ۴۰ سال در سطح شهر نمونه‌گیری شده‌اند. در ابتدا با انتخاب کاملاً تصادفی و براساس همکاری ساکنین ۱۰۰ خانه، جامعه آماری اولیه شکل گرفت و سپس با در نظر گرفتن تنها دو جهت شمال شرقی- جنوب غربی (NE-SW) و شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) که بالاترین درصد (حدود ۸۳٪) جهت گیری در میان جامعه آماری اولیه را دارا بودند، ۸ خانه نهایی به روش تصادفی انتخاب گردید. نکته حائز اهمیت، تغییر گونه معماری مسکونی شیراز از این تاریخ و فاصله‌گیری خانه‌ها از بافت تاریخی است. لذا بررسی انرژی این خانه از این نظر حائز اهمیت می‌باشد که معماری به اصطلاح التقاطی نو و در واقع جهش از معماری سنتی به معماری مدرن را مورد کندوکاو قرار می‌دهد. در این گونه از معماری، کلیه اجزای معماری عوض گردیده است و همچنین سبک مصرف انرژی خانه‌ها از نفت به گاز و برق تغییر یافته است.

مصرف انرژی در نمونه‌های موردی

مصرف انرژی به فاکتورهای متعددی وابسته است. در این مقاله دو فاکتور برجسته مشخصات ساختمان و ادوات انرژی بر، در نمونه‌های موردی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. یکی از این

جدول ۱- عوامل نامطلوب نمونه‌های موردی.

گروه	ردیف	تعداد ساکنین	مساحت زمین (m ²)	مساحت زیربنا (m ²)	تعداد طبقات	نسبت طول به عرض	سطح همجوار با همسایه	نسبت پنجره به دیوار	تعداد نما
NE-SW:۱	H1	۳	۱۲۸	۲۷۳	۲	۱،۰۸	۸۸،۵۰	-	۱
	H2	۴	۱۰۲	۷۸،۲۰	۱	۱،۰۷	۵۲،۵۰	0.21 NE	۲
	H3	۵	۲۲۱،۹۰	۱۲۲،۸	۱	۰،۲۷	۹۴،۵۰	-	۱
	H7	۵	۳۱۲،۵	۱۶۰	2	۱،۰۲	۱۷۴	0.36 SW	۲
	H4	۵	۲۰۰	۹۸،۰۱	۱	۱	۵۹،۴۰	-	۱
NW-SE:۲	H5	۵	۲۰۹	۱۱۸	۱	۱،۲	۷۳،۲۰	-	۱
	H6	۴	۱۱۸،۵۳	۱۱۶،۳	۱	۰،۷۵	۱۵۱،۶۰	0.14 SE	۲
	H8	۷	۲۱۳،۹	۱۳۲،۹	۱	۱،۱۲	۷۳،۵۰	-	۱



تصویر ۱- پلان، نما و مقطع تعدادی از نمونه‌های موردی؛ A: خانه شماره ۳ یک طبقه با هم‌جواری هم‌پلاک از گروه ۱؛ B: خانه شماره ۱ دو طبقه با هم‌جواری هم‌پلاک از گروه ۱؛ C: خانه شماره ۷ دو طبقه با هم‌جواری هم‌پلاک از گروه ۱؛ D: خانه شماره ۴ یک طبقه با هم‌جواری هم‌پلاک از گروه ۲؛ E: خانه شماره ۶ یک طبقه با هم‌جواری هم‌پلاک از گروه ۲.

آسایش حرارتی با کمک ادوات مکانیکی سرمایشی، تهویه مطبوع و نورپردازی است. با توجه به سبب انرژی شهر شیراز شامل نفت، گاز طبیعی و الکتریسیته، برای ارزیابی مصرف انرژی نمونه‌های موردی انرژی الکتریسیته به چهار دسته سرمایش ($E_{Cooling}$)، گرمایش ($E_{Heating}$)، روشنایی ($E_{Lighting}$) و تجهیزات منزل (E_{Equip}) طبقه بندی گردیده اند. مهم‌ترین بخش مصرف‌کننده انرژی الکتریسیته در شهر شیراز بدلیل گرمای شدید تابستان و خشکی همزمان هوا، بخش سرمایش است. در نمونه‌های موردی، کلیه خانه‌ها سرمایش اصلی خود را با کولر از نوع انرژی الکتریسیته تامین می‌نمایند. علاوه بر آن مصرف گاز به بخش‌های گرمایش ($E_{Heating}$) و تجهیزات (E_{Equip}) دسته بندی گردیده‌اند که مصرف‌کننده اصلی این انرژی در شیراز گرمایش است و فصل زمستان بدلیل سرمای خشک و باد سوزآور وجود گرمایش را ضروری می‌نماید. در نمونه‌های موردی انتخابی، تنها بخاری با انرژی گاز

دیگری یعقوبی و سبزواری (۱۹۹۶، ۳۹۹)، ضریب وضوح ماهانه شهر شیراز را محاسبه نموده‌اند (Sabziparvar, 2008, 1010). با وجود استفاده آسان از این مدل‌های پیشنهادی در کلیه نقاط ایران، تابش خورشیدی بر سطوح عمودی با زوایای متفاوت نسبت به شمال جغرافیایی که دارای استفاده بسیار در شاخه‌های مهندسی و بویژه معماری است، هنوز توسط محققان برای شهر شیراز محاسبه نگردیده است. برای حصول به این هدف، نرم افزارهای کامپیوتری متعددی مانند Eco, Energy plus, Transys, tech Ret screen بکارگرفته می‌شود، اما مشکل، عدم وجود داده‌های اقلیمی شهر شیراز در این نرم افزارهاست. بنابراین با کمک روش ویکتور اولگی تابش خورشیدی بر سطوح افقی و عمودی برای دو گروه خانه‌های شهر شیراز محاسبه گردیده است. (ب) ادوات انرژی بر ساختمان: دیلی و همکاران (۲۰۱۰، ۲۲۱۹) تاکید نموده‌اند که تخریب محیط زیست نتیجه تامین

جدول ۲- نتایج تست دوربین- واتسون.

متغیر وابسته	گروه	R	R ²	R ² تعدیل شده	خطای استاندارد پیش بینی	دوربین- واتسون
E _{cooling}	1	0.891	0.794	0.790	332.06009	1.846
	2	0.758	0.574	0.565	1134.13467	1.556
E _{heating}	1	0.814	0.663	0.656	423.80631	1.716
	2	0.767	0.589	0.581	834.44732	1.699
E _{primary}	1	0.806	0.650	0.643	2754.51948	2.071
	2	0.689	0.475	0.464	3925.22106	1.507

a. Predictors: Er

رگرسیون بهره برده‌اند، Lee, 2011; Kaza, 2010; Tso Geoffrey (2007) محبوبیت این روش شاید بدلیل تفسیر پذیری پارامترهای مدل و سهولت استفاده باشد (Tso Geoffrey, 2007, 1762). در این مقاله از تحلیل رگرسیون چندمنظوره برای تعیین تاثیر میزان تابش خورشید به بدنه‌ها (E_p) بر مصرف انرژی بخش سرمایش (E_{cooling})، گرمایش (E_{heating}) و انرژی اولیه (E_{primary}) استفاده شده است. همچنین از تست دوربین- واتسون جهت پیدا کردن همبستگی بین خطاها کمک گرفته شده است. در تحلیل رگرسیون، آماره دوربین- واتسون یک آماره آزمون می‌باشد که برای بررسی وجود خود همبستگی بین باقیمانده‌ها در تحلیل رگرسیون استفاده می‌گردد. مقدار این آماره همواره بین ۰ تا ۴ قرار می‌گیرد که آستانه‌های مورد پذیرش آن به صورت زیر است:

- مقدار ۲ برای این آماره، نشانگر عدم وجود خود همبستگی می‌باشد که حالت مطلوب در فرضیات اصلی مربوط به باقیمانده‌ها در تحلیل رگرسیون می‌باشد.
- مقدار بیشتر از ۲ این آماره، همبستگی پیاپی منفی را در بین باقیمانده نشان می‌دهد.
- مقدار آماره آزمون اگر کمتر از ۱ یا بیشتر از ۳ باشد، زنگ هشدار برای وجود خود همبستگی مثبت یا منفی بین باقیمانده می‌باشد.

فرمول محاسبه بصورت زیر می‌باشد که در آن از تاخیر مرتبه یک استفاده شده است و e_t باقیمانده t ام در معادله رگرسیون و T تعداد کل مشاهدات میباشد:

$$d = \left(\sum_{t=2}^{t=T} (e_t - e_{t-1})^2 \right) / \left(\sum_{t=1}^{t=T} e_t^2 \right)$$

نتایج این تست نشان داده‌اند که فرضیه وجود همبستگی بین خطاها رد شده است (جدول ۲). بنابراین تحلیل رگرسیون می‌تواند در این تحقیق استفاده گردد. در مدل رگرسیون روش انتخاب گام به گام بکارگرفته شده است.

در مورد مراحل اندازه گیری و محاسبات نکات زیر حائز اهمیت می‌باشد:

- میزان تابش ماهانه دریافتی خورشیدی بر بدنه‌های افقی و عمودی توسط روش ویکتور اولگی برای دو گروه خانه‌های شیراز محاسبه گردید. این میزان جهت کلیه ماه‌های سال بدست آمده است و تنها به بازه زمانی سرد و گرم سال بسنده نگردیده است،

بکار گرفته شده است.

ج) معرفی تفصیلی یکی از نمونه‌های موردی: نمونه موردی

(خانه شماره ۳ در گروه اول)، دارای جهت‌گیری شمال شرقی- جنوب غربی NE-SW است (تصویر ۱). این خانه دارای عمر حدود ۴۰ سال در بخش میانی شهر قرار دارد. این نمونه موردی در نمای جنوب غربی، سقف و پاسیو سقفی خود در جبهه شمال شرقی، تابش خورشیدی را دریافت می‌نماید. این خانه دارای نمای جنوب غربی به مساحت ۲۸/۸۰ متر و سقف به مساحت ۱۱۳/۶۸ متر و دو نورگذر به مساحت‌های ۸۵/۰ و ۲۸/۸ متر است. دو اتاق انتهایی از پاسیوی ۰،۸۵ متر مربعی، انتهای میانی نورگیر می‌باشند و اتاق میانی دارای پنجره ای به سمت راهرو داخل هال می‌باشد. نورگیر میانی نیز روبروی آشپزخانه در مرکز خانه جهت نورگیری فضاهای میانی خانه تعبیه شده است. لیست ادوات انرژی بر نیز تهیه گردیده است که بخش گرمایش شامل ۲ بخاری، بخش گرمایش شامل ۱ کولر و ۲ پنکه، بخش روشنایی شامل ۸ لامپ کم مصرف و یک لامپ پرمصرف، بخش تجهیزات شامل یخچال، فریزر، ماشین لباسشویی، جاروبرقی، تلویزیون، کامپیوتر است.

مراحل و روش تحقیق

تحقیق حاضر با کمک روش‌های تجربی و تحلیلی انجام شده که شامل انتخاب نمونه‌های موردی؛ بررسی ویژگی‌های نمونه‌های موردی؛ محاسبه کل تابش ماهانه و سالانه دریافتی بر بدنه‌های ساختمان (E_p) شامل تابش خورشیدی بر سطوح افقی (E_{hr}) و سطوح عمودی (E_{vr}) بدنه‌های ساختمان؛ محاسبه مصرف انرژی اولیه (E_{primary}) ساختمان با کمک ضریب مبنای (EIA, 2011)؛ محاسبه انرژی مصرفی بخش سرمایش و گرمایش ساختمان (E_{cooling}, E_{heating})؛ آنالیز E_p با E_{primary} جهت بدست آوردن میزان تاثیر E_p بر مصرف انرژی ساختمان است. روش اولگی روش مبنای محاسبه تابش دریافتی بر بدنه‌های ساختمان است. ویکتور اولگی با ارائه مقاله محاسبه انرژی خورشیدی امکان محاسبه سریع میزان انرژی خورشیدی مستقیم، انعکاسی و پراکنده بر سطوح افقی و قائم در جهت‌های مختلف را ایجاد نموده است (جهت مطالعه بیشتر رجوع شود به کسمایی، ۱۳۸۵، ۲۹-۳۰).

بسیاری از محققان مصرف انرژی در ساختمان از روش

اولویت تاثیر عوامل مختلف بدنه بر مصرف انرژی یک خانه است مانند تاثیر سطح پنجره و یا جهت گیری ساختمان. سپس روند سلسله مراتب تحلیلی (AHP) با کمک نرم افزار Expert Choice 9.5 جهت اولویت بندی و تعریف وزن عوامل نامطلوب بکار برده شد. روش AHP یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک تکنیک تصمیم گیری چند معیاره است که می توان از آن در اولویت بندی استفاده نمود. این فرایند که توسط توماس ساعتی ارائه گردید، به گونه ای طراحی شده است که با ذهن و طبیعت بشری مطابق می شود (Saaty, 1994, 426; 1980, 32). در این فرایند که به منظور دسته بندی خواسته های مشتریان یک ساختار سلسله مراتبی شامل هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه ها ایجاد می شود، محاسبه وزن در دو قسمت جداگانه وزن نسبی و وزن نهایی انجام می پذیرد. وزن معیارها منعکس کننده اهمیت آنها در تعیین هدف است (قدسی پور، ۱۳۷۹، ۲۵). در فرایند تحلیل سلسله مراتبی می توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه نمود و نسبت به قابل قبول یا مردود بودن آن قضاوت کرد (قدسی پور، ۱۳۷۹، ۲۵). از جمله ویژگی های نرم افزار مورد اشاره، توانایی آن در دریافت داده های کمی و کیفی است. خروجی این بخش جهت محاسبه $E_{Primary}$ ، $E_{Cooling}$ و $E_{Heating}$ بکارگرفته شده است. با اثردهی این وزن ها، میزان تاثیر عوامل نامطلوب در مصرف انرژی خانه ها حذف گردیده اند و سپس مصرف انرژی خانه ها به شکلی پایه قابل مقایسه گردید.

بحث

الف) تاثیر E_r بر $E_{Primary}$ ، $E_{Heating}$ ، $E_{Cooling}$: در هر دو گروه انرژی الکتریسیته جهت سرمایه گذاری از اوریل (فروردین) تا نوامبر (آبان) و گاز طبیعی نیز جهت سرمایه گذاری از اکتبر (مهر) تا می (اردیبهشت) مورد استفاده بوده است. روند مصرف سرمایه گذاری و گرمایش در تمامی خانه ها تقریباً یکسان است؛ حداکثر $E_{Cooling}$ در جولای (تیر) و آگوست (مرداد) و حداکثر $E_{Heating}$ در ژانویه (دی) و فوریه (بهمن) بوده است.

گروه اول: در گروه اول، خانه ۱، کم مصرف ترین خانه در سه بخش سرمایه گذاری و گرمایش و انرژی اولیه است. اما خانه با وجود عدم مصرف بالا در بخش سرمایه گذاری و گرمایش، در بخش انرژی اولیه بیشترین مصرف را داراست. بنابراین مصرف بالای انرژی اولیه این خانه به بخش های دیگر انرژی بر مربوط است. خانه شماره ۴، پر مصرف ترین نمونه در دو بخش سرمایه گذاری و گرمایش است (تصویر ۲). نتایج مقایسه E_r خانه های گروه ۱ در زیر بیان گردیده است:

• روند تقریباً یکسان نوسان این انرژی در خانه های ۲، ۳ و ۴، حاکی از حداکثر دریافت تابش در ماه های گرم سال و حداقل تابش در ماه های سرد سال است، این مطلب نشان دهنده اقلیمی نبودن این خانه هاست، تنها عامل نامطلوب مشترک خانه های ۲ و ۴ داش تن دو نمای متقابل است. یکی از دلایل افزایش مصرف انرژی در خانه شماره ۴، مطلب بیان شده است، دلیل دیگر این افزایش، مصرف دریافت حداکثر تابش در بدنه ها نسبت به خانه های دیگر بدلیل سطح زیاد سقف و بدنه ها

زیرا استفاده از ادوات سرمایشی و گرمایشی در شهر مورد بررسی، تنها به زمستان و تابستان محدود نگردیده است. در ضمن در کلیه نمونه های موردی میزان تابش وارده بر هر متر مربع سطح مورد نظر با جهت گیری و زاویه خاص خود بدست آمده و سپس در سطح مورد نظر اعمال گردیده است. سطوح سایه نیز از میزان سطوح کل حذف گردیده اند.

- میزان انرژی های مصرفی نمونه از طریق داده های دریافتی هر یک از خانه ها از اداره برق و گاز می باشد. بازه زمانی برآورد از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ می باشد و جهت تعدیل از میانگین ماهانه هر سه سال استفاده شده است. مدت زمان بهره گیری از سیستم های سرمایشی و گرمایشی بر اساس خالص سازی و تفکیک هر یک از گروه های مصرف کننده انرژی بدست آمده است که در ذیل به آن پرداخته می شود:

- چهار بخش متفاوت برای مصرف انرژی گاز و الکتریسیته وجود دارد:

$$E_{Cooling} + E_{Heating} + E_{Lighting} + E_{Equip.} = E_{Total} = E_{Primary}$$

- مصرف انرژی بخش سرمایه گذاری تنها از انرژی الکتریسیته است. مصرف انرژی بخش گرمایش ($E_{Heating}$) تنها از انرژی گاز است. با توجه به هدف تحقیق، $E_{Equip.}$ و $E_{Lighting}$ ثابت فرض شده اند و $E_{Cooling}$ و $E_{Heating}$ به روش زیر محاسبه گردیده اند و مدت زمان مصرف هر کدام مشخص گردیده است:

$E_{Electricity}$:

$$E_{Electricity} = E_{Cooling} + Cons.$$

$$\text{Then: } E_{C,E} = E_{Cooling}$$

$$\text{زمستان: } E_{Electricity} = E_{Heating} + Cons. = 0 + Cons.$$

$$\text{Then: } E_{C,E} = 0$$

$E_{Natural gas}$:

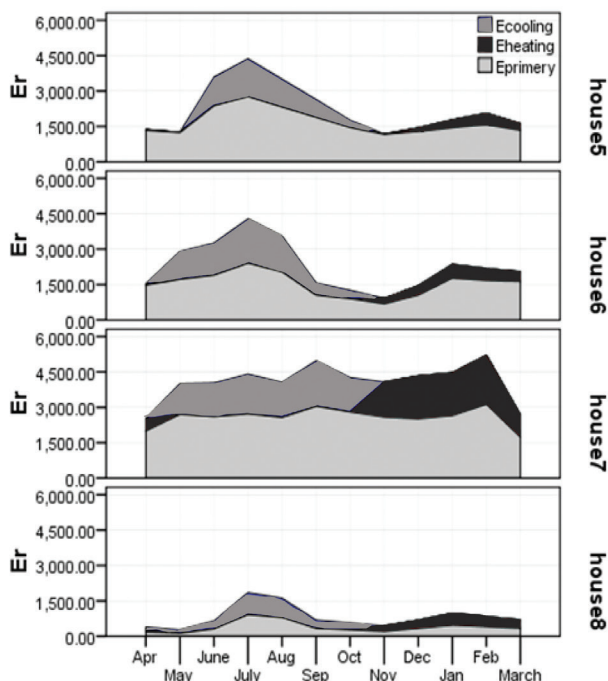
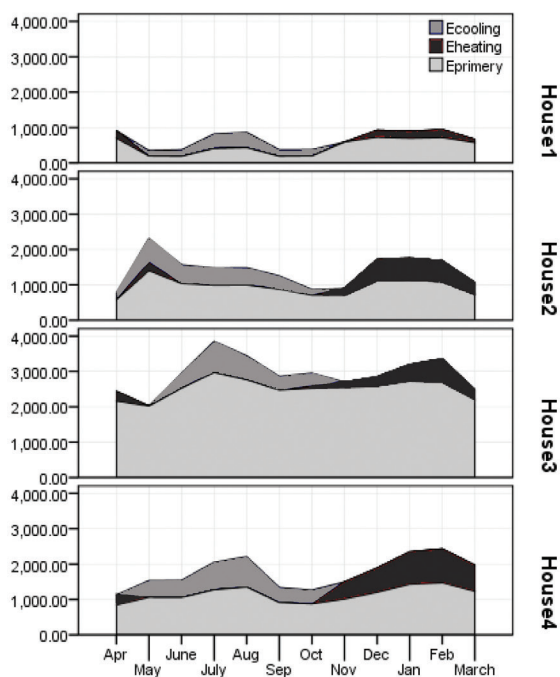
$$\text{تابستان: } E_{Natural gas} = E_{Cooling} + Cons. = 0 + Cons. = Cons.$$

$$\text{Then: } E_{C,G} = 0$$

$$\text{زمستان: } E_{Natural gas} = E_{Heating} + Cons.$$

$$\text{Then: } E_{C,G} = E_{Heating}$$

ماه های اوج مصرف گرمایش فضایی و سرمایه گذاری، به رفتار هر یک از نمونه های موردی و ساکنین آنان وابسته بود. از آن گذشته، عوامل نامطلوب مشخصه های ساختمانی می باشند که در جدول ۱ در مورد هر یک از نمونه های موردی ارائه گردیده است. این عوامل بدلیل تفاوت در هر یک از نمونه ها، امکان مقایسه یکسان مصرف انرژی و انرژی تاییده شده را بطور عادلانه مقدور نمی سازند. لذا در این مقاله با کمک پرسشنامه و سپس اعمال روش AHP حذف گردیدند. اگرچه عوامل نامطلوب بر هر دو عامل E_r و $E_{Primary}$ تاثیر می گذارند، اما در این مقاله تنها تاثیر آن بر $E_{Primary}$ با کمک وزن های AHP حذف شده است. در این راستا، بدو پرسشنامه هایی تهیه و توسط گروه ۳۰ نفره تصمیم گیران شامل خبرگان و اساتید رشته های مهندسی صنایع، انرژی، معماری و مهندسی مکانیک دانشگاه تهران، شهید بهشتی و شیراز تکمیل شد. از جمله سوالات این پرسشنامه تعیین

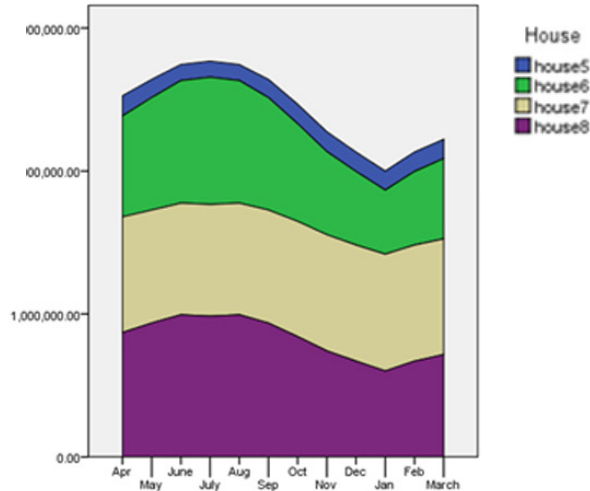
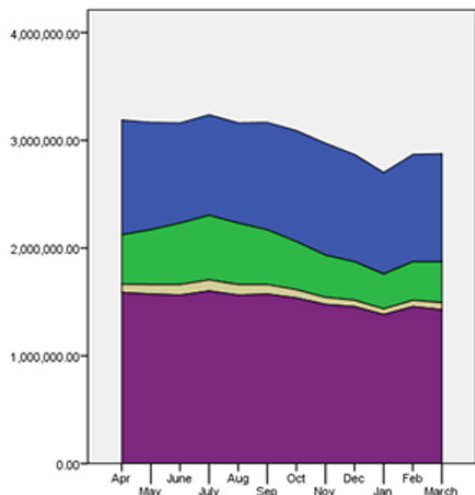


تصویر ۲- مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش در گروه ۱ و ۲.

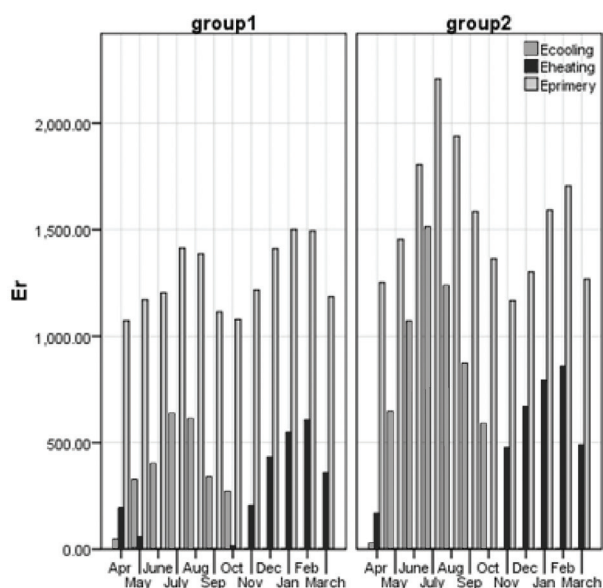
فروردین) است، این مطلب نشان دهنده اقلیمی بودن این خانه در فصل تابستان، بهار و پاییز و غیر اقلیمی بودن در زمستان است. همچنین دو طبقه بودن و در نتیجه کاهش سطح سقف از عوامل اصلی مصرف کمتر بخش سرمایش است (تصویر ۳). با توجه به اینکه هرچه شیب خطوط تصویر ۵ بیشتر باشد، ارتباط کمتری بین انرژی مصرفی و E_p موجود است، از مقایسه ارتباط در گروه اول می‌توان نتیجه گرفت که مصرف انرژی در خانه ۳ بدلیل مصرف بالا در بخش‌هایی غیر از سرمایش و گرمایش، ارتباط نامناسبی با میزان انرژی تابیده شده بر بدنه‌ها دارد. مناسب‌ترین ارتباط در بخش انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش مربوط به خانه ۱ و بدترین ارتباط در بخش سرمایش و گرمایش مربوط به خانه ۳ است. خانه‌های ۱ و ۴ به یکدیگر شباهت بیشتری داشته که وجه مشترک دو طبقه بودن است.

(نسبت طول به عرض ۱،۰۲) و سطح زیاد پنجره (۰.۳۶SW)، در خانه شماره ۲، اتلاف از سطح پنجره نمای شمالی (۰.۲۱NE) سبب افزایش مصرف زمستانی و دریافت تابش بالا از سقف سبب افزایش مصرف تابستانی می‌گردد. در کل مصرف انرژی خانه شماره ۳ بسیار بالاست که بدلیل سطح اندک نمای جنوبی و دریافت تابش بسیار اندک می‌باشد. نسبت طول به عرض ساختمان ۰،۲۷ می‌باشد که نشاندهنده سطح اندک نمای ساختمان است. میزان مصرف انرژی این خانه نیز در بخش گرمایش بدلیل ذکر شده و سطح زیاد پنجره‌های قدیمی منفذدار بیشتر گردیده است (تصویر ۳).

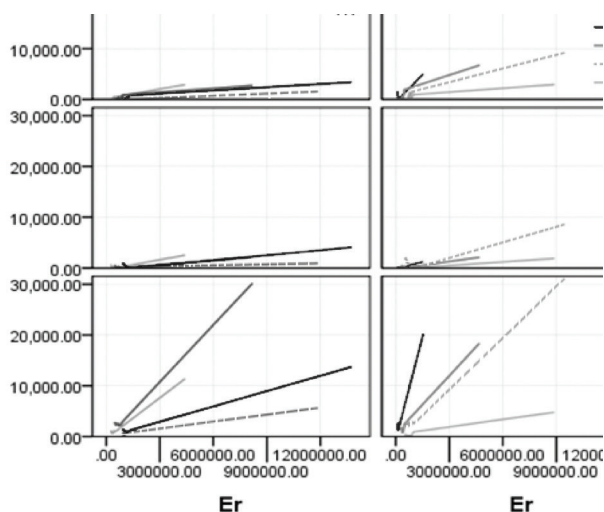
• روند نوسان این انرژی در خانه ۱ حاکی از حداقل دریافت تابش در ماه‌های ژوئن (خرداد)، آگوست (مرداد)، ژانویه (دی) و حداکثر تابش در ماه‌های نوامبر (آبان)، اکتبر (مهر)، آوریل



تصویر ۳- انرژی تابیده شده بر بدنه‌های خانه‌های گروه ۱ و ۲.



تصویر ۵- میانگین مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش در گروه ۱ و ۲.



تصویر ۴- ارتباط بین مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش با انرژی خورشیدی تابنده شده بر بدنه‌های ساختمان در گروه ۱ و ۲.

این افزایش، دریافت حداقل تابش در بدنه‌ها است. در بخش گرمایش بدلیل تناسب مطلوب طول به عرض (خانه شش ۱،۲ و خانه هشت ۱،۱۲) مصرف کاهش یافته است. خانه ۷ علاوه بر نسبت طول به عرض نامطلوب، دارای نسبت پنجره به دیوار بسیار کم ۰،۰۲۶ در نمای جنوبی است.

• روند نوسان این انرژی در خانه ۵ حاکی از دریافت تابش سالانه تقریباً ثابت است. در کل مصرف انرژی خانه شماره ۵ بسیار بالاست که بدلیل پلان مربع شکل آن و کاهش میزان همجواری می‌باشد. نسبت طول به عرض ساختمان ۱ می‌باشد (تصویر ۴).

از مقایسه ارتباط بین E_r و مصرف انرژی در گروه دوم در مورد خانه‌ها (تصویر ۴) می‌توان گفت خانه ۵ در بخش گرمایش و سرمایش دارای ضعیف‌ترین ارتباط است. مناسب‌ترین ارتباط مربوط به خانه ۸ است که دارای تناسب مطلوب‌تر طول به عرض است.

میانگین مصرف انرژی هر سه بخش (تصویر ۵) و میانگین E_r گروه دوم کمتر از گروه اول است؛ علاوه بر آن، سهم عظیمی از تابش خورشیدی گروه ۲ تابش مطلوب صبحگاهی و گروه ۱ تابش نامطلوب بعدازظهر است. اما هر دو گروه تابش کل دریافتی غیراقلیمی دارند. ارتباط میان میانگین دو نوع انرژی دریافتی و انرژی مصرفی در دو گروه نشان می‌دهد که (تصویر ۶) در گروه اول ارتباط در بخش سرمایش و انرژی اولیه و در گروه دوم در بخش گرمایش مطلوب تر است. با توجه به وجود خانه ۵ و ۷ در این دسته و تناسب نامطلوب طول به عرض این دو خانه می‌توان نتیجه گرفت که تناسب طول به عرض در این منطقه برآسایش حرارتی داخلی تأثیر بسزایی دارد.

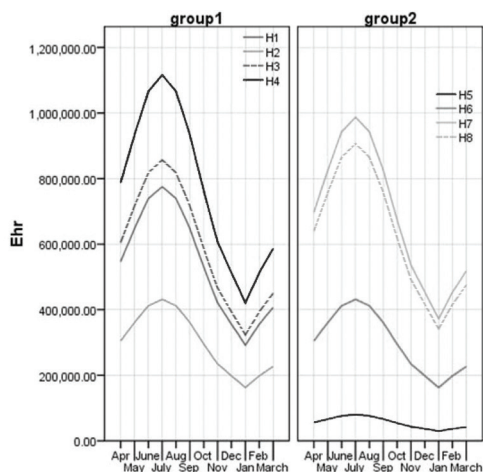
ب) تأثیر تابش دریافتی بدنه‌های افقی ساختمان (E_{irr}) بر حرارت مابین درون و بیرون هر ساختمان سقف است. $E_{Cooling}$ ، $E_{Heating}$ ، $E_{Primary}$ یکی از مهم‌ترین سطوح در انتقال

این دو خانه نزدیک‌ترین ارتباط را در نمودار نشان می‌دهند که در خانه شماره ۱ مصرف کم و دریافت انرژی خورشیدی مطلوب و در خانه شماره ۴ مصرف بسیار و دریافت انرژی خورشیدی نامطلوب بسیار را نشان می‌دهد.

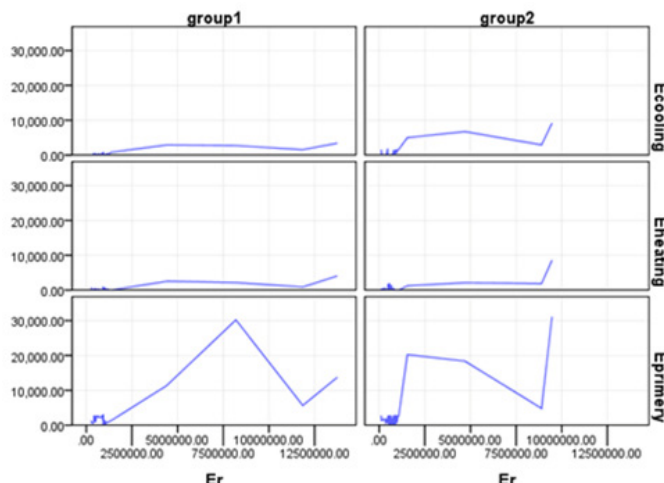
گروه دوم: خانه ۸ کم مصرف‌ترین بخش‌های سرمایش، گرمایش و انرژی اولیه است. خانه ۷ پرمصرف‌ترین نمونه در بخش‌های سرمایش و گرمایش و همچنین انرژی اولیه با اختلاف فاحش است. این خانه حتی در زمانی که نیاز به سرمایش و گرمایش در شهر شیراز صفر است، هنوز این دو سامانه در حال استفاده است و در ضمن مصرف بخش‌های دیگر انرژی بر آن نیز بالاست. خانه شماره ۵ و ۶ با وجود مصرف سرمایش و گرمایش متوسط، دارای مصرف انرژی اولیه بسیار بالایی هستند که خارج از حیطه این مقاله است (تصویر شماره ۳). مقایسه E_r خانه‌های گروه ۲ نتایج زیر را نمایان می‌سازد:

• روند تقریباً یکسان نوسان این انرژی در خانه شماره ۶، ۷ و ۸ حاکی از حداکثر دریافت در ماه‌های گرم و حداقل تابش در ماه‌های سرد است، این مطلب نشان دهنده اقلیمی نبودن این خانه هاست. یکی از دلایل افزایش مصرف سرمایش در این دو خانه سطح زیاد پنجره (۰،۳۱، ۰،۲۸ و ۰،۳۶) است، دلیل دیگر این افزایش دریافت، حداقل تابش در بدنه‌ها است. در بخش گرمایش بدلیل تناسب مطلوب طول به عرض (خانه شش ۱،۲ و خانه هشت ۱،۱۲) مصرف کاهش یافته است. خانه ۷ علاوه بر نسبت طول به عرض نامطلوب، دارای نسبت پنجره به دیوار بسیار کم ۰،۰۲۶ در نمای جنوبی است.

• روند تقریباً یکسان نوسان این انرژی در خانه شماره ۶، ۷ و ۸، حاکی از حداکثر دریافت در ماه‌های گرم و حداقل تابش در ماه‌های سرد است، این مطلب نشان دهنده اقلیمی نبودن این خانه هاست. یکی از دلایل افزایش مصرف سرمایش در این دو خانه سطح زیاد پنجره (۰،۳۱، ۰،۲۸ و ۰،۳۶) است، دلیل دیگر



تصویر ۷- انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های افقی گروه ۱ و ۲.

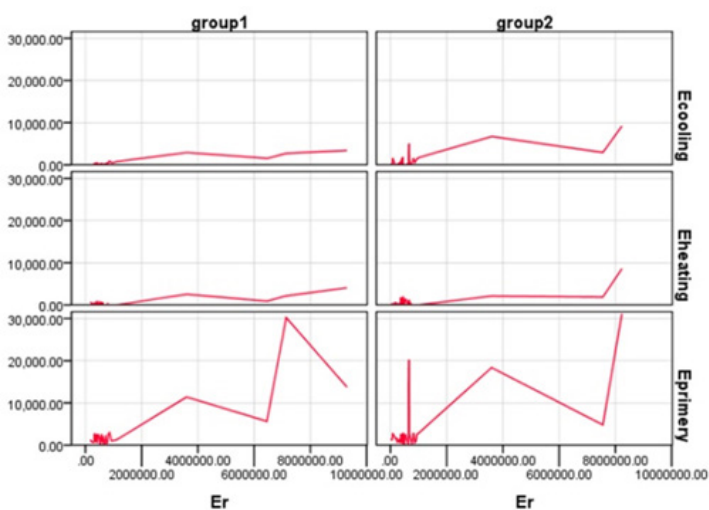


تصویر ۶- میانگین ارتباط بین مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش با انرژی

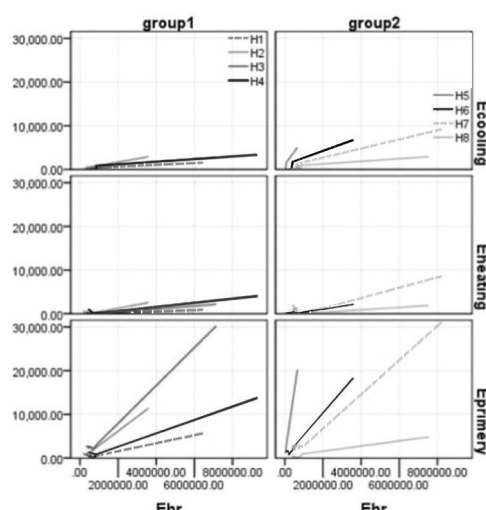
انرژی مصرفی و تابش دریافتی از سقف بر طبق تصویر شماره ۹ می‌توان بیان نمود در گروه ۱ بجز خانه ۲ و در گروه ۲ بجز خانه ۵، بقیه خانه‌ها رابطه مستقیمی مابین انرژی مصرفی و E_{hr} دارند. در گروه ۱ بهترین رابطه مابین خانه ۱ و در گروه ۲ خانه ۸ است که هر دو کم مصرف ترین خانه‌های گروه خود می‌باشند. روند سالانه میانگین تابش دریافتی از سقف در دو گروه از نظر زمان یکسان است، اما از نظر مقدار، گروه ۲ دریافت E_{hr} کمتری در کلیه فصول دارد. با توجه به تصویر ۹ خانه‌های گروه ۱ دارای ارتباط مطلوب‌تری مابین انرژی مصرفی و انرژی دریافتی از سقف خود می‌باشند که همانطور که بیان گردید این ارتباط بیشتر به عوامل نامطلوب باز می‌گردد تا جهت گیری، زیرا تابش بر سطح افق یکسان است.

ج) تاثیر تابش دریافتی بر بدنه‌های عمودی ساختمان (E_{vp})
 بر $E_{Cooling}$ ، $E_{Heating}$ ، $E_{Primary}$: در هر گروه روند سالانه دریافت انرژی از بدنه افقی اصلی عکس میزان تابش دریافتی جو است و در فصل گرم حداقل تابش و در فصل سرد حداکثر تابش را دریافت می‌نمایند. این نکته کمک شایانی به کاهش مصرف انرژی می‌نماید. بر طبق

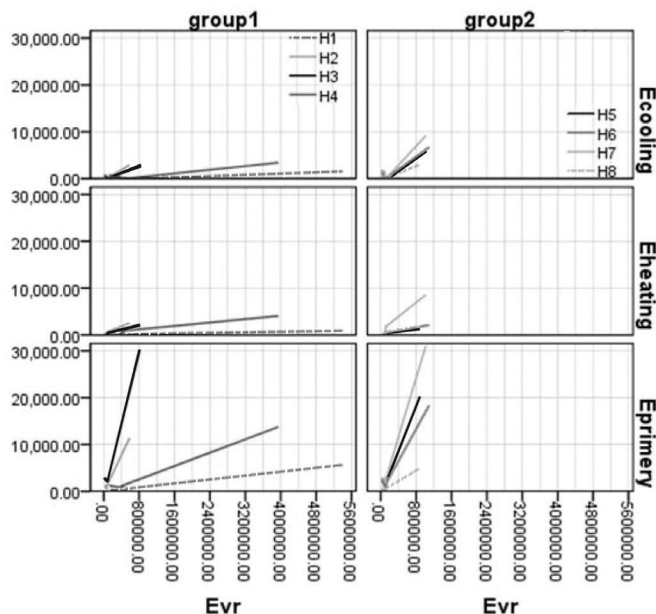
سطح افقی است که در معرض تابش مستقیم و پراکنده خورشید در طول سال است. میزان تابش دریافتی در سقف متناسب با میزان تابش سالانه جو است و در فصل گرم زیاد و در فصل سرد کم تر است. با توجه به متناسب نبودن این انرژی با نیاز سرمایشی و گرمایشی فصلی، خانه‌هایی که دارای دریافت بالاتری از سقف می‌باشند، مصرف انرژی بالاتری نیز دارند. میزان تابش دریافتی از سقف با تعدادی از عوامل نامطلوب رابطه مستقیم و نزدیک‌تری دارد. مانند مساحت زیربنا که هر چقدر بیشتر باشد تابش دریافتی نیز بیشتر می‌گردد؛ و یا تعداد طبقات که با افزایش تعداد طبقات و کاهش سطح سقف در معرض تابش میزان انرژی دریافتی کاهش می‌یابد؛ و یا نسبت طول به عرض که با کاهش این نسبت میزان انرژی دریافتی افزایش می‌یابد (مانند خانه ۳ و ۷) (تصویر ۷). در گروه ۱ خانه ۴ و گروه ۲ خانه ۷ بیشترین دریافت انرژی از سقف را دارا بودند و این درحالیست که حداکثر مصرف انرژی بخش سرمایش و گرمایش در هر گروه نیز متعلق به آنان است. بنابراین رابطه مستقیمی بین حداکثر دریافت از سقف و حداکثر مصرف وجود دارد (تصویر ۷). با توجه به رابطه میان دو



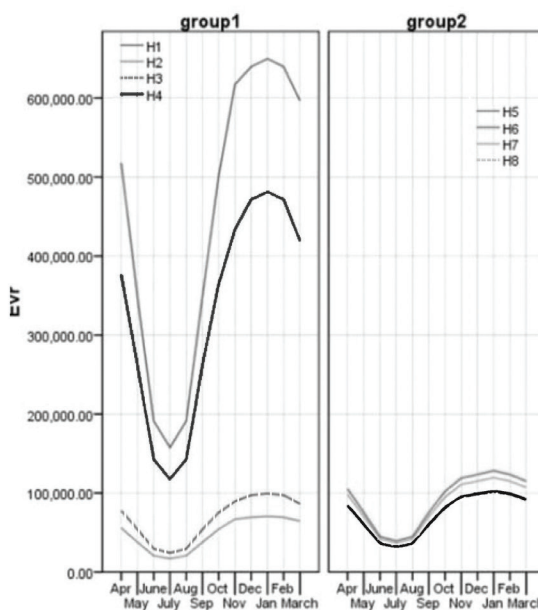
تصویر ۹- میانگین ارتباط بین مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش با انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های افقی ساختمان در گروه ۱ و ۲.



تصویر ۸- ارتباط بین مصرف انرژی اولیه، سرمایش و گرمایش با انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های افقی ساختمان در گروه ۱ و ۲.



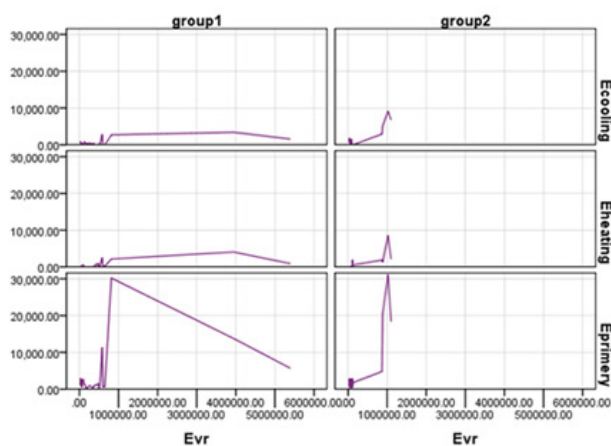
تصویر ۱۱- ارتباط بین مصرف انرژی اولیه، سرمایه‌ش و گرمایش با انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های عمودی ساختمان در گروه ۱ و ۲



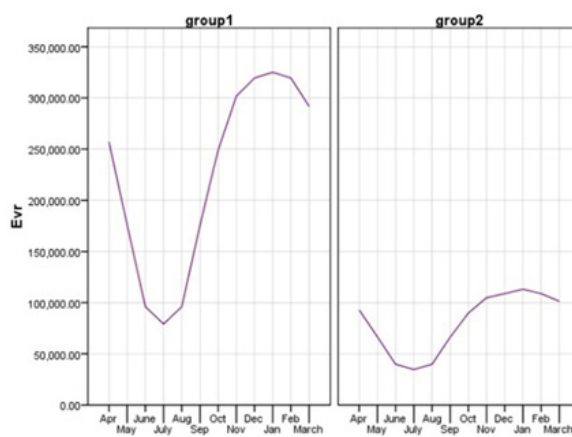
تصویر ۱۰- انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های عمودی ساختمان در گروه ۱ و ۲.

دارا هستند و هر دو کم مصرف ترین خانه در گروه خود می‌باشند. (تصویر ۱۱). بطور کلی میانگین E_{vr} تابستان گروه ۲ نسبت به گروه ۱ کمتر است که در کاهش مصرف سرمایه‌ش تاثیر مستقیم دارد. زمستان نیز با وجود دریافت E_{vr} کمتر در گروه ۲، این گروه وضعیت بهتری دارد (بدلیل تابش آزاددهنده بعد از ظهر گروه ۱). بطور کلی گروه دو نسبت به یک دریافت تابش کمتری داراست (تصویر ۱۲). در ضمن در جهت جنوب شرقی ارتباط مساعدتری بین مصرف هر سه بخش با E_{vr} وجود دارد (تصویر ۱۳).

روند مناسب سالانه هرچقدر در زمستان دریافت بیشتر و در تابستان کمتر باشد، مصرف انرژی کاهش می‌یابد. در گروه ۱ خانه ۱ مطلوب ترین تابش اقلیمی را به خود اختصاص داده است که کمترین مصرف انرژی را دارد. در گروه ۲ خانه ۶، مطلوب ترین تابش اقلیمی را به خود اختصاص داده است که بیشترین میزان تابش بر بدنه عمودی اصلی خود را داراست (تصویر ۱۰). از مقایسه ارتباط بین E_{vr} و $E_{Primary}$ ، $E_{Heating}$ ، $E_{Cooling}$ در مورد خانه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که در گروه ۱ خانه ۱ و در گروه ۲ خانه ۸، بهترین ارتباط را



تصویر ۱۳- میانگین ارتباط بین مصرف انرژی اولیه، سرمایه‌ش و گرمایش با انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های عمودی ساختمان در گروه ۱ و ۲.

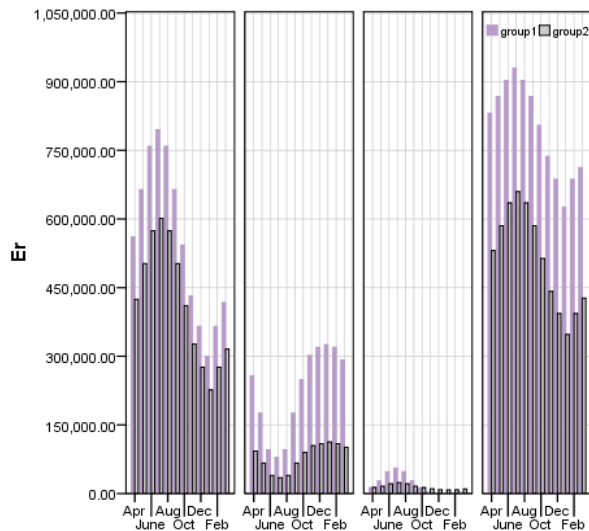


تصویر ۱۲- میانگین انرژی خورشیدی تابیده شده بر بدنه‌های عمودی ساختمان در گروه ۱ و ۲.

نتیجه

نیاز ساختمان‌های مسکونی را تامین نماید. این درحالیست که مصرف انرژی اولیه و سرمایه‌ش و گرمایشی سالانه این بخش بالاست. در بررسی تاثیر تابش دریافتی خورشید در کل بدنه‌های ساختمان بر $E_{Primary}$ ، $E_{Heating}$ ، $E_{Cooling}$ هر یک از خانه‌ها چنین بدست آمد که دو نوع از خانه‌ها دارای رابطه نزدیک تری می‌باشند؛ خانه‌های

شهر شیراز یکی از نمونه‌های برجسته اقلیم نیمه گرم و خشک در ایران، با افزایش بسیار جمعیت، دارای مصرف انرژی زیاد در ساختمان‌های مسکونی است. این شهر دارای دریافت بسیار مطلوب تابش خورشید است و در نتیجه ظرفیت استفاده از انرژی خورشید مناسبی در دسترس است که می‌تواند بخشی از انرژی مورد



تصویر ۱۴- میزان ماهانه انرژی خورشیدی تابیده بر بدنه‌های اصلی در گروه ۱ و ۲. به ترتیب از چپ به راست: تابش بر بدنه‌های افقی، عمودی اصلی، بقیه بدنه‌ها، کل بدنه‌ها.

اهمیت بسزایی دارد. از راه کارهای اجرایی می‌توان بهره‌گیری از عایق کاری حرارتی در کلیه سطوح افقی و بکارگیری سایه (مانند لبه‌های بام بلند) در جهات غالب تابشی نام برد.

تابش دریافتی کلیه بدنه‌های عمودی در گروه ۱ شامل ۲۸/۸۹٪ و در گروه ۲ شامل ۱۵/۷۲٪ کل تابش دریافتی بدنه‌ها است. روند ماهانه E_{vr} نشان می‌دهد که در تابستان E_{vr} کمتر سبب انتقال گرمای کمتر به داخل و کاهش نیاز سرمایشی می‌گردد و در زمستان جذب بیشتر E_{vr} سبب افزایش انتقال گرما و کاهش نیاز گرمایشی می‌گردد (تصویر ۱۴). در کل تابش دریافتی اقلیمی از نمای جنوبی کاملاً برعکس تابش غیر اقلیمی سقف عمل می‌نماید. بنابراین می‌توان ادعا نمود که اگر تابش نامطلوب سقف حذف گردد، خانه کم مصرف‌تر و اقلیمی‌تر، خانه‌ای است که تابش مناسب نماهای اقلیمی را دریافت نماید.

نهایتاً می‌توان گفت که بهترین بدنه‌های ساختمان در راستای جذب انرژی خورشیدی اقلیمی بدنه‌های عمودی می‌باشند (تصویر ۱۰). در صورتیکه جهت‌گیری ساختمان مناسب باشد، با جذب این نوع تابش می‌توان خانه‌هایی کم مصرف در تمامی بخش‌ها مانند گرمایش، سرمایش، روشنایی تعبیه نمود.

در مقایسه گروه‌ها، میانگین E_{vr} تابستانه در گروه ۲ کمتر از گروه ۱ است که در نتیجه منتج به کاهش $E_{cooling}$ نسبت به گروه ۱ می‌گردد. بعلاوه با وجودیکه E_{vr} گروه ۲ در زمستان کم‌تر است، اما تابش دریافتی شرق این گروه سبب مطلوب تر شدن این خانه‌ها نسبت به گروه ۱ با تابش غربی است. در کل تابش دریافتی عمودی گروه ۱ بیشتر از گروه ۲ است (تصویر ۱۲). با وجود ارتباط بین E_{vr} ، $E_{cooling}$ ، $E_{heating}$ و $E_{primary}$ در هر دو گروه فرضیه اولیه تحقیق (خانه‌های با جهت‌گیری اقلیمی تر مانند جهت شمال NW-SE در این مقاله دارای مصرف $E_{cooling}$ ، $E_{heating}$ ، $E_{primary}$ کمتری می‌باشند) اثبات گردید و یکی از دلایل این اثبات، جهت‌گیری مطلوب و تابش خورشیدی دریافتی مناسب ساختمان‌های دارای NW-SE و دلیل دیگر رابطه نزدیک میان E_{vr} و $E_{cooling}$ ، $E_{heating}$ ، $E_{primary}$ است.

دارای مصرف انرژی کمتر و دریافت تابش خورشیدی اقلیمی‌تر و خانه‌هایی که دارای مصرف انرژی بالا و دریافت تابش خورشیدی غیر اقلیمی‌تر هستند. در محاسبه رابطه مابین میانگین E_{vr} ، E_{hr} و $E_{primary}$ و نزدیک است. بنابراین اگر دیگر متغیرها ثابت فرض گردند، در گروه اول به ازای ۱ واحد تغییر در E_{vr} به میزان ۰/۸۰۶ تغییر می‌کند و در گروه دوم به ازای ۱ واحد تغییر در $E_{cooling}$ به میزان ۰/۶۸۹ تغییر می‌کند. بنابراین میزان تغییر مصرف کل انرژی در گروه اول بیشتر از گروه دوم است. همچنین در گروه اول به ازای ۱ واحد تغییر در $E_{heating}$ به میزان ۰/۸۱۴ تغییر می‌کند و در گروه دوم به ازای ۱ واحد تغییر در $E_{cooling}$ به میزان ۰/۷۶۷ تغییر می‌کند. بنابراین میزان تغییر گرمایشی در گروه اول بیشتر از گروه دوم است. بعلاوه در گروه اول به ازای ۱ واحد تغییر در E_{vr} به میزان ۰/۸۹۱ تغییر می‌کند و در گروه دوم به ازای ۱ واحد تغییر در $E_{cooling}$ به میزان ۰/۷۵۸ تغییر می‌کند. بنابراین میزان تغییر سرمایشی در گروه اول باز هم بیشتر از گروه دوم است. در این رابطه میزان تغییر در گروه ۲ کمتر از گروه ۱ است. بنابراین میزان وابستگی E_{vr} و هر سه بخش انرژی $E_{cooling}$ ، $E_{heating}$ ، $E_{primary}$ در گروه اول بیشتر است و به محض تغییر یک واحد انرژی E_{vr} بر بدنه‌ها، تغییر افزایش مصرف انرژی در بخش سرمایش در تابستان خواهد داشت و در بخش گرمایش با ورود یک واحد E_{vr} بر بدنه‌ها میزان کاهش مشهودتر است. در نتیجه در گروه دوم بدلیل وضعیت بیان گردیده این رابطه کمی ضعیف‌تر است. لذا تابش بر بدنه‌های گروه ۱ دارای جهت جنوب غربی-شمال شرقی در زمستان در زمان نامناسب عصر بوده و تاثیری بر کاهش نیاز گرمایش نداشته و در تابستان نیز تابش نامطلوب عصر سبب افزایش مصرف سرمایش می‌گردد.

تابش دریافتی خورشید در نمونه‌های موردی به سه بخش تقسیم گردیده‌اند: بدنه‌های افقی (سقف)؛ بدنه‌های عمودی اصلی (نماهای جنوبی)؛ و بقیه بدنه‌ها. هر یک از بدنه‌ها دارای نقش موثری در مصرف انرژی سالانه و ماهانه می‌باشند. میزان تابش دریافتی سطوح افقی از کل در گروه ۱ شامل ۶۸/۵۰٪ و در گروه ۲ شامل ۸۱/۴۸٪ است. بنابراین در هر دو گروه تابش دریافتی از سقف نقش بسزایی دارد. با توجه به روند E_{hr} مشخص گردید که در تابستان بدلیل میزان بیشتر E_{hr} انتقال حرارت از بیرون به درون است و این سبب گرم تر شدن ساختمان و در نتیجه بالا رفتن نیاز سرمایشی آن می‌گردد. در زمستان بدلیل میزان کمتر E_{hr} ، انتقال حرارت از درون به بیرون ساختمان است که سبب سردتر شدن ساختمان و بالا رفتن نیاز گرمایشی آن می‌شود (تصویر ۱۴). بعنوان یک نتیجه اصلی، رابطه مستقیمی مابین حداکثر مصرف انرژی ماهانه و سالانه ($E_{primary}$) و حداکثر تابش دریافتی بر بدنه‌ها (E_{hr}) وجود دارد (تصویر ۶). همانطور که بیان گردید، تابش دریافتی بر هر متر مربع سطوح افقی در همه جهات یکسان است، اما بدلیل وجود عوامل نامطلوب متفاوت در هر خانه، میزان تابش افقی دریافتی متفاوت است. همچنین بیشترین تابش دریافتی سطوح متعلق به سطوح افقی (E_{hr}) است که ۷۴،۹۹٪ است. بنابراین انتخاب مصالح سقف و جزئیات اجرایی آن در کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارت طبیعی ساختمان

فهرست علائم و نشانه ها

Parker D.S., Barkaszi S.F., Sonne J.K. (1994), *Measured cooling energy savings from reflective roof coatings in Florida*, Phase II report, Report No. FSEC-CR-699-94, Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral, FL.

Pinel P., Cruickshank C.A., Beausoleil-Morrison I., Wills A. (September 2011), A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, N.15 (7), pp. 3341-3359.

Pugha G., Clarke L., Marlaya R., Kyle P., Wise M., McJeonb H., Chana G. (2011), Energy R&D portfolio analysis based on climate change mitigation, *Energy Economics*, N.33 (4), pp. 634-643.

Saaty T. L. (1994), Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytical Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, N.74, pp. 426-447.

Saaty T.L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.

Sabziparvar A. (2008), A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, *Renewable Energy*, N.33, pp. 1002-1010.

Sabziparvar A. (2008), A simple formula for estimating global solar radiation in central arid deserts of Iran, *Renewable Energy*, N.33, pp. 1002-1010.

Shen, Hui, Tan H., Tzempelikos A. (2011), The effect of reflective coating on building surface temperatures, indoor environment and energy consumption - An experimental study, *Energy and Building*, N.43, pp. 573-580.

Swan L.G., Ugursal V.I. (2009), Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, *Renewable and sustainable energy reviews*, N.13, pp. 1819-1835.

Tabari H., Hosseinzadeh Talae P. (2011), Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran, *Global and Planetary Change*, N.79 (1-2), pp. 1-10.

Taleb H. M., Sharples S. (January 2011), Developing sustainable residential buildings in Saudi Arabia: A case study, *Applied Energy*, N.88 (1), pp. 383-391.

Tso Geoffrey K.F., Yau Kelvin K.W. (2007), Predicting electricity energy consumption: A comparison of regression analysis, decision tree and neural networks, *Energy*, N.32, pp. 1761-1768.

www.amar.org.ir

www.shirazedc.co.ir 22.4.2011

Yaghoubi M., Sabzevari A. (April 1996), Further data on solar radiation in Shiraz Iran, *Renewable Energy*, N.7 (4), pp. 393-399

Yao, J., Zhu, N. (2011), Enhanced supervision strategies for effective reduction of building energy consumption - A case study of Ningbo, *Energy and Buildings*, N.43 (9), pp. 2197-2202.

Zhai Z., Previtali J. M. (2010), Ancient vernacular architecture: characteristics categorization and energy performance evaluation, *Energy and Buildings*, N.42 (3), pp. 357-365.

Zhang Q. (2004), Residential energy consumption in China and its comparison with Japan, Canada, and USA, *Energy and Buildings*, N.36 (12), pp. 1217-1225.

۱ - NE-SW : شمال شرقی - جنوب غربی؛ NW-SE : شمال غربی - جنوب

شرقی

۲ - $E_{primary}$: مصرف انرژی اولیه؛ $E_{cooling}$: مصرف انرژی سرمایش؛ $E_{heating}$: مصرف انرژی گرمایش؛ $E_{Lighting}$: مصرف انرژی روشنایی؛ E_{Equip} : مصرف انرژی تجهیزات

۳ - E_r : تابش دریافتی کلیه بدنه‌های ساختمان؛ E_{vt} : تابش دریافتی بدنه‌های عمودی؛ E_{hr} : تابش دریافتی بدنه‌های افقی؛ E_{or} : تابش دریافتی بقیه بدنه‌ها

فهرست منابع

قبادیان، وحید، (1387)، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

قدسی پور، سید حسن، (1379)، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

کسمائی، مرتضی، (1385)، اقلیم و معماری، چاپ دوم، نشر خاک، تهران.

Borong, Lin, Gang T., Peng W., Ling S., Yingxin Z., Guangkui Z. (2004), Study on the thermal performance of the Chinese traditional vernacular dwellings in summer, *Energy and Building*, N.36, pp. 73-79.

Dili A.S., Naseer M.A., Zacharia Varghese T. (October 2010) 2218, Passive control methods of Kerala traditional architecture for a comfortable indoor environment: A comparative investigation during winter and summer, *Building and Environment*, N.45, pp. 10-2230.

Dong B., Cao C., Eang Lee S. (May 2005), Applying support vector machines to predict building energy consumption in tropical, *Energy and Buildings*, N.37 (5), pp. 545-553.

EIA: *the Annual Energy Review* <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/contents.html>, 2011.

Hirst E., Goeltz R., Janet Carney (April 1982), Residential energy use: Analysis of disaggregate data, *Energy Economics*, N.4 (2), pp. 74-82.

Jaber S., Ajib S. (2011), Optimum, technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region, *Energy and Buildings*, N.43 (8), pp. 1829-1834.

Jafarpour, K., Yaghoubi, M.A. (1989), Solar radiation for Shiraz, Iran, *Solar & Wind Technology*, N.6 (2), pp. 177-179.

Jinghua Yu., Yanga C., Tiana L. (2008), Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China, *Energy and Buildings*, N.40 (8), pp. 1536-1546.

Kaza N. (November 2010), Understanding the spectrum of residential energy consumption: A quintile regression approach, *Energy Policy*, N.38 (11), pp. 6574-6585.

Lee W., Kung C. (2011), Using climate classification to evaluate building energy performance, *Energy*, N.36 (3), pp. 1797-1801.

Michalik G., Khan M.E., Bonwick W.J., Mielczarski W. (1997), Structural modeling of energy demand in the residential sector: 2. The use of linguistic variables to include uncertainty of customer's behavior, *Energy*, N.22, pp. 949-58.

Moradia H.R., Rajabib M., Faragzadeh M. (2011), Investigation of meteorological drought characteristics in Fars province, Iran, *CATENA*, N.84 (1-2), pp. 35-46.

Paltridge GW., Proctor D. (1976), Monthly mean solar radiation statistics for Australia, *Sol Energy*, N.18, pp. 235-43.