

## تحلیل آماری بحران‌های دمایی شهر قم در رابطه با مصارف انرژی

بهلول علیجانی - استاد اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

علی اکبر شمسی پور - دانشیار اقلیم شناسی دانشگاه تهران، تهران، ایران

عطیه مطمئن آرانی<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۹/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۳

### چکیده

رخداد دماهای بحرانی کمینه و بیشینه، اثرات زیادی در افزایش هزینه مصرف انرژی و آب دارند. با هدف تحلیل آماری بحران‌های دمایی شهر قم، آمار روزانه دمای کمینه و بیشینه ایستگاه قم در طی دوره آماری ۹۲-۱۳۸۶ از سازمان هواشناسی و همچنین آمار مصرف روزانه آب، برق و گاز در طول دوره آماری مذکور از سازمان‌های مربوطه اخذ گردید. با استفاده از همبستگی، روابط دما با مصارف انرژی مشخص شد. برای این همبستگی از شاخص ضریب دما TI استفاده گردید. نتایج نشان می‌دهند، دما و مصرف گاز دارای یک رابطه معکوس هستند. ضریب دمای کمینه دارای بیشترین رابطه با مصرف گاز است. آستانه مصرف با توجه به دما دو میلیون مترمکعب در روز است. مصارف بالاتر از حد آستانه دارای بیشترین رابطه با دما بوده و براساس شاخص MSVI ماه‌های مصرف گاز در بالاتر از حد آستانه آبان تا اردیبهشت است. تغییرات دما با تغییرات مصرف آب و برق رابطه مستقیم دارد، ضریب دمای بیشینه دارای بیشترین رابطه با مصرف آب و برق است. آستانه مصرف آب با توجه به دما ۲۵۰ هزار مترمکعب در روز و برای برق ۸۰۰۰ مگاوات در روز است. مصارف بالاتر از حد آستانه برای آب و برق، رابطه بالاتری با دما نسبت به مصارف کمتر از حد آستانه دارد. بر اساس شاخص MSVI ماه‌های مصرف آب و برق در حد بالاتر از آستانه، خرداد تا شهریور ماه است.

**کلیدواژه‌ها:** دمای بیشینه، دمای کمینه، مصرف آب، مصرف برق، مصرف گاز.

## ۱. مقدمه

دما به عنوان نشانه‌ای از شدت گرما یکی از عمده‌ترین و اساسی‌ترین عناصر اقلیمی است که از دیرباز مورد توجه اقلیم‌شناسان بوده است (عساکره، ۱۳۸۸). براساس گزارش شورای بین دولتی تغییرات اقلیم دمای کره زمین در بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۸۶۱ میلادی حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (IPCC, ۲۰۰۱). گرچه دماهای بیشینه افزایش و دماهای کمینه کاهش پیدا کرده‌اند (کالینز و همکاران، ۲۰۰۰)<sup>۱</sup>. در این بین تغییرات دمای کمینه نسبت به بیشینه بیش‌تر بوده است (رحیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). دما در چرخه‌های طبیعی و به‌ویژه در چرخه‌های آب و انرژی دارای اهمیت بنیادی است؛ از این رو بر فعالیت‌های انسانی (از جمله تأمین منابع آبی)، و فرآیندهای طبیعی هر ناحیه تأثیر خواهد داشت (عالی‌جهان، ۱۳۹۲). کمیسیون اتحادیه اروپا اثر سوانح ناشی از فرین‌های اقلیمی را در ۵ بخش که شامل صدمات در بخش‌های: جنگلداری و کشاورزی، صدمات بوم‌شناختی، توریسم، انرژی و بیمه و حفاظت تأسیسات است، مورد ارزیابی قرار داده است که در ۴ بخش از کل ۵ بخش یاد شده عامل ایجاد کننده صدمه، دما می‌باشد (قویدل رحیمی، ۱۳۹۰).

جدول ۱ بخش‌های متأثر از فرین‌های اقلیمی و عناصر مولد صدمات (هانسون و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۶۵)

بخش	صدمه	فرین اقلیمی	عنصر مولد
جنگلداری و کشاورزی	ریشه‌کن شدن گیاهان	طوفان باد	باد
	آتش‌سوزی جنگل	استرس گرمایی، خشکسالی	دما، بارش
	کشاورزی مدیترانه	استرس گرمایی، خشکسالی، یخبندان مزارع و باغات	دما، بارش
صدمه بوم‌شناختی	صدمه به بوم‌ها	سیل، استرس گرمایی، خشکسالی	دما، بارش
انرژی	استفاده از انرژی	استرس گرمایی تابستان و امواج سرمایی زمستانی	دما
توریسم	سواحل	استرس گرمایی و شرجی هوا	دما و رطوبت
	ورزش‌های زمستانه	کمی یا زیادی برف	دما، بارش
بیمه و حفاظت تأسیسات	صدمه مالی	طوفان باد	باد
	صدمه جانی	سیل	باران و برف
	آب	سیل و خشکسالی	بارش

1. Collins et al
2. Hanson et al

نقش مؤثر دما تا آنجا اهمیت دارد که نمی‌توان این عنصر اقلیمی را در مباحث شهری نادیده گرفت. تغییرات دما در سراسر تراکم‌های مسکونی، آسایش حرارتی داخل خانه‌ها را مورد تغییر قرار می‌دهد. در ایبادان<sup>۱</sup> در نیجریه کاهش بیشینه دما از فضای باز به داخل ساختمان ۱.۱-۶.۱ بوده است (آدونول، ۲۰۱۴)<sup>۲</sup>. در شهرهایی با تراکم جمعیت متوسط در تابستان و زمستان در عرض‌های میانه و آب‌وهوای گرم و خشک، گنجاندن پوشش گیاهی بیش از هر زمانی برای تعدیل دما مثبت به نظر می‌رسد (مارتیلی، ۲۰۱۴)<sup>۳</sup>. در بندرعباس دمای ظاهری بالاتر از دمای مشاهده شده است اما در شیراز و بیرجند برعکس عمل می‌کند که این احساس رضایتمندی بیشتر از هوا را نشان می‌دهد (ناظم السادات و مجنونی هریس، ۱۳۸۷). در شهر مشهد دوره آسایش اقلیمی ساعت ۹:۳۰ و ۱۵:۳۰ در دو بازه زمانی، ابتدای فصل بهار و اوایل فصل پاییز می‌باشد که دوره اول طولانی‌تر است (اسماعیلی و منتظری، ۱۳۹۲).

شرایط جدید جهانی و منطقه‌ای باعث گردیده است که در کلیه کشورها جهت‌گیری‌های راهبردی مناسبی برای توسعه کارآئی انرژی ایجاد گردد. در کشور ما نیز با اجرایی شدن قانون هدفمند نمودن یارانه‌ها و در ادامه فعالیت‌های مؤثر و مستمری که طی سالیان گذشته در زمینه مدیریت مصرف انرژی صورت پذیرفته است، انتظارات و حساسیت‌های جدیدی در بخش‌های مختلف مصرف برای مدیریت مصرف شکل گرفته است. (saba.org.ir سازمان بهره‌وری انرژی ایران)

محدودیت منابع فسیلی، رشد بالای مصرف سالانه انواع انرژی در ایران، خارج شدن کشورمان از جگرگه صادر کنندگان نفت از اواخر قرن حاضر و بالطبع قطع درآمدهای ناشی از صدور نفت باعث می‌شود که در صورت عدم برنامه‌ریزی و پیش‌بینی‌های لازم روند توسعه کشور به‌طور جدی تحت تأثیر قرار بگیرد. عدم کارآیی فنی و اقتصادی مصرف انرژی و هدررفتن قریب به یک سوم از کل انرژی در فرآیندهای مصرف و مشکلات فزاینده زیست‌محیطی ناشی از آن، ضرورت مدیریت مصرف انرژی و بالا بردن بازده و بهره‌وری انرژی را در کشورمان پیش از پیش آشکار می‌سازد. (saba.org.ir سازمان بهره‌وری انرژی ایران)

تغییرات دمای هوا به دلیل عامل استفاده از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی الکتریکی بیش از سایر عوامل بر الگوی مصرف انرژی و تغییرات بار شبکه مؤثر می‌باشد. در تحقیقی صورت گرفته در استان خوزستان، تغییرات دمای هوا را موجب استفاده از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی الکتریکی می‌داند که تأثیر قابل توجهی بر بار شبکه خوزستان و الگوی مصرف انرژی دارد. تحقیقات نشان می‌دهد تأثیر بار شبکه از دمای بیشینه بیشتر است. محدوده آسایش حرارتی در سه دوره زمانی کوتاه‌مدت، هفته اول فروردین ماه، ۱۵ آبان ماه لغایت هفته اول آذرماه و طول دوره اسفند ماه است تأثیر بار شبکه در طول دوره گرم سال از دما بیشتر از دوره سرد سال است (احترامی، ۱۳۸۸)

1. Ibadan
2. Adunola
3. Martilli

تغییرات دمایی اثرات غیرقابل انکاری بر تغییرات مصرف مواد اولیه تأمین‌کننده انرژی بخش‌های مختلف جامعه دارد. نکته حائز اهمیت آن است که وقوع رخداد‌های فوق ذکر برنامه‌ریزی‌های مربوط به تأمین گاز طبیعی، توزیع گاز طبیعی، صادرات گاز طبیعی و بسیاری از برنامه‌های توسعه ظرفیت در این حوزه را با چالشی اساسی مواجه کرده است. در ترکیه، مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی را تابعی از درجه گرمایش روزها می‌دانند (ساتمن و ساراک، ۲۰۰۳) در پژوهش دیگری در ترکیه مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی در شهر شیر ترکیه را پیش‌بینی کردند که متغیر کلیدی در مدل آنها دما به صورت مقدار درجه گرمایش روز است (آراس و آراس، ۲۰۰۴).<sup>۲</sup> همچنین با برآورد تابع توزیع مصرف روزانه و ماهیانه گاز طبیعی در ترکیه، مدلی برای پیش‌بینی مصرف گاز طبیعی در دوره‌های کوتاه‌مدت و میان مدت ارائه گردید که مصرف گاز طبیعی تابعی از دمای مؤثر محیط است (جیل و همکاران، ۲۰۰۴).<sup>۳</sup> در بررسی اثر تغییرات دما بر مصرف گاز طبیعی در ایران، در هفت حوزه، مشخص گردید که بین دما و مصرف در حوزه حمل‌ونقل، تجاری، عمومی، کشاورزی و خانگی رابطه معکوس وجود دارد. بین دما و مصرف نیروگاهی نیز رابطه مستقیم می‌باشد. در بخش صنعتی نیز به علت اینکه گاز به عنوان یک عامل تولید در نظر گرفته می‌شود با دما رابطه‌ای ندارد (کریمی و همکاران، ۱۳۸۹).

قیمت‌گذاری مناسب و منطقی گاز در راستای حفظ و نگهداری و استفاده مناسب از منابع هیدروکربوری ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. در تحقیقی در راستای شناسایی عوامل مؤثر بر تعیین قیمت گاز در بخش خانگی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مشخص گردید دما تأثیرگذارترین متغیر در تعیین قیمت گاز در بخش خانگی در ایران است. (امامی میبیدی و همکاران، ۱۳۸۸).

ایران در منطقه جنب حاره قرار گرفته است و وقوع بحران‌های محیطی مانند تغییرات و نوسانات شدید دما و بارش و نیز رخداد ترسالی و خشکسالی مشخصه ذاتی آن می‌باشد (علیجانی و هوشیار، ۱۳۸۶). و از آنجایی که دما از مهمترین عناصر اقلیمی است که در تعیین نقش و پراکندگی دیگر عناصر اقلیمی مؤثر بوده و از مؤلفه‌های اصلی در طبقه‌بندی اقلیمی محسوب می‌شود از این‌رو نوسانات و تغییرپذیری آن دارای اهمیت علمی و کاربردی است (عالی - جهان، ۱۳۹۲).

فاصله گرفتن دمای بیشینه و کمینه در شهر قم نشانه بروز بحران‌هایی در هر دو پارامتر است که باعث ایجاد مشکلاتی در زندگی مردم و دستگاه‌های اداری می‌گردد. برای مثال باعث تنش‌های انرژی (مارتیلی، ۲۰۱۴)<sup>۴</sup> رخداد بیش‌تر روزهای داغ و امواج گرمایی (اسماعیل نژاد، ۱۳۹۱)، روزهای سرد و امواج سرمای (صادقی و همکاران،

1. Satman and Sarak
2. Aras and Aras
3. Gil et al
4. Martilli

(۱۳۹۱)، سبب افزایش مرگ و میر (کالکستین و ولیمان، ۱۹۸۷)<sup>۱</sup>، افزایش تنش‌های گرمایی انسان و حیوان، می‌گردد.

لذا بررسی و مطالعه دما به عنوان یکی از عناصر بحران آفرین در ایران و از جمله در شهر قم، ضروری است. هدف تحقیق حاضر شناخت اثر دما بر مصارف آب و برق و گاز است تا با استفاده از انرژی‌های کمتر و سالم‌تر، بتوان بر مدیریت مصرف انرژی و آلودگی محیط کمک شایانی کرد. امید است که یافته‌های این تحقیق بتواند کمک مطلوبی در راستای مدیریت انرژی و پاکسازی هوای شهر قم داشته باشد.

## ۲. محدوده مورد مطالعه

شهر قم به علت نزدیکی به بیابان‌های مرکزی ایران دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های کم و بیش سرد است و در طبقه‌بندی اقلیمی در زمره آب و هوای نیمه بیابانی (جزو اقلیم کویری و خشک) قرار گرفته است که دارای اختلاف دمای سالانه نسبتاً زیاد می‌باشد.

## ۳. مواد و روش‌ها

برای شناسایی این بحران‌های دمایی و عامل ایجاد کننده آنها در شهر قم، آمار کمینه و بیشینه دمای روزانه ایستگاه قم از سازمان هواشناسی کشور در طی دوره آماری ۹۲-۸۶ اخذ گردید. در جدول زیر مشخصات ایستگاه قم درج گردیده است.

جدول ۲ مشخصات ایستگاه هواشناسی قم

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
قم	N۳۴ ۴۲	E ۵۰ ۵۱	۸۸۷/۴

از آنجایی که بحران‌های دمایی بر میزان مصارف آب، برق و گاز تأثیرگذار می‌باشند، آمار مصارف روزانه آب، برق و گاز متناظر با دوره آماری مورد مطالعه (۹۲-۸۶) از سازمان آب و شرکت‌های برق و گاز گرفته شد تا میزان همبستگی دما (هم دمای کمینه و هم دمای بیشینه) با مصارف آب و برق و گاز هر کدام به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد، تا مشخص گردد با تغییرات دمایی، مصارف چه تغییری پیدا می‌کنند.

ایستگاه هواشناسی قم دارای ۲۶ سال (۱۳۶۶-۱۳۹۲) آمار روزانه دمای کمینه و بیشینه می‌باشد. همچنین آمار موجود مصرف روزانه انرژی آب در شهر قم ۱۵ سال (۱۳۷۷-۱۳۹۲)، انرژی برق ۷ سال (۱۳۸۶-۱۳۹۲) و انرژی گاز ۱۱ سال (۱۳۸۱-۱۳۹۲) می‌باشد. از بین آمار موجود این سازمان‌ها و همچنین آمار ایستگاه هواشناسی قم،

سال‌هایی انتخاب گردید که همه سازمان‌ها دارای اطلاعات مورد نیاز باشند. از آنجایی که شرکت برق دارای کمترین آمار مصرف روزانه برق نسبت به دیگر سازمان‌ها می‌باشد؛ بنابراین دوره آماری مورد مطالعه از سال ۱۳۹۲-۱۳۸۶ انتخاب گردید.

جهت بررسی رابطه میان میزان مصارف روزانه آب، برق و گاز با دمای هوای شهر قم نیاز به شاخصی به عنوان متغیر دمای هوا در شهر می‌باشد. با توجه به اینکه تغییرات دما در شهر قم مردم را به استفاده یا عدم استفاده از تجهیزات سرمایشی و گرمایشی ناگزیر می‌نماید، لذا عامل جمعیت مصرف‌کننده این مصارف، یا همان تعداد مشترکین نقش مهمی را در میزان مصارف این انرژی‌ها دارد. از این رو بیشترین جمعیت، بیشترین تأثیرپذیری را از دمای محیط داشته و بر رفتار میزان انرژی مصارف بیشتر مؤثر است. با این هدف شاخص ضریب دمای استان II با وزن جمعیتی برای نمایش تغییرات دمای هوا در شهر قم به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$TI_t = T_{ii} W_t \quad \text{فرمول (۱)}$$

$TI_t$  = ضریب دمای روزانه شهر قم در روز t

$T_{ii}$  = کمینه و یا بیشینه دمای روز t، ایستگاه هواشناسی قم

$W_t$  = ضریب وزنی - جمعیتی شهر قم که به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_t = \frac{P_t}{P} \quad \text{فرمول (۲)}$$

$P_t$  = تعداد مشترکین سال مورد نظر

$P$  = تعداد مشترکین سال پایه

به منظور محاسبه ضریب دمای شهر قم ( $TI_t$ ) برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه طی دوره آماری ۹۲-۱۳۸۶ تعداد مشترکین هر سال، از سال ۹۲-۱۳۸۵ از سازمان آب و شرکت‌های برق و گاز اخذ گردید. آمار تعداد مشترکین سال ۱۳۸۵ به این علت انتخاب گردید که این سال به عنوان سال پایه انتخاب شد. سپس با استفاده از دمای روزانه کمینه و بیشینه ایستگاه هواشناسی قم و اعمال ضریب وزنی ( $W_t$ ) در آنها میزان ضریب وزنی - جمعیتی دمای روزانه شهر قم به صورت جداگانه برای دمای کمینه و دمای بیشینه در طی سال‌های ۹۲-۱۳۸۶ محاسبه گردید.

بر اساس نمودارهای همبستگی مشخص گردید که هر کدام از انرژی‌های مصرفی با کدامیک از دمای کمینه و دمای بیشینه رابطه بیشتری دارند و آن رابطه که همبستگی بیشتر را نشان داد به عنوان پایه کار قرار گرفته شد. پس بدست آوردن همبستگی مصارف با دما مشخص گردید که هر کدام از انرژی‌های مصرفی دارای یک آستانه مشخص هستند. بعد از مشخص شدن آستانه، مصارف به دو دسته تقسیم گردیدند، مصارف قبل از آستانه و مصارف بعد از آستانه و برای هر کدام از آنها نمودار همبستگی با ضریب دما رسم گردید تا مشخص گردد رابطه بین کدام از آنها با ضریب دما قوی‌تر است. به منظور شناسایی اثرات دما بر میزان مصارف آب، برق و گاز در شهر قم، تغییرات انرژی

مصرفی در طول ماه‌های مختلف سال‌های ۹۲-۱۳۸۶ و برای هر کدام از دسته‌های قبل و بعد از آستانه به صورت جداگانه بدست آمد. برای این کار از شاخص<sup>۱</sup> MSVI استفاده گردید (احترامی، ۱۳۸۸). این شاخص به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$MSVI = \frac{E_i}{E_j} \quad \text{فرمول (۳)}$$

$E_i$  = انرژی مصرفی در ماه  $i$ ، سال  $j$

$E_j$  = متوسط انرژی مصرفی در سال  $j$

در گام بعدی، برای هر ماه و به صورت جداگانه برای مصارف قبل از آستانه و بعد از آستانه رابطه همبستگی گرفته شد. تا میزان همبستگی بین مصارف و ضرایب دمایی برای هر ماه نیز مشخص گردد تا در نهایت ماه‌های بحرانی برای هر کدام از مصارف گاز، آب و برق مشخص گردد.

#### ۴. نتایج و بحث

ضرایب وزنی - جمعیتی بدست آمده به شرح زیر است.

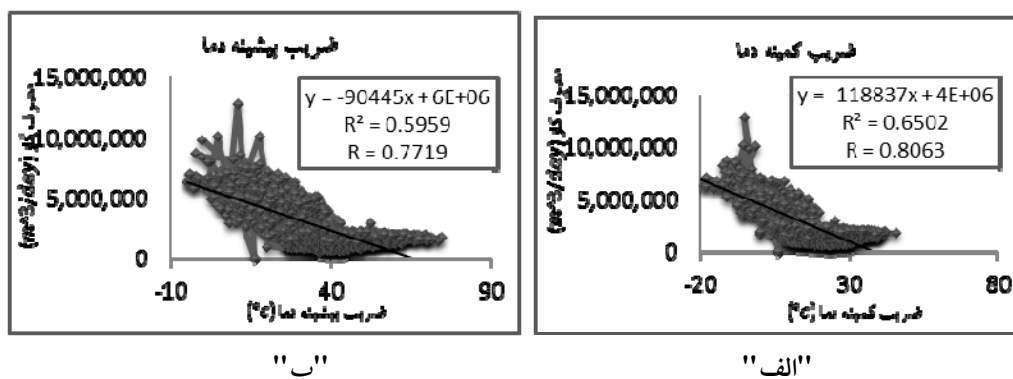
جدول ۳ ضرایب وزنی - جمعیتی شرکت گاز

گاز			آب			برق		
سال	تعداد مشترکین	ضریب وزنی - جمعیتی (۷۴)	سال	تعداد مشترکین	ضریب وزنی - جمعیتی (۷۴)	سال	تعداد مشترکین	ضریب وزنی - جمعیتی (۷۴)
۱۳۸۶	۲۱۴۲۲۰	۱/۰۵	۱۳۸۶	۳۸۰۷۶۶	۱/۰۲	۱۳۸۶	۳۳۰۸۷۵	۰/۱۲۱
۱۳۸۷	۲۲۶۸۷۳	۱/۱۱	۱۳۸۷	۳۸۷۲۰۱	۱/۰۳	۱۳۸۷	۳۵۰۰۳۴	۰/۱۲۸
۱۳۸۸	۲۴۲۷۶۸	۱/۱۹	۱۳۸۸	۳۹۳۶۲۵	۱/۰۵	۱۳۸۸	۳۶۲۳۶۱	۰/۱۳۳
۱۳۸۹	۲۵۸۷۸۴	۱/۲۷	۱۳۸۹	۴۰۲۵۸۲	۱/۰۷	۱۳۸۹	۳۸۰۹۲۴	۰/۱۳۹
۱۳۹۰	۲۷۷۱۲۳	۱/۳۶	۱۳۹۰	۴۱۳۸۱۴	۱/۰۸	۱۳۹۰	۴۰۲۵۲۷	۰/۱۴۷
۱۳۹۱	۳۰۰۴۴۱	۱/۴۷	۱۳۹۱	۴۲۸۷۹۳	۱/۱۴	۱۳۹۱	۴۳۴۱۵۱	۰/۱۵۹
۱۳۹۲	۳۲۳۹۶۳	۱/۵۹	۱۳۹۲	۴۴۰۰۰۰	۱/۱۷	۱۳۹۲	۴۶۲۹۶۳	۰/۱۶۹
تعداد مشترکین سال ۸۵ (سال پایه) ۲۰۳۵۴۴=			تعداد مشترکین سال ۸۵ (سال پایه) ۳۷۳۱۷۴=			تعداد مشترکین سال ۸۵ (سال پایه) ۳۱۱۲۴۳=		

#### الف) انرژی گاز

پس از بدست آوردن ضرایب وزنی-جمعیتی نمودارهای همبستگی کشیده شدند. طبق شکل ۱، رابطه همبستگی ضریب کمینه دما با مصرف انرژی گاز ۰/۸۰ و با ضریب بیشینه دما ۰/۷۷ است که هر دو در سطح اطمینان ۹۹٪ قابل

اطمینان هستند و همچنین در هردو رابطه معکوس است یعنی اگر دما افزایش پیدا کند مصرف انرژی گاز کاهش می‌یابد و برعکس. اما از آنجا که رابطه همبستگی ضریب کمینه دما با مصرف انرژی گاز بیشتر از ضریب بیشینه دما می‌باشد؛ بنابراین ضریب دمای کمینه به عنوان پایه کار قرار می‌گیرد.

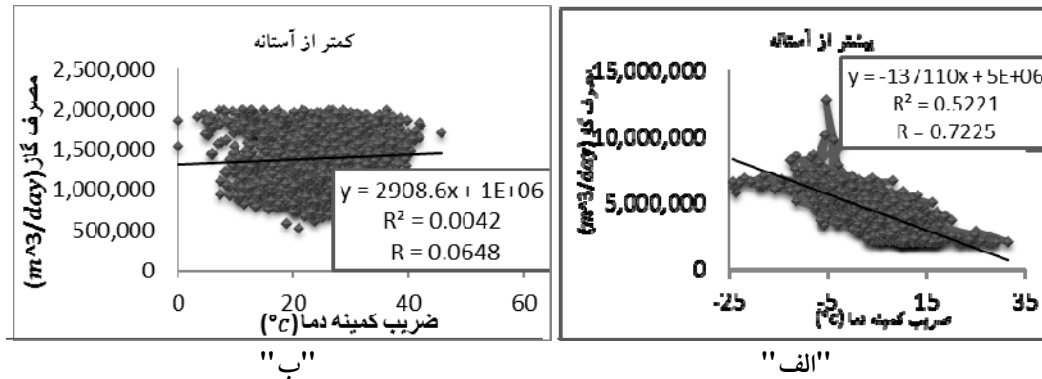


شکل ۱ نمودار رابطه دما با گاز

طبق نمودار همبستگی ضریب کمینه دما و مصرف انرژی گاز، مشخص گردید که مصرف انرژی گاز از دو میلیون مترمکعب در روز به بعد حالت صعودی (افزایشی) را پیدا می‌کند. بنابراین مصرف انرژی دو میلیون مترمکعب در روز به عنوان آستانه مصرف گاز شهر قم در نظر گرفته شد. با مشخص شدن آستانه مصرف انرژی گاز، مصارف به دو دسته، مصارف انرژی قبل از آستانه و بعد از آستانه تقسیم شدند و از هر کدام از این مصارف با ضریب کمینه دما همبستگی گرفته شد تا مشخص شود کدام یک از این مصارف (قبل و بعد از آستانه) با ضریب کمینه دما رابطه بیشتری دارند. بر اساس شکل ۲، رابطه همبستگی ضریب کمینه دما برای مصارف انرژی کمتر از حد آستانه ۰/۰۶ که در هیچ سطحی معنادار نیست و برای بیشتر از حد آستانه ۰/۷۲ که در سطح ۹۹٪ معنادار می‌باشد. بنابراین این‌گونه نتیجه گرفته می‌شود، مصارف گاز در بالاتر از سطح آستانه کاملاً به دمای کمینه وابسته است، این در حالی است که مصارف گاز در کمتر از سطح آستانه اصلاً به دما وابسته نمی‌باشند. طبق نمودار همبستگی ضریب کمینه دما و مصرف انرژی گاز، مشخص گردید که مصرف انرژی گاز از دو میلیون مترمکعب در روز به بعد حالت صعودی (افزایشی) را پیدا می‌کند. بنابراین مصرف انرژی دو میلیون مترمکعب در روز به عنوان آستانه مصرف گاز شهر قم در نظر گرفته شد. با مشخص شدن آستانه مصرف انرژی گاز، مصارف به دو دسته، مصارف انرژی قبل از آستانه و بعد از آستانه تقسیم شدند و از هر کدام از این مصارف با ضریب کمینه دما همبستگی گرفته شد تا مشخص شود کدام یک از این مصارف (قبل و بعد از آستانه) با ضریب کمینه دما رابطه بیشتری دارند.

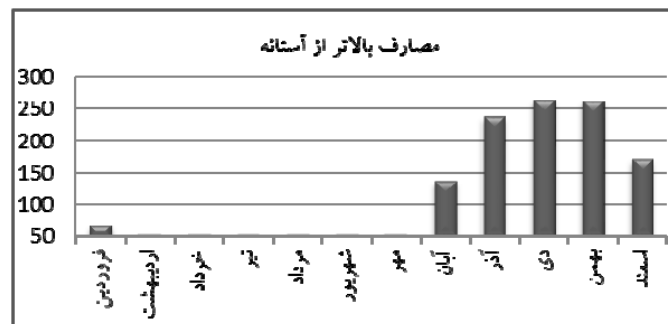


بر اساس شکل ۲، رابطه همبستگی ضریب کمینه دما برای مصارف انرژی کمتر از حد آستانه ۰/۰۶ که در هیچ سطحی معنادار نیست و برای بیشتر از حد آستانه ۰/۷۲ که در سطح ۹۹٪ معنادار می‌باشد. بنابراین این‌گونه نتیجه می‌گیریم، مصارف گاز در بالاتر از سطح آستانه کاملاً به دمای کمینه وابسته است، این در حالی است که مصارف گاز در کمتر از سطح آستانه اصلاً به دما وابسته نیستند.



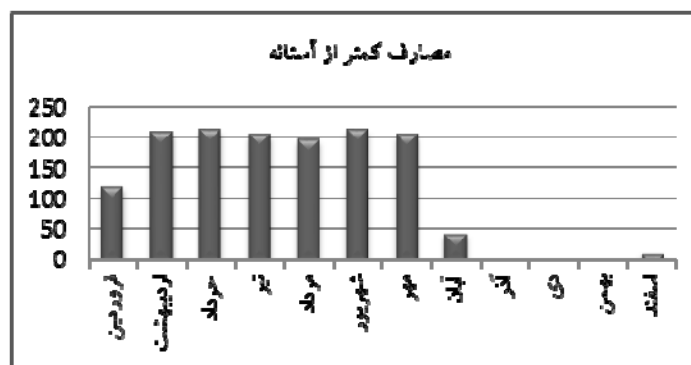
شکل ۲ پراکنش دمای کمینه، بیشتر و کمتر از حد آستانه

همان‌طور که نمودار شاخص MSVI برای مصارف کمتر از آستانه نشان می‌دهد (شکل ۳)، ماه‌های اوج مصرف برای مصارف کمتر از حد آستانه از اردیبهشت ماه شروع و تا آبان ادامه می‌یابد. رابطه همبستگی بدست آمده برای این ماه‌ها عبارتند از: اردیبهشت ۰/۳۱، خرداد ۰/۵۸، تیر ۰/۷۱، مرداد ۰/۶۷، شهریور ۰/۴۸، مهر ۰/۴۰ که همه در سطح ۹۹٪ قابل اطمینان می‌باشد. آبان و فروردین نیز هر کدام به ترتیب با همبستگی ۰/۰۸ و ۰/۰۳۳ در هیچ سطحی معنادار نمی‌باشند. آذر، دی و بهمن همان‌طور که در شکل بالا مشخص است دارای مصرفی کمتر از حد آستانه نمی‌باشند. اسفند نیز با همبستگی ۰/۷۱ در سطح ۹۵٪ معنادار می‌باشد. همه همبستگی‌های گرفته شده کمتر از حد آستانه دارای رابطه مستقیم هستند.



شکل ۳ شاخص MSVI برای مصارف کمتر از حد آستانه

در شکل ۴، که شاخص MSVI را برای مصارف بالاتر از حد آستانه ( $2000000 \text{ m}^3/\text{day}$ ) نشان می‌دهد، مشخص است که مصارف بالاتر از حد آستانه در ماه‌های آبان تا اردیبهشت سال دیگر رخ می‌دهد که همبستگی‌های بدست آمده برای این ماه‌ها به ترتیب عبارتند از: آبان  $0/33$ ، آذر  $0/32$ ، دی  $0/62$ ، بهمن  $0/66$ ، اسفند  $0/62$  و فروردین  $0/64$  می‌باشد که همه در سطح  $99\%$  معنادار می‌باشد. دامنه دمای کمینه در ماه‌های نامبرده از  $23^\circ\text{C}$  تا  $16^\circ\text{C}$  و میانگین کمینه  $2/7^\circ\text{C}$  است. خرداد، تیر، مرداد و شهریور دارای مصارف بالاتر از حد آستانه نیستند. ماه مهر نیز با همبستگی  $0/14$  در هیچ سطحی معنادار نیست. همه همبستگی‌های گرفته شده با نمودار مصارف ماهانه (MSVI) هماهنگ هستند. تنها اردیبهشت ماه با همبستگی  $0/51$  که در سطح  $99\%$  معنادار است با مصارف ماهانه مطابقت ندارد. بنابراین می‌توان گفت مصارف بالاتر از حد آستانه گاز در شهر قم بیش از هر عامل دیگری به دما وابسته است. همه همبستگی‌های گرفته شده دارای رابطه معکوس می‌باشند.



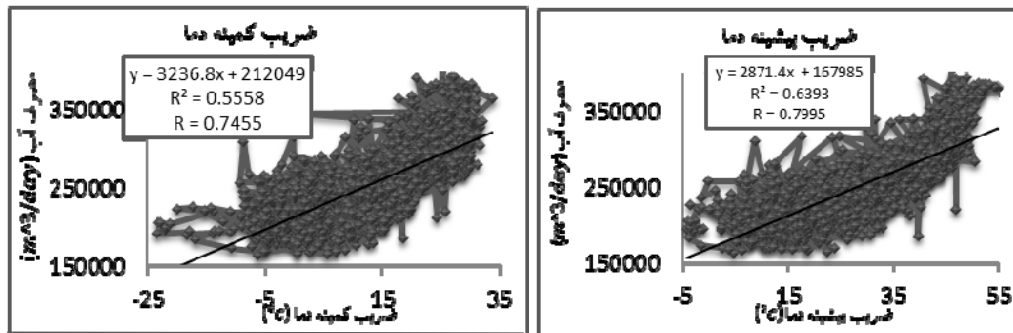
شکل ۴ شاخص MSVI برای مصارف بالاتر از آستانه

#### ب) انرژی آب

افزایش دما یکی از عوامل خشکسالی محسوب می‌شود که اثرات بزرگ منفی بر منابع آب دارد. مصرف انرژی بالای آب براساس افزایش دما خود یک عامل بر تشدید خشکسالی است. با بدست آوردن ضرایب وزنی جمعیتی همبستگی بین ضرایب کمینه و بیشینه دما و مصارف آب گرفته شد. نتایج نشان می‌دهند رابطه همبستگی ضریب کمینه دما با مصرف،  $0/74$  و ضریب بیشینه دما با مصرف،  $0/79$  می‌باشد که هر دو در سطح  $99\%$  قابل اطمینان است. ولی ضریب دمای بیشینه رابطه بیشتری را با مصارف نشان می‌دهد. بعد از مشخص شدن رابطه بیشتر ضریب دمای بیشینه با مصرف آب، ضریب بیشینه دما به عنوان پایه کار قرار گرفته شد.

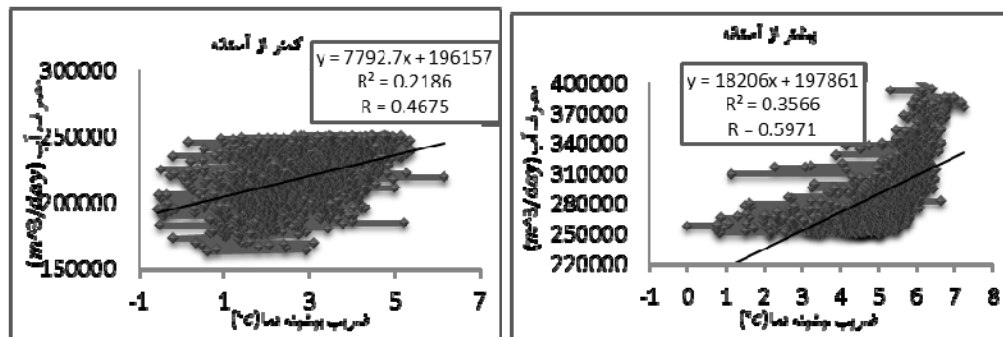
طبق نمودار پراکنش ضریب بیشینه دما و مصرف آب، مشاهده شد مصارف آب از  $250$  هزار مترمکعب در روز سیر صعودی را طی می‌کنند، بنابراین مقدار  $250$  هزار مترمکعب در روز به عنوان آستانه مصرف آب شهر قم در نظر گرفته شد. بعد از مشخص شدن آستانه مصرف آب شهر قم، مصارف آب به دو دسته تقسیم شدند، مصارف قبل و بعد از

آستانه. برای مشخص شدن روابط هرکدام از این مصارف با ضریب بیشینه دما، به صورت جداگانه همبستگی گرفته شد، تا مشخص شود همبستگی مصارف قبل از آستانه با ضریب دما بیشتر است یا بعد از آستانه.



شکل ۵ نمودار رابطه دما با مصرف آب

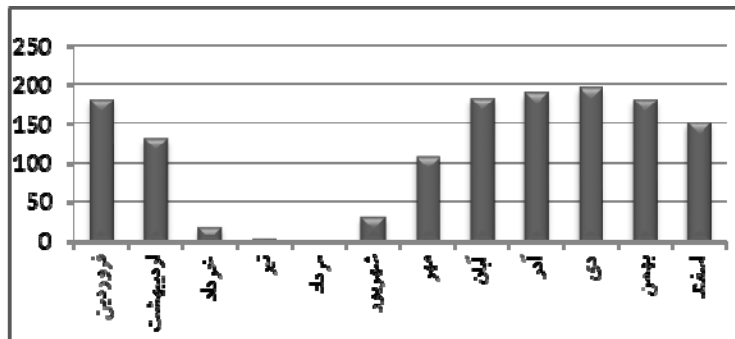
طبق شکل ۶، رابطه همبستگی ضریب بیشینه دما با مصرف آب در مصارف کمتر از آستانه ۰/۴۶ و در مصارف بیشتر از آستانه ۰/۵۹ است که هر دو در سطح ۹۹٪ قابل اطمینان می‌باشند. بنابراین ضریب بیشینه دما با مصارف آب دارای رابطه بیشتری است و مصارف آب بالاتر از حد آستانه بیشتر تحت تأثیر دمای بیشینه می‌باشند. برای بررسی تغییرات مصارف آب در طول ماه‌های مختلف از شاخص MSVI برای هر دو مصارف قبل و بعد از آستانه به صورت جداگانه استفاده گردید.



شکل ۶ پراکنش دمایی بیشینه، بیشتر و کمتر از آستانه

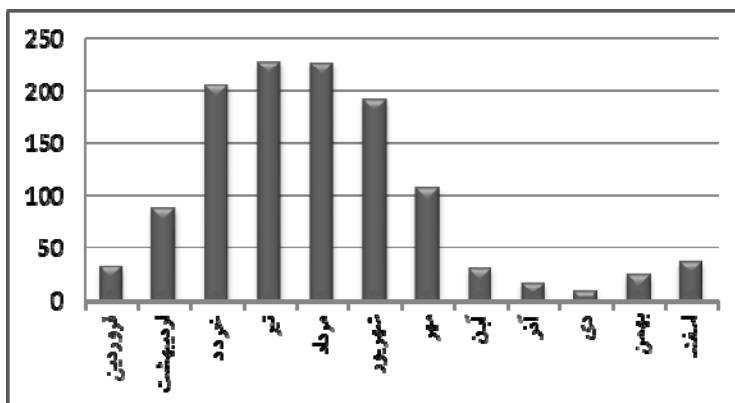
همان‌طور که نمودار شاخص MSVI برای مصارف کمتر از آستانه نشان می‌دهد (شکل ۷)، اوج مصارف آب برای کمتر از حد آستانه از مهر شروع شده و تا خرداد ادامه می‌یابد. این در حالی است که رابطه همبستگی مصارف و دما، بدست آمده از این ماه‌ها عبارتند از: مهر ۰/۴۱، آبان ۰/۴۶، آذر ۰/۲۲، دی ۰/۲۵، بهمن ۰/۱۸، اسفند ۰/۴۵، فروردین ۰/۶۴ و اردیبهشت ۰/۴۴. همه رابطه‌های بدست آمده در ماه‌های ذکر شده در سطح ۹۹٪ قابل اطمینان می‌باشند به جز

آذر که در سطح ۹۵٪ و بهمن در سطح ۹۰٪ قابل اطمینان می‌باشد. خرداد در سطح ۹۹٪ دارای اطمینان همبستگی ۰/۶۰ است که البته یک رابطه معکوس را نشان می‌دهد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شده بود نتایج نشان می‌دهند که مصرف آب در شهر قم برای قبل از آستانه ۲۵۰۰۰۰ به دما وابسته نیست و عوامل دیگری در مصرف مثل نیاز مصرف‌کنندگان به آب نقش دارند.



شکل ۷ شاخص MSVI برای مصارف کمتر از آستانه

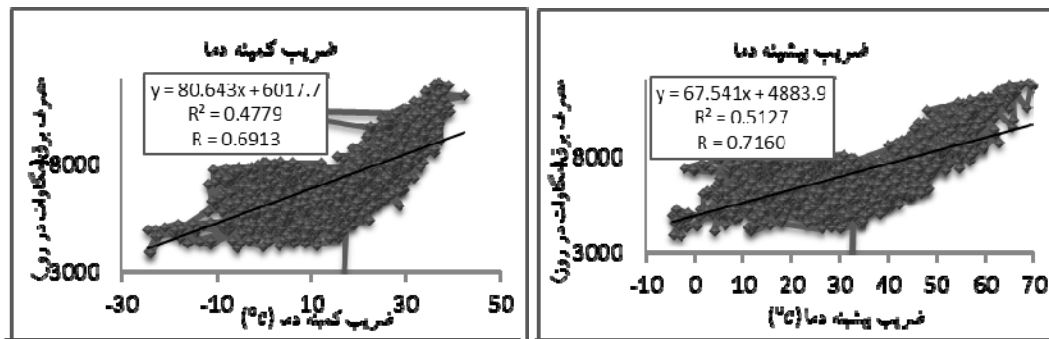
در نمودار شاخص MSVI برای مصارف بیشتر از آستانه مشخص گردید که اوج مصرف از خرداد تا مهر ماه است که رابطه همبستگی بدست آمده آنها با دما عبارتند از: خرداد ۰/۶۹، تیر ۰/۶۹، مرداد ۰/۶۱، شهریور ۰/۵۰ که همه در سطح ۹۹٪ معنا دار هستند. این در حالی است که رابطه همبستگی بدست آمده برای بقیه ماه‌ها به جز فروردین در هیچ سطحی معنا دار نیستند. فروردین ماه با رابطه همبستگی ۰/۳۶ در سطح ۹۸٪ معنا دار است آب همان‌طور که مشخص گردید، اوج مصرف برای مصارف بیشتر از آستانه در ماه‌هایی رخ می‌دهد که همبستگی مصارف در آن ماه‌ها با دما نیز در بیشترین حد است. بنابراین دما عنصری اساسی در مصارف بیش از ۲۵۰۰۰۰ است. دامنه دما در این ماه‌ها ۵°C تا ۶°C و میانگین دمای بیشینه ۳۵/۱°C می‌باشد.



شکل ۸ شاخص MSVI برای مصارف بیشتر از آستانه

## ج) انرژی برق

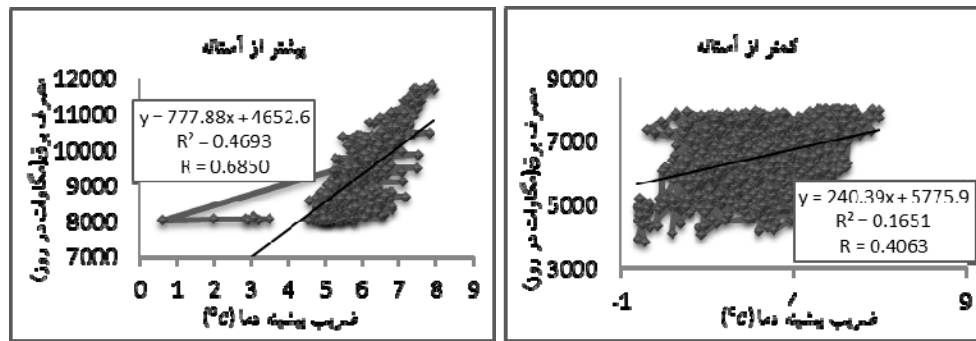
با بدست آوردن همبستگی بین ضرایب کمینه و بیشینه دما و مصارف برق مشخص گردید رابطه همبستگی ضریب کمینه دما با مصرف انرژی برق ۰/۶۹ و با ضریب بیشینه دما ۰/۷۱ می‌باشد که هر دو در سطح ۹۹٪ قابل اطمینان است. از آنجاکه رابطه همبستگی ضریب بیشینه با مصرف انرژی برق رابطه بیشتری دارد؛ بنابراین دمای بیشینه به عنوان پایه کار قرار می‌گیرد.



شکل ۹ نمودار رابطه دما با مصرف برق

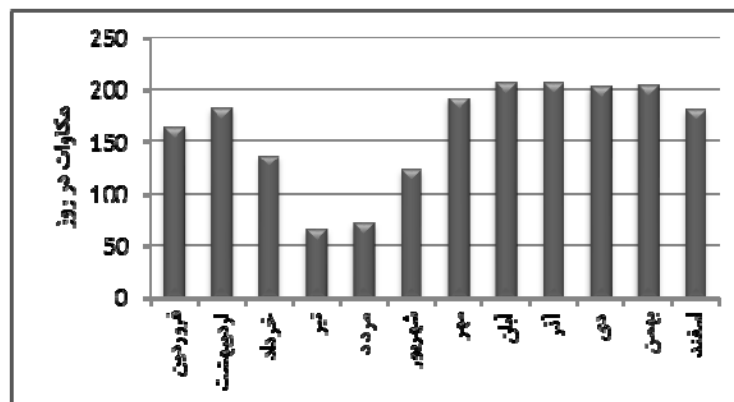
طبق نمودار همبستگی ضریب بیشینه دما و مصرف انرژی برق، مشخص گردید که مصرف انرژی برق از ۸۰۰۰ مگاوات در روز به بعد حالت صعودی (افزایشی) را پیدا می‌کند. بنابراین مصرف انرژی ۸۰۰۰ مگاوات در روز، به عنوان آستانه مصرف برق شهر قم در نظر گرفته شد. با مشخص شدن آستانه مصرف انرژی برق، مصارف به دو دسته، مصارف انرژی قبل از آستانه و بعد از آستانه تقسیم شدند و از هر کدام از این مصارف با ضریب بیشینه دما همبستگی گرفته شد تا مشخص شود کدام یک از این مصارف (قبل و بعد از آستانه) با ضریب بیشینه دما رابطه بیشتری دارند.

بر اساس شکل ۱۰، رابطه همبستگی ضریب بیشینه دما برای مصارف انرژی کمتر از حد آستانه ۰/۴۰ و برای بیشتر از حد آستانه ۰/۶۸ می‌باشد و هر دو رابطه در سطح ۹۹٪ قابل اطمینان می‌باشد؛ بنابراین می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که انرژی مصرفی برق در مصارف بالاتر از حد آستانه نسبت به مصارف انرژی کمتر از حد آستانه بیشتر تحت تأثیر دمای بیشینه می‌باشند.



شکل ۱۰ پراکنش دمای بیشینه، بیشتر و کمتر از آستانه

همان‌طور که نمودار شاخص MSVI برای مصارف کمتر از آستانه (شکل ۱۱) نشان می‌دهد، ماه‌های اوج مصرف برای مصارف کمتر از ۸۰۰۰ مگاوات (حد آستانه) از مهر تا خرداد ماه سال بعد می‌باشد. رابطه همبستگی بدست آمده در این ماه‌ها عبارت است از: مهر ۰/۶۸، آبان ۰/۲۵، آذر ۰/۳۱، دی ۰/۵۱، بهمن ۰/۵۳، اسفند ۰/۹۶، فروردین ۰/۵۳، اردیبهشت ۰/۵۹، که همه به جز اسفند در سطح ۹۹٪ قابل اطمینان هستند. اسفند ماه نیز در هیچ سطحی معنادار نیست و رابطه همبستگی برای ماه‌های خرداد تا مهر به ترتیب عبارتند از: خرداد ۰/۴۰، تیر ۰/۱۲، مرداد ۰/۳۵، شهریور ۰/۳۷ که همه به جز تیر ماه در سطح ۹۹٪ اطمینان معنادار هستند. تیرماه در هیچ سطحی معنادار نیست.

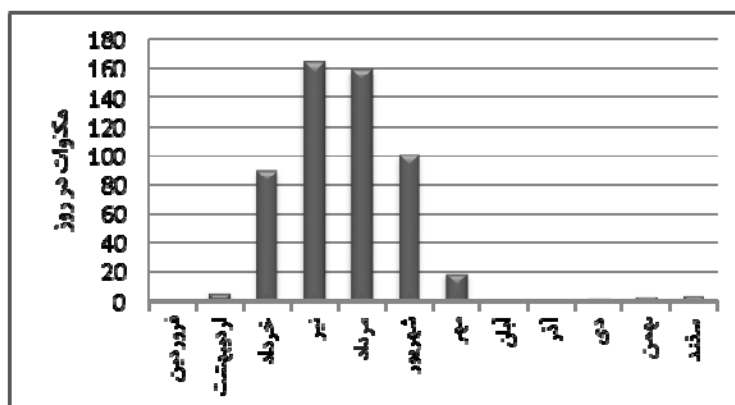


شکل ۱۱ شاخص MSVI برای مصارف برق کمتر از آستانه

در شکل ۱۲، که شاخص MSVI را برای مصارف بالاتر از ۸۰۰۰ مگاوات (حد آستانه مصرف برق با توجه به دما) نشان می‌دهد. مشخص گردیده است که مصارف بالاتر از حد آستانه در ماه‌های خرداد تا مهر اتفاق می‌افتد که همبستگی بدست آمده به ترتیب برای هر ماه عبارت است از: خرداد ۰/۴۶، تیر ۰/۳۳، مرداد ۰/۷۷، شهریور ۰/۷۴

است که همه در سطح ۹۹٪ درصد معنادار می‌باشند رنج دمایی در این ماه‌ها از  $11/8^{\circ}$  تا  $۴۶^{\circ}$  و میانگین دمایی بیشینه ماه‌ها  $39^{\circ}$  می‌باشد.

مهر نیز دارای همبستگی  $۰/۴۲$  است که در سطح ۹۵٪ معنادار است. فروردین، آبان، آذر و دی نیز به طور کل دارای مصرف بالاتر از ۸۰۰۰ مگاوات نمی‌باشند. بهمن و اسفند نیز به ترتیب دارای همبستگی  $۰/۶۷$  و  $۰/۲۰$  می‌باشند که در هیچ سطحی معنادار نیستند. اردیبهشت نیز با همبستگی  $۰/۷۰$ ، در سطح ۹۰٪ معنادار است که در جغرافیا، سطح ۹۰٪ معنادار نیست.



شکل ۱۲ شاخص MSVI برای مصارف بالاتر از آستانه

##### ۵. نتیجه‌گیری

از آنجایی که رابطه همبستگی در انرژی‌های گاز، آب و برق با دما در مصارف بالاتر از حد آستانه بیشتر از مصارف کمتر از حد آستانه است، نقش مؤثر دما در مدیریت این مصارف بخصوص در شهر قم بیشتر نمایان می‌شود. استفاده از اقلیم شناسان به عنوان کارشناسانی که رفتارهای دمایی را مطالعه می‌کنند می‌تواند در مدیریت این مصارف مفید واقع شود. نتایج بدست آمده گویای نقش مؤثر ناهنجاری‌های دمایی در میزان افزایش مصرف انرژی شهروندان است. اهمیت نتایج پژوهش در طراحی و اجرای سامانه پیش‌بینی دماهای بحرانی کمینه و بیشینه است که مدیریت مناسبی در مصارف انرژی ارائه گردد. نشان دادن نقش افزایش مصرف آب، برق و گاز با هر درجه تغییر دما بخصوص در دماهای فرین و بحرانی بسیار حائز اهمیت است. شاخص بکار گرفته شده در مقایسه با شاخص‌های آسایش مورد استفاده در پژوهش‌های مختلف به دلیل توجه خاص آن به مصرف انرژی و امکان اعمال نتایج آن با متغیرهای اقلیمی است.

## کتابنامه

- احترامی، سعید؛ ۱۳۸۸. بررسی اثرات دمای هوای محیط بر مصرف انرژی الکتریکی و تغییرات بار شبکه برق خوزستان. بیست و چهارمین کنفرانس بین‌المللی برق.
- اسماعیلی، رضا؛ منتظری، مجید؛ ۱۳۹۲. تعیین محدوده‌های بیوکلیماتیک شهر مشهد بر مبنای داده‌های ساعتی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۴۹: ۲۲۹-۲۱۵.
- اسماعیل نژاد، مرتضی؛ ۱۳۹۱. شناسایی امواج گرمایی ایران و ارتباط آن با الگوهای همدیدی. پایان‌نامه دکتری تخصصی. استاد راهنما: بهلول علیجانی. محمود خسروی. دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- امامی مبینی، علی و دیگران؛ ۱۳۸۸. عوامل مؤثر بر قیمت گاز مصرفی در بخش خانگی کشور. پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی. ۵۲: ۹۲-۶۹.
- رحیم زاده، فاطمه و دیگران؛ ۱۳۸۸. روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۹۳: ۱۹۹-۱۴۴.
- صادقی، سلیمان و دیگران؛ ۱۳۹۱. تحلیل همدیدی امواج سرمایی در شمال شرق ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۳: ۱۲۳-۱۰۷.
- عالی جهان، مهدی؛ ۱۳۹۲. آشکارسازی اثر پدیده گرمایش جهانی بر روی دماهای ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: یوسف قویدل رحیمی. دانشگاه تربیت مدرس.
- عساکره، حسین؛ ۱۳۸۸. الگوسازی ARIMA برای میانگین سالانه دمای شهر تبریز. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۹۲: ۳ تا ۲۴.
- علیجانی، بهلول؛ براتی، غلامرضا؛ ۱۳۷۵. تحلیل سینوپتیک یخبندان فروردین ۱۳۶۶. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۴۰: ۱۲۱-۱۳۵.
- علیجانی، بهلول؛ هشیار، محمود؛ ۱۳۸۶. شناسایی الگوهای سینوپتیکی سرماهای شدید شمال غرب ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۶۵: ۱۶-۱.
- علیجانی، بهلول؛ ۱۳۹۰. تحلیل فضایی دماها و بارش‌های بحرانی روزانه در ایران، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۲۰: ۳۰-۹.
- قویدل رحیمی، یوسف؛ ۱۳۹۰. تعیین آستانه آماری و تحلیل سینوپتیک دماهای ابر سرد مراغه. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۹، ۲۲: ۶۲-۴۵.
- کریمی، تورج و دیگران؛ ۱۳۸۹. بررسی اثر تغییرات دما بر مصرف گاز طبیعی در ایران. مطالعات اقتصاد انرژی. ۲۴: ۲۱۸-۱۹۳.



- ناظم السادات، سید محمدجعفر؛ مجنونى هريس، ابوالفضل؛ ۱۳۸۷. بررسی میزان راحتی انسان در شرایط اقلیمی مختلف (مطالعه موردی: شهرهای شیراز، بندرعباس، بیرجند و اردبیل). محیط‌شناسی. ۴۸: ۷۱-۸۰.
- هژبرپور. قاسم؛ علیجانی، بهلول؛ ۱۳۸۶. تحلیل هم‌دید یخبندان‌های استان اردبیل. جغرافیا و توسعه. ۱۰: ۸۹-۱۰۶
- Adunola, O.A., 2014. Evaluation of urban residential thermal comfort in relation to indoor and outdoor air temperatures in Ibadan, Nigeria. *Building and Environment* 75, 19-20
- Aras, H., Aras, N., 2004. Forecasting residential natural gas demand. *Energy Sources* 26, 463-472
- Bani-Domi, M., 2005. Trend analysis of temperatures and precipitation in Jordan. *Social Sciences & Humanities* 17, 15-36.
- Collins, D. A., Della-Marta, P. M., Plummer, N., Trevin, B. C., 2000. Trends in annual frequencies of extreme temperature events in Australia. *Australian Meteorological Magazine* 49, 277-292
- Gil, S., Deferrari, J., 2004. Generalized model of predication of natural gas consumption. *Journal of Energy Resources Technology* 126, 90-96
- IPCC., 2001. Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press* 83.
- Kalkstein, L.S., Valimont, K.M., 1986. An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index. *Bulletin of the American Meteorological Society* 7, 842-848
- Martilli, A., 2014. An idealized study of city structure, urban climate, energy consumption, and air quality. *Urban Climate* 2, 430-446
- Sarak, H., Satman, A., 2003. The method of degree-day for estimate the residential heating natural gas consumption in Turkey study. *Energy* 25, 929-939
- Perini, K., & Magliocco, A., 2014. Effects of vegetation, urban density, building height, and atmospheric conditions on local temperatures and thermal comfort. *Urban Forestry & Urban Greening* 3, 495-506
- Takahashi, H., 1990. Migration of the cold air mass related to rain belt formation of the Chinese continent and atmospheric systems during the Baiu season (in Japanese). *Geographical Review of Japan* 64, 10-24