

جغرافیا و توسعه شماره ۳۵ تابستان ۱۳۹۳

وصول مقاله : ۱۳۹۰/۱۲/۷

تأیید نهایی : ۱۳۹۲/۲/۲۵

صفحات : ۱۳۲ - ۱۱۷

احتمال رخداد روزهای انباشت هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف

دکتر تقی طاوسی^۱، اکبر زهرایی^۲، قدیر دل آرا^۳

چکیده

شرایط توپوگرافی سطح زمین به شدت بر پدیده‌های متوسط اقلیم مؤثرند. چاله‌ها، کم و بیش کانون انباشته شدن هوای سرد در شب به شمار می‌آیند و زمینه‌ی پیدایش واژگونی دمای هوا را فراهم می‌سازند. نرمال دمای هوا در ایستگاه‌های همدید و کلیما تولوژی منطقه، چنین شرایطی را برای چاله‌ی گاوخونی نشان می‌دهد. در این پژوهش، برای تعیین احتمال رخداد روزهای نشست هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی در فصول مختلف سال از زنجیره‌ی مارکف استفاده شد. بنابراین، اختلاف کمینه دمای روزانه هوا در دو ایستگاه اقلیمی اصفهان و ورزنه، در دوره‌ی آماری (۲۰۰۵-۱۹۸۶)، به دست آمد و با توجه به علامت آن (مثبت یا منفی)، روزهای سال به دو دسته، روزهای عادی با کد (صفر) و روزهای انباشت هوای سرد در چاله با کد (۱) تقسیم شدند.

نتایج نشان داد که ۷۱/۵ درصد روزهای سال، با نشست هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی همراه است. شمار روزهای انباشت هوای سرد به ترتیب در فصل پاییز ۷۹/۵، زمستان ۷۳/۸، بهار ۷۱/۹ و تابستان ۶۱/۱ درصد بود. در حالت‌های انتقال شرطی دما، احتمال وقوع حالت P_{11} بیشتر از سایر حالت‌ها (P_{10}, P_{01}, P_{00}) است. رابطه رگرسیونی میان مقادیر مشاهده شده و برآورد شده دوره‌های n روزه نشست هوای سرد، نشان می‌دهد که میزان دقت و اطمینان مورد نظر برای همه‌ی فصول، بالاتر از ۹۹ درصد بوده است. کلیدواژه‌ها: انباشت هوای سرد، زنجیره‌ی مارکف، چاله‌ی گاوخونی، اصفهان، ورزنه.

t.tavousi@gep.usb.ac.ir
a_zahraei65@yahoo.com
ghadir.delara@gmail.com

۱- دانشیار جغرافیا طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسؤل)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

کارکرد پدیده‌های متوسط اقلیم که تا چندین ساعت تداوم دارند، تحت اثر نمودهای ناهمواری سطح زمین و شکل آن‌ها قرار دارند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۱۸). دما که از عناصر بنیانی شکل‌گیری آب و هواست، نیز ناشی از این پدیده است و افت و خیز آن می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد. دما یک متغیر ترمودینامیک و مهم جوی است که دگرگونی آن سرچشمه‌ی بسیاری از تغییرات فیزیکی، شیمیایی و زیست‌محیطی بوده و از شاخص‌های کیفیت محیط زیست به شمار می‌آید (دشتکیان و دهقانی، ۱۳۸۶: ۱۷۰). به همین خاطر است که بررسی شرایط دما در بازه‌های متفاوت زمانی و مکانی بخش بزرگی از پژوهش‌های آب و هواشناسی را به خود اختصاص داده است (مسعودیان، ۱۳۸۳: ۸۹) پستی و بلندی‌های محلی می‌تواند در توزیع عمودی دمای هوا مؤثر باشد.

چاله‌ها، گودال‌ها و دره‌ها معمولاً کانون انباشته شدن هوای سرد به ویژه در شب به شمار می‌آیند و زمینه‌ی مناسبی برای رخداد واژگونی دمای هوا محسوب می‌شوند. از سوی دیگر گرمای روزانه‌ی جمع شده در آن‌ها، موجب می‌گردد نسبت به محیط پیرامون خود با داشتن اقلیم دمایی شدیدتری مشخص شوند (علیجانی و کاویانی، ۱۳۷۱: ۱۱۴). چاله‌ی گاوخونی که با راستای شمال غربی، جنوب‌شرقی در ایران مرکزی و در میان دو رشته‌کوه موازی، رشته‌کوه مرکزی و پیشکوه‌های داخلی زاگرس، قرار گرفته است، محل انباشت هوای کم و بیش سردتر شبانه می‌باشد. نشست هوای سرد در این چاله موجب پیدایش واژگونی دمای هوا در بیشتر روزهای سال می‌گردد (طاوسی، ۱۳۸۰: ۲۸۲). با توجه به تأثیر دما بر شرایط اقلیمی، پیش‌بینی آن در برنامه‌ریزی‌های محیطی

اهمیت فراوانی دارد و استفاده از روش‌های آماری به منظور بررسی تغییرات و پیش‌بینی دما، کاربرد گسترده‌ای یافته است (جهانبخش و باباپورباصر، ۱۳۸۳: ۳۵). در این پژوهش، نقش پستی و بلندی‌های محلی در توزیع عمودی دمای هوا مورد توجه قرار گرفته شده است. به منظور به‌کارگیری مدل‌های کمی برای تعیین و تجزیه و تحلیل برش‌های عمودی دما و تعمیم داده‌های آب و هوایی (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۶۲) از مدل مارکف استفاده شده است که یکی از مدل‌های آماری است که به بررسی ارتباط زمانی پدیده‌های گوناگون اقلیمی می‌پردازد و متداول‌ترین روش برای بررسی فراوانی توالی‌های پدیده‌های آب و هوایی است. در این روش احتمال وقوع یک حالت اقلیمی در زمان t بر اساس وضعیت آن در زمان قبل ($t-1$) پیش‌بینی می‌شود (علیزاده، ۱۳۸۷: ۲۸۰). تئوری زنجیره‌ی مارکف حل بسیاری از مسائل احتمالات را ساده کرد. در واقع مانند ابزارریاضی احتمالات مربوط به فرایندهای وابسته را بسیار ساده یا ممکن ساخت. این مدل در علوم مختلف از جمله علوم مرتبط با جو کاربرد وسیعی یافته که به برخی از مطالعات آن جام گرفته با آن در حیطه‌ی اقلیم اشاره می‌گردد.

سابرمانیام^۱ و همکاران (۱۹۸۷) با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف به بررسی تولید محصول در سواحل آندوها در هندوستان پرداختند. مارتین‌وید و گومز^۲ (۱۹۹۸) کار منطقه‌بندی شبه‌جزیره‌ی اسپانیا را بر مبنای طول دوره‌های خشک از طریق روش زنجیره‌ی مارکف انجام دادند و بر اساس آن نواحی مختلف این کشور را تقسیم‌بندی کردند. هورات و بیتو^۳ (۲۰۰۷) سری‌های زمانی کاهش بارندگی را با مدل زنجیره‌ی

1-Subrmanian
2-Martin vide & Gomez
3-Horvath & Bito

که به لحاظ فراوانی وقوع روزهای خشک در تمام فصول، میانگین تعداد روزهای خشک بیست روز و بالاتر از آن می‌باشد. حقیقت‌جو و همکاران (۱۳۸۱) در پژوهشی از مدل زنجیره‌ی مارکف مرتبه اول جهت پیش‌بینی جریان رودخانه هیرمند در طی سال‌های ۱۹۶۷-۱۹۵۲ به مدت ۴۶ سال استفاده نمودند. فولادوند (۱۳۸۵) در یک بررسی به پیش‌بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارندگی در سال با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف در منطقه‌ی نیمه‌خشک باجگاه در استان فارس پرداخته است.

رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف مرتبه اول و نمایه SPI در مقیاس ۳ و ۶ ماهه، احتمال وقوع و گسترش خشکسالی سیستان و بلوچستان را مورد بررسی قرار دادند. نوری و همکاران (۱۳۸۵) احتمال خشکسالی و ترسالی استان همدان را با استفاده از زنجیره‌ی مارکف بررسی کردند و نتیجه گرفتند که احتمال خشکسالی در ایستگاه هیدرومتری کمیجان با ۷۶/۱۹ درصد بیشترین و در ایستگاه گوشه با ۳۹/۶۴ درصد کمترین می‌باشد. عساکره و مازینی (۱۳۸۹) در تحقیقی احتمال روزهای بدون بارش و نیز روزهای با بارش کمتر از یک میلی‌متر برای استان گلستان را محاسبه و مورد تحلیل قرار دادند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که احتمال تداوم روزهای خشک در ناحیه‌ی پرباران جنوبی بسیار کمتر از روزهای مشابه در ناحیه‌ی کم‌باران شمالی است. هدف پژوهش حاضر تعیین احتمال رخداد روزهای نشست هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی در فصول متفاوت سال با استفاده از زنجیره‌ی مارکف می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی نقش پستی و بلندی‌های محلی در توزیع عمودی دمای هوا، داده‌های

مارکف و بر اساس پیوندهای ریزموج تحلیل کردند. فیرهرم^۱ و همکاران (۱۹۶۷) جهت تحلیل توالی روزهای تر و خشک از زنجیره‌ی مارکف بهره بردند. نتایج نشان داد که در شمال ایالات متحده دوره‌ی بارانی اوایل بهار بعد از دو روز تر، پایان می‌یابد.

استیم^۲ (۱۹۸۰) در پژوهشی توزیع احتمال بارش‌های روزانه هند و نیجریه را مورد بررسی قرار داد. نتایج پژوهش نشان داد که احتمال وقوع تعداد روزهای بارانی، کل بارش و طول دوره‌های خشکی با مارکف مرتبه اول برازش خوبی دارد. آنا^۳ و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی به تحلیل دوره‌های خشکسالی با استفاده از کاربرد شاخص SPI و زنجیره‌ی مارکف پرداختند.

مشکاتی (۱۳۶۳) احتمال تواتر روزهای خشک و تر بابلسر را از طریق زنجیره‌ی مارکف در فصل بارش مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که زنجیره‌ی مارکف مرتبه‌ی اول پردازش داده شده برای تمام ماه‌های مورد مطالعه زنجیره‌ای ایستا می‌باشد. هاشمی (۱۳۷۴) با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف به بررسی آمار بارندگی روزانه‌ی تهران پرداخت و نتیجه گرفت که در تمام ماه‌های سال نتایج حاصل از مدل مارکف مرتبه‌ی اول به واقعیت مشاهده شده بسیار نزدیک است. قادرمرزی (۱۳۸۰) در پژوهشی نوسانات آب و هوا در استان کردستان را با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف را تحلیل و پیش‌بینی نمود. وی از آمار پنج ایستگاه در گستره‌ی استان کردستان استفاده نمود و سرانجام با یک توزیع آماری اقدام به پیش‌بینی دوره‌های (۱ تا ۱۰) روزه برای دوره‌های مرطوب، خشک، گرم و سرد نمود. حجازی‌زاده و شیرخانی (۱۳۸۴) دوره‌های خشک کوتاه‌مدت در استان خراسان را با استفاده از زنجیره‌ی مارکف مورد بررسی قرار دادند. در نهایت نتیجه گرفتند

1-Feyerherm
2-Stem
3-Ana

دمای روزانه هوا مورد توجه بوده است. نخست ایستگاه‌های همدید و کلیماتولوژی چاله‌ی گاوخونی و شدند (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	ورزنه	شرق اصفهان	اصفهان	پالایشگاه	بلان
عرض جغرافیایی	۳۲° ۲۴'	۳۲° ۴۰'	۳۲° ۳۷'	۳۲° ۴۳'	۳۲° ۵۴'
طول جغرافیایی	۵۲° ۳۸'	۵۱° ۵۲'	۵۱° ۴۰'	۵۱° ۳۳'	۵۲° ۵۴'
ارتفاع به متر	۱۴۵۰	۱۵۴۳	۱۵۵۰	۱۶۷۳	۲۱۲۵

مأخذ: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۰

دیگر و همچنین بیانگر ویژگی‌ها، فراوانی و احتمال وقوع آن پدیده است.

در تعیین حالت سیستم باید دو عامل را مشخص کرد: حالت سیستم در زمان مشخص و احتمال تغییر حالت خاص به حالت‌های ممکن دیگر که اصطلاحاً احتمال گذار نامیده می‌شود (مؤمنی، ۱۳۷۴: ۱۲). توانایی این مدل در برآورد دوره‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف (ساعت، روز، هفته، ماه و سال) و در مکان‌های مختلف بستگی به ویژگی آن پدیده در مکان معین دارد (Mehrotra & Sharma, 2007:142). وابستگی این زنجیره به زمان، یا از طریق ضرایب همبستگی سری زمانی و یا با استفاده از ماتریس‌های احتمال انتقال بیان می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۲: ۷۴). مدل زنجیره‌ی مارکف یک‌مرتب‌ه دو حالتی معمول‌ترین شکل آن می‌باشد (رابطه ۱). کمینه شرط استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف، وجود همبستگی تأخیر اول (همبستگی شرایط امروز و فردا)، است.

رابطه ۱:

$$\Pr\{x_{t+1} | x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_{t-n}\} = \Pr\{x_{t+1} | x_t\}$$

(علیزاده و همکاران، ۱۳۸۲: ۷۴).

در این پژوهش، نخست ماتریس‌های احتمال انتقالی مرتبه اول دو حالت زنجیره‌ی مارکف برای بیان رخداد پدیده‌های روزهای عادی (۰) و روزهای نشست هوای

نرمال دمای روزانه هوا (میانگین، کمینه و بیشینه)، در طول ساعات شبانه روز در بازه‌های روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه در ایستگاه‌های انتخابی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه در شرایط معمول بایستی دمای هوا در قسمت‌های کم ارتفاع‌تر بیشتر از کوهپایه‌ها و ارتفاعات باشد و از طرفی داده‌های توزیع عمودی هوا به‌ویژه در قسمت‌های پست‌تر چاله تاکنون به ثبت نرسیده است، داده‌های کمینه دمای روزانه هوای مربوط به دو پایگاه هواشناسی اصفهان و ورزنه به مدت ۷۳۰۵ روز (۲۰۰۵-۱۹۸۶) مقایسه شد. باقیمانده کمینه دمای روزانه هوای ورزنه منهای کمینه دمای روزانه هوای اصفهان، "مثبت" یا "منفی" بودند. به روزهایی که باقیمانده "مثبت" بود کد (صفر) داده شد و شرایط عادی برای توزیع عمودی دمای هوا در نظر گرفته شد و به روزهایی که باقیمانده "منفی" بود کد (یک) داده شد و شرایط نشست هوای سرد در چاله منظور شد، شرایطی که با ایجاد واژگونی دمای هوا می‌تواند موجب افزایش غلظت و تداوم آلودگی هوا در بخش‌های پست‌تر شرق و جنوب‌شرق کانون صنعتی اصفهان در راستای چاله‌ی گاوخونی گردد. مدل زنجیره‌ی مارکف یک تکنیک ریاضی جهت مدل‌سازی پدیده‌های تصادفی است که توالی مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. ساختار این مدل بیانگر حالت‌ها و احتمال‌های انتقال یک پدیده از یک حالت به حالت

رابطه ۳:

$$P_{10} = \frac{n_{10}}{n_{10} + n_{11}} \Rightarrow P_{11} = 1 - P_{10}$$

(علیجانی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴).

هز: احتمال اقلیمی (ایستایی) دوره‌های نشست هوای سرد و دوره‌های روزهای عادی معین شد. در اینجا احتمال اقلیمی با T نشان داده شده است و از روی احتمال‌های شرطی محاسبه می‌شود. T_1 احتمال وقوع دوره‌های همراه با نشست هوای سرد و T_0 احتمال وقوع دوره‌های روزهای عادی را نشان می‌دهند:

رابطه ۴:

$$T_1 = \frac{P_{10}}{(1 + P_{01}) - P_{11}} \Rightarrow T_0 = 1 - T_1$$

(قادری‌زده، ۱۳۸۷: ۴۱)

و: احتمال وقوع تعداد روزهای پشت سرهم نشست هوای سرد در هر فصل از رابطه زیر به دست آمد:

رابطه ۵:

$$P(I^n) = P_{11}^{n-1} \times P_{10}$$

(دل‌آرا، ۱۳۸۷: ۳۶)

ز: احتمال وقوع تعداد روزهای پشت سرهم با شرایط دمایی عادی هوا از رابطه زیر به دست آمد:

رابطه ۶:

$$P(T^n) = P_{00}^{n-1} \times P_{01}$$

(دل‌آرا، ۱۳۸۷: ۳۶)

در این روابط I = نشست هوای سرد، T = شرایط دمایی عادی هوا و n = تعداد روز مورد نظر است.

سرد (۱) در چاله مشخص شد. با مشخص شدن عناصر ماتریس، احتمال انتقال برخی از ویژگی‌های مهم سری داده‌ها به صورت زیر محاسبه شد:

الف: فراوانی وقوع هر یک از حالت‌های دوگانه (وقوع و عدم وقوع) و تغییر حالت‌ها نسبت به هم محاسبه شد و جدول مربوطه برای فصول چهارگانه سال تنظیم شد. تا بر پایه‌ی آن‌ها ماتریس احتمال‌های تغییر وضعیت محاسبه شود.

ب: ماتریس حالت‌های انتقالی روزهای پیاپی دوتایی (۰، ۰، ۱، ۱، ۱، ۱، ۰) تشکیل گردید:

P_{00} = احتمال وقوع یک روز شرایط عادی دمای هوا بعد از یک روز عادی دیگر،

P_{01} = احتمال وقوع یک روز همراه با نشست هوای سرد به دنبال یک روز عادی،

P_{10} = احتمال وقوع یک روز عادی به دنبال یک روز همراه با نشست هوای سرد و

P_{11} = احتمال وقوع دو روز پی‌درپی نشست هوای سرد است.

ج: انطباق زنجیره‌ی مارکف مرتبه اول دو حالت با داده‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون کای دو^۱ بررسی شد و با سطح اطمینان ۹۹٪ تأیید شد.

د: احتمال وقوع حالت‌های انتقالی یا شرطی ($P_{10}, P_{01}, P_{00}, P_{11}$) محاسبه شد. در روابط زیر (n) تعداد حالت‌ها در دوره‌ی آماری است:

رابطه ۲:

$$P_{01} = \frac{n_{01}}{n_{01} + n_{00}} \Rightarrow P_{00} = 1 - P_{01}$$

(علیجانی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴)

ک: احتمال وقوع دوره‌های (۱) تا (۷) روزه نشست هوای سرد و روزهای عادی پیش‌بینی شد. یکی از قابلیت‌های مدل زنجیره‌ی مارکف این است که می‌تواند دوره‌های n روزه حالت‌های گوناگون را برآورد و یا پیش‌بینی نماید. در اینجا یک دوره‌ی نشست هوای سرد دوره‌ای است که با یک روز نشست هوای سرد شروع شده و با یک روز مخالف (روز عادی) به پایان برسد. و دوره‌ی عادی به دوره‌ای گویند که با یک روز عادی از نظر شرایط دمایی هوا شروع شده و با روز مخالف به پایان برسد. برای مثال یک دوره ۳ روزه نشست هوای سرد به صورت (۱۱۱۰) و یک دوره ۳ روزه عادی به صورت (۰۰۰۱) نشان داده می‌شود. احتمال وقوع دوره n روزه نشست هوای سرد از طریق فرمول زیر به دست می‌آید:

رابطه ۱۱:

$$I_m = 1 + \frac{(N - n)(p_{10})(p_{01})(1 - p_{10})^{n-1}}{(p_{10} + p_{01})}$$

(حجازی‌زاده و شیرخانی، ۱۳۸۴: ۱۸)

I_m = تعداد دوره‌های n روزه نشست هوای سرد در یک دوره‌ب معین،

N = تعداد کل روزهای دوره‌ی آماری،

m = طول دوره روزهای نشست هوای سرد (۱ روزه، ۲

روزه، ۳ روزه...)، P_{01}

و P_{10} = عناصر ماتریس احتمال انتقالی زنجیره‌ی مارکف.

احتمال وقوع دوره‌های n روزه عادی نیز از طریق فرمول زیر به دست می‌آید.

T_m = تعداد دوره‌های n روزه روزهای عادی در یک دوره‌ی معین است:

ح: جهت آزمون برازش زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالت بر سری داده‌ها، ضریب تداوم یا (ضریب خود همبستگی)، به صورت زیر محاسبه شد:

رابطه ۷:

$$r_1 = P_{11} - P_{01}$$

(طلاوسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۳۱)

ط: امید ریاضی دوره‌های روزهای نشست هوای سرد و دوره‌های روزهای عادی مشخص شد. میانگین جامعه برای متغیر تصادفی X در اصطلاح "امید ریاضی" یا "ارزش مورد انتظار" می‌نامند و آن را با نماد EX نشان می‌دهند (بهبودیان، ۱۳۸۵: ۳۷).

رابطه ۸:

$$E_1 = \frac{1}{1 - P_{11}}$$

(امیری، ۱۳۸۶: ۸۳)

رابطه ۹:

$$E_0 = \frac{1}{1 - P_{00}}$$

(امیری، ۱۳۸۶: ۸۳)

در این روابط E_1 گویای طول دوره مورد انتظار نشست هوای سرد و E_0 نشان‌دهنده‌ی طول دوره‌ی مورد انتظار برای روزهای عادی است.

ی: مجموع طول دو دوره‌ی پیاپی نشست هوای سرد با شرایط عادی را یک سیکل هوایی گویند. هر سیکل هوایی (EC) نشان‌دهنده‌ی یک دوره نشست هوای سرد با یک دوره شرایط عادی است که پشت سرهم قرار می‌گیرند.

رابطه ۱۰:

$$EC = E_0 + E_1$$

(قادرمرزی، ۱۳۸۰: ۵۲)

رابطه ۱۲:

$$T_m = 1 + \frac{(N - n)(p_{01})(p_{10})(1 - p_{01})^{n-1}}{(p_{01} + p_{10})}$$

(حجازی زاده و شیرخانی، ۱۳۸۴: ۱۸).

انباشته می‌شود و سرما تشدید خواهد شد (شکل ۱). این فرایند گاهی چنان دمای هوا را کاهش می‌دهد که موجب پیدایش یخبندان‌های شدید می‌گردد، حالتی که از آن به نام "چاله‌های یخی" یاد شده است. چاله‌های یخی در اثر هرز انرژی ناشی از تابش طول موج بلند تابش شبانه سطح زمین و در شرایط هوای آرام به وجود می‌آید (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۶۲).

از طرف دیگر ورود توده‌ی هوای قطبی بری از شمال شرق یا شمال غرب کشور در دوره‌ی سرد سال (اوایل آبان تا اوایل اسفند) سبب عبور خط هم‌فشار ۱۰۲۰ میلی‌باری از وسط ایران شده و جریان‌های ناشی از آن هوای سرد خشک را از سمت شمال غربی وارد منطقه می‌سازد (کریمی، ۱۳۶۶: ۲۷).

کانالیزاسیون هوای سرد در امتداد چاله‌ی گاوخونی و نشست هوای سرد، وارونگی دمای هوا در دوره‌ی سرد سال را پدید می‌آورد (جعفرپور، ۱۳۶۴: ۵۱). طاوسی (۱۳۸۰)، ضریب همبستگی میانگین دمای سالانه هوا با عامل ارتفاع را در چاله‌ی گاوخونی "۰/۹۰۸-" و ضریب همبستگی میانگین بیشینه دمای روزانه گرم‌ترین ماه سال (ژوئیه) "۰/۹۶۹-"، در سطح معناداری ۹۹ درصد به دست آورده است در صورتی که ضریب همبستگی میانگین دمای روزانه سردترین ماه سال (ژانویه) با ارتفاع محل، "۰/۵۶۸-" برآورد شده است که معناداری آماری ندارد. افزایش ضریب بری منطقه از غرب به شرق و در نتیجه افزایش اختلاف سالانه‌ی دما به همراه کاهش بارندگی و افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل سبب شده تا اقلیم "خشک" قسمت مرتفع‌تر غربی به اقلیم "فراخشک" قسمت پست‌تر شرقی تبدیل شود (طاوسی، ۱۳۸۲: ۶۳). به طور کلی پدیده‌ی چپ شدن هوای سرد در نواحی پست‌تر و تشکیل واژگونی دمای هوا از ویژگی‌های آب و هوایی چاله‌ی گاوخونی می‌باشد. تغییر عناصر آب و هوایی از قسمت‌های بلندتر به سمت نواحی پست‌تر چاله‌ی گاوخونی به شدت از این پدیده تأثیر می‌پذیرد. چنانکه افزایش

ل: دوره‌ی برگشت n روزه هر یک از این دوره‌ها در حالت‌های دوگانه از رابطه زیر به دست آمد:

رابطه ۱۳:

$$T_n = \frac{P_{01} + P_{10}}{N P_{01} + P_{10} (1 - P_{10})^{n-1}}$$

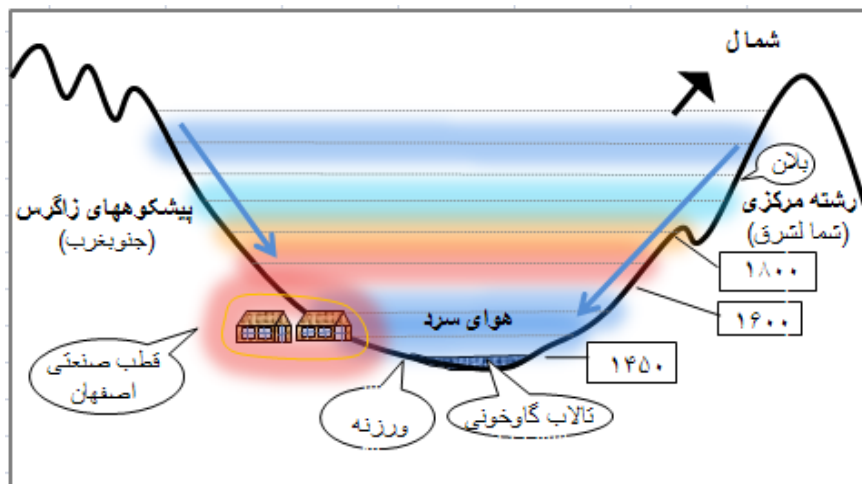
(حجازی زاده و شیرخانی، ۱۳۸۴: ۱۹).

ویژگی‌های آب و هوایی چاله‌ی گاوخونی

تیپ اقلیمی چاله‌ی گاوخونی در گروه بیابان‌های عرض‌های میانه (روش میلر) با تابستان‌های گرم و خشک (روش کوپن) و کمبود آب در تمام فصول (روش تورنت وایت) قرار می‌گیرد. میانگین بارندگی منطقه با استفاده از روش "تیسسن" $105/7$ میلی‌متر و میانه بارندگی با استفاده از معادله رگرسیون میانه ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی، $104/4$ میلی‌متر برآورد شده است (طاوسی، ۱۳۸۰: ۹۲). وضعیت توپوگرافی چاله‌ی گاوخونی سبب شده است تا نسبت به کوه‌های همجوار، طیّ شب به‌ویژه در دوره‌ی سرد سال، سردتر باشد ولی در طول روز و به خصوص در دوره‌ی گرم سال از دمای بیشتری برخوردار باشد. در نتیجه تغییرات دمایی چاله هم در دوره‌ی سرد سال و هم در دوره‌ی گرم سال شدیدتر از قسمت‌های بلندتر پیرامونی باشد (جدول ۲). افت شدید دمای شبانه مربوط به فروریزش هوای سرد از بالای ارتفاعات مجاور است (عشقی و قنبرزاده، ۱۳۸۲: ۱۶۳). هوای سردی که به دلیل تفاوت تابش زمینی شبانه در بلندی‌های پیرامونی شکل می‌گیرد به تدریج به قسمت‌های پست‌تر چاله جریان یافته و در کف چاله روی هم

شمار روزهای یخبندان و افزایش احتمال یخبندان پاییزه و بهاره (جدول ۳) و همچنین معنادار نبودن رابطه بین دمای هوا و ارتفاع نیز می‌تواند متأثر از این فرایند باشد (طاوسی، ۱۳۸۰: ۲۶۹).

اختلاف فصلی و شبانه‌روزی دمای هوا که از دماهای بالاتر تابستانی و دماهای پایین‌تر زمستانی و شبانه دشتهای کم‌ارتفاع‌تر ناشی می‌گردد، موجب افزایش ضریب خشکی هوا به سمت چاله شده است. افزایش



شکل ۱: انباشت هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی

ترسیم: طاوسی، ۱۳۸۰

جدول ۲: نرمال دما و دامنه‌ی تغییرات روزانه‌ی آن در هر ماه به سلسیوس

پارامتر	میانگین دمای روزانه هوا				میانگین دامنه تغییرات روزانه دما					
	ورزنه	شرق اصفهان	اصفهان	پالایشگاه	بلان	ورزنه	شرق اصفهان	اصفهان	پالایشگاه	بلان
ژانویه	۳	۱/۳	۲/۹	۳/۸	۲/۵	۱۴/۵	۱۴/۵	۱۱/۷	۱۰/۵	۹/۲
فوریه	۶/۳	۴/۱	۵/۷	۶/۳	۲/۷	۱۵/۷	۱۶/۲	۱۲/۸	۱۱/۹	۹/۵
مارس	۱۱/۴	۸/۸	۱۰/۳	۱۰/۲	۵/۹	۱۵/۸	۱۶	۱۲/۹	۱۱/۹	۹/۹
آوریل	۱۷	۱۵/۲	۱۵/۹	۱۷	۱۲/۱	۱۶/۵	۱۷/۱	۱۳/۴	۱۲/۸	۱۰/۵
می	۲۲/۷	۲۰/۴	۲۱/۲	۲۲/۶	۱۷/۷	۱۷/۷	۱۸/۳	۱۴/۵	۱۳/۱	۱۲
ژوئن	۲۸/۶	۲۶/۱	۲۶/۸	۲۸/۶	۲۳/۸	۱۸/۸	۲۰	۱۵/۸	۱۳/۷	۱۳/۳
ژوئیه	۳۱/۴	۲۸/۷	۲۹/۲	۳۰/۷	۲۶/۳	۱۷/۵	۱۹/۵	۱۵/۷	۱۳/۵	۱۳/۸
اوت	۲۹/۷	۲۷/۱	۲۷/۷	۲۹/۵	۲۵/۲	۱۸/۲	۲۰/۷	۱۶/۵	۱۴/۱	۱۳/۳
سپتامبر	۲۴/۷	۲۲/۳	۲۳/۵	۲۵/۳	۲۱/۸	۱۹/۸	۲۱/۴	۱۷/۱	۱۴/۵	۱۳/۳
اکتبر	۱۷/۹	۱۵/۴	۱۶/۸	۱۸/۲	۱۴/۷	۱۹/۶	۱۹/۵	۱۶/۱	۱۴	۱۱/۴
نوامبر	۱۰/۹	۸/۳	۹/۷	۱۱/۱	۸	۱۸	۱۷/۱	۱۳/۸	۱۲	۱۰/۳
دسامبر	۵/۱	۳/۳	۴/۴	۵/۸	۳/۸	۱۵/۶	۱۴/۸	۱۱/۹	۱۰/۵	۹/۵
سالانه	۱۷/۴	۱۵/۱	۱۶/۲	۱۷/۴	۱۳/۷	۱۷/۳	۱۸	۱۴/۴	۱۲/۷	۱۱/۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۳: نرمال فراوانی روزهای با دمای (۴- و کمتر) و یخبندان ماهانه

تعداد روزهای یخبندان				تعداد روزهای با دمای ۴- و پایین تر				پارامتر	
بلان	پالایشگاه	اصفهان	ورزنه	بلان	پالایشگاه	اصفهان	شرق اصفهان	ورزنه	برج
۱	۰	۰/۰۳	۱	۰	۰	۰	۰/۱	۰	اکتبر
۹	۲	۵	۱۵	۲	۰	۱	۴/۲	۵	نوامبر
۲۰	۱۴	۲۰	۲۶	۹	۳	۶/۲	۱۴/۲	۱۷	دسامبر
۲۳	۲۲	۲۴	۲۷	۱۳	۷	۱۱/۲	۲۰/۸	۲۱	ژانویه
۲۲	۱۵	۱۵	۲۲	۱۰	۳	۴/۸	۱۴/۵	۱۲	فوریه
۱۴	۴	۴	۱۰	۳	۰	۰/۶	۴/۳	۲	مارس
۲	۰	۰/۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	آوریل
۹۱	۵۷	۶۹/۱	۱۰۲	۳۷	۱۳	۲۳/۸	۵۸/۱	۵۷	سالانه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

درصد می‌باشد و به آن معناست که مثلاً در فصل پاییز در چاله‌ی گاوخونی حدود ۶۸/۵ درصد احتمال وقوع دو روز پی در پی نشست هوای سرد وجود دارد.

جدول ۴: درصد فراوانی روزهای اینورژنی و روزهای عادی

روزهای عادی	روزهای اینورژنی	فصول
۲۶/۲	۷۳/۸	زمستان
۲۸/۱	۷۱/۹	بهار
۳۸/۹	۶۱/۱	تابستان
۲۰/۵	۷۹/۵	پاییز
۲۸/۵	۷۱/۵	سالانه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

یافته‌ها

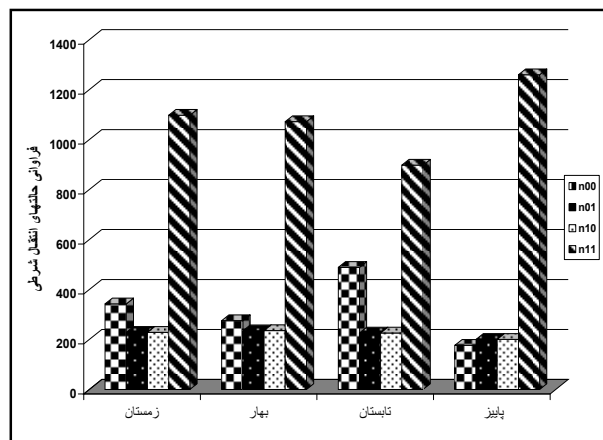
در این پژوهش برای رفتارسنجی رخداد روزهای اینورژنی چاله‌ی گاوخونی نخست فراوانی روزهای همراه با نشست هوای سرد و روزهای عادی محاسبه گردید (جدول ۴). نتایج نشان می‌دهد تعداد اینورژن‌های رخ داده در فصل پاییز بیشتر از فصول دیگر است.

شکل ۲ نشان می‌دهد که تعداد حالت n_{11} شرطی در همه‌ی فصول بیشتر از سایر حالت‌های شرطی است. همان‌طور که از جدول ۵ برمی‌آید درصد فراوانی حالت انتقال شرطی n_{11} برای فصل زمستان ۶۱ درصد، بهار حدود ۶۰ درصد، تابستان ۴۸/۸ و فصل پاییز ۶۸/۵

جدول ۵: فراوانی و درصد فراوانی حالت‌های انتقال شرطی دما

فصول	n_{00}	n_{00} %	n_{01}	n_{01} %	n_{10}	n_{10} %	n_{11}	n_{11} %
زمستان	۳۴۳	۱۳/۵	۲۲۹	۱۲/۷	۲۲۹	۱۲/۷	۱۰۹۸	۶۱/۰
بهار	۲۷۶	۱۵/۲	۲۳۵	۱۲/۹	۲۳۶	۱۳/۰	۱۰۷۲	۵۸/۹
تابستان	۴۸۹	۲۶/۶	۲۲۶	۱۲/۳	۲۲۶	۱۳/۳	۸۹۸	۴۸/۸
پاییز	۱۷۷	۹/۶	۲۰۱	۱۰/۹	۲۰۱	۱۰/۹	۱۲۶۰	۶۸/۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰



شکل ۲: نمودار فراوانی حالت‌های انتقال شرطی دما
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

بیشترین احتمال مربوط به فصل زمستان و کمترین آن مربوط به فصل پاییز است.

جدول ۷: محاسبه احتمال اقلیمی دوره‌های اینورژن و روزهای عادی

فصول	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
T_1	۰/۵	۰/۶۴	۰/۶۰	۰/۷۴
T_0	۰/۵	۰/۳۶	۰/۴۰	۰/۲۶

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

محاسبه‌ی ضریب خود همبستگی زمانی یا پارامتر تداوم بیانگر آن است که پارامتر تداوم (ضریب خود همبستگی) در فصل تابستان دارای مقدار حداکثر (۰/۴۹) بوده که نشان‌دهنده‌ی احتمال بیشتر وقوع حالت P_{00} می‌باشد. فصل پاییز با ضریب تداوم ۰/۳۴ کمترین مقدار R_1 را داشته یعنی احتمال وقوع P_{00} دارای تداوم کمتر می‌باشد. ضریب برای فصول زمستان و بهار به ترتیب ۰/۴۳ و ۰/۳۷ می‌باشد. در جدول ۸ نیز میزان انتظار وقوع حالت‌های E_1 و E_0 به دست آمده است. فصل پاییز با ۷/۶ روز بیشترین امید ریاضی روزهای اینورژنی و کمترین امید ریاضی روزهای اینورژنی در فصل تابستان با ۵ روز می‌باشد.

بالاترین احتمال وقوع حالت P_{11} مربوط به فصل پاییز است و کمترین آن مربوط به فصل بهار می‌باشد. بالاترین احتمال وقوع حالت P_{00} مربوط به فصل تابستان و کمترین آن متعلق به فصل پاییز می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۶: مقدار احتمال حالت‌های انتقال شرطی دما

فصول	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}
زمستان	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۱۷	۰/۸۳
بهار	۰/۵۵	۰/۴۵	۰/۱۸	۰/۸۲
تابستان	۰/۶۹	۰/۳۱	۰/۲۰	۰/۸۰
پاییز	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۱۳	۰/۸۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

با توجه به جدول ۷ می‌توان همسویی احتمال حالت‌های انتقال شرطی دما و احتمال اقلیمی چاله‌ی گاوخونی را مشاهده کرد. همانطور که جدول نشان می‌دهد فصل زمستان کمترین احتمال روزهای انباشت هوای سرد در چاله را همراهی کرده است و بیشترین احتمال آن مربوط به فصل پاییز می‌باشد. در مورد روزهای عادی وضعیت به گونه‌ای دیگر است بطوری‌که

دوره‌های اینورژنی و روزهای عادی به‌دست می‌آید. فصل پاییز با ۹/۴ روز طولانی‌ترین سیکل هوایی بوده و فصل بهار با ۷/۷ کوتاه‌ترین سیکل هوایی در چاله‌ی گاوخونی را دارا می‌باشد.

فصل تابستان با ۳/۲ روز بیشترین امید روزهای عادی در چاله‌ی گاوخونی و کمترین مربوط به فصل پاییز با ۱/۸ روز است. سیکل هوایی دوره‌های اینورژنی و روزهای عادی در صورت جمع مقادیر ریاضی

جدول ۸: امید ریاضی دوره‌های اینورژنی و روزهای عادی

فصول	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
E_1	۵/۸	۵/۵	۵	۷/۶
E_0	۲/۵	۲/۲	۳/۲	۱/۸

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۹: فراوانی مشاهده شده و برآورد شده‌ی دوره‌های اینورژنی n روزه

روز	فراوانی مشاهده شده							فراوانی برآورد شده						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۲۲۹	۱۶۲	۱۲۴	۹۴	۷۶	۶۰	۴۸	۲۱۵	۱۲۹	۷۸	۴۷	۲۸	۱۷	۱۰
بهار	۲۳۶	۱۶۴	۱۲۶	۱۰۱	۷۹	۶۲	۴۸	۲۳۴	۱۲۹	۷۱	۳۹	۲۲	۱۲	۷
تابستان	۲۲۶	۱۴۶	۱۰۴	۸۵	۶۷	۵۱	۴۵	۲۲۴	۱۵۵	۱۰۷	۷۴	۵۱	۳۵	۲۵
پاییز	۲۰۱	۱۵۸	۱۲۳	۱۰۴	۸۹	۷۲	۵۹	۱۹۳	۹۱	۴۳	۲۰	۱۰	۵	۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱۰: فراوانی مشاهده شده و برآورد شده‌ی دوره‌های روزهای عادی n روزه

روز	فراوانی مشاهده شده							فراوانی برآورد شده						
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۲۲۹	۱۰۷	۵۲	۳۴	۱۹	۱۲	۸	۲۸۵	۱۷۹	۱۴۸	۱۲۳	۱۰۲	۸۵	۷۰
بهار	۲۳۵	۱۱۶	۵۷	۳۰	۲۲	۱۵	۱۱	۲۳۴	۱۹۲	۱۵۸	۱۲۹	۱۰۶	۸۷	۷۱
تابستان	۲۲۶	۱۳۵	۹۶	۷۰	۵۶	۴۴	۳۱	۲۲۴	۱۷۹	۱۴۳	۱۱۵	۹۲	۷۴	۵۹
پاییز	۲۰۱	۹۱	۳۹	۲۰	۱۲	۶	۴	۱۹۳	۱۶۸	۱۴۶	۱۲۷	۱۱۰	۹۶	۸۴

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱۱: توالی روزهای انباشت هوای سرد

روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۱۳۲۸	۱۰۸۹	۹۳۵	۸۱۰	۷۱۵	۶۳۸	۵۷۷
بهار	۱۳۰۸	۱۰۷۲	۹۰۸	۷۸۲	۶۸۱	۶۰۲	۵۴۰
تابستان	۱۱۲۵	۸۹۸	۷۵۱	۶۴۶	۵۶۰	۴۹۲	۴۴۰
پاییز	۱۴۶۲	۱۲۶۰	۱۱۰۱	۹۷۸	۸۷۴	۷۸۵	۷۱۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱۲: احتمال دوره‌های n روزه انباشت هوای سرد

طول روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵
بهار	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵
تابستان	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۵
پاییز	۰/۱۳	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱۳: احتمال دوره‌های n روزه‌های عادی

طول روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۰/۴	۰/۲	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۱
بهار	۰/۴۵	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱
تابستان	۰/۳۱	۰/۲۱	۰/۱۴	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۳
پاییز	۰/۵۳	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۰۵

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

جدول ۱۴: دوره برگشت دوره‌های n روزه‌های انباشت هوای سرد

طول روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۵/۸	۷/۰	۸/۵	۱۰/۲	۱۲/۳	۱۴/۹	۱۷/۹
بهار	۵/۵	۶/۷	۸/۲	۱۰/۰	۱۲/۲	۱۴/۹	۱۸/۲
تابستان	۵	۶/۲	۷/۸	۹/۷	۱۲/۲	۱۵/۲	۱۹/۰
پاییز	۷/۶	۸/۸	۱۰/۱	۱۱/۶	۱۳/۴	۱۵/۴	۱۷/۷

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

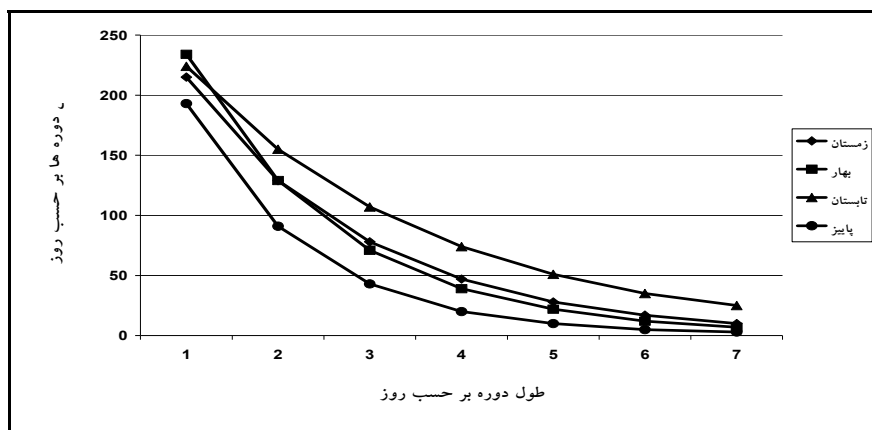
جدول ۱۵: دوره برگشت دوره‌های n روزه‌های عادی

طول روز	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
زمستان	۲/۵	۴/۱	۶/۹	۱۱/۵	۱۹/۲	۳۲/۲	۵۳/۵
بهار	۲/۲	۴/۰	۷/۳	۱۳/۳	۲۴/۲	۴۴/۱	۸۰/۲
تابستان	۳/۲	۴/۶	۶/۷	۹/۸	۱۴/۲	۲۰/۶	۲۹/۸
پاییز	۱/۸	۴/۰	۸/۵	۱۸/۱	۳۸/۶	۸۲/۲	۱۷۵/۰

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

دوره‌ی هفت‌روزه اینورژن به ۱۰ کاهش یافته است. بدین معنی که اینورژن‌های اتفاق افتاده تداوم زیادی ندارند.

شکل ۳ گویای این مطلب است که با افزایش طول دوره‌ها تعداد فراوانی روزهای اینورژنی کاسته می‌شود به عنوان مثال در فصل زمستان فراوانی دوره یک روزه اینورژن ۲۱۵ روز برآورد شده است درحالی‌که فراوانی

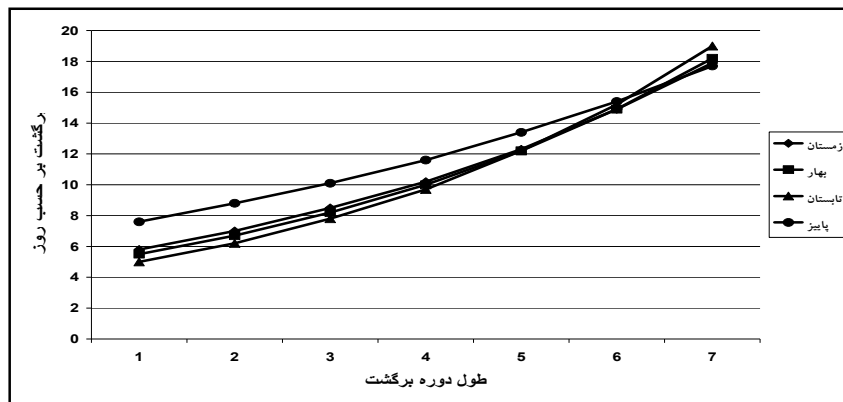


شکل ۳: نمودار فراوانی برآورد شده شمار دوره‌های n روزه انباشت هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

اما دوره‌ی برگشت یک‌دوره‌ی هفت‌روزه اینورژنی ۱۷/۹ روز طول می‌کشد. بدین معنی که هر ۷ روز یکبار ما یک دوره‌ی یک‌روزه اینورژنی را شاهد هستیم. این درحالی است که به ازای هر ۱۷/۹ روز یکبار ما یک دوره‌ی هفت‌روزه اینورژنی را خواهیم داشت.

در شکل ۴ مشاهده می‌شود که به ازای افزایش طول دوره‌ی اینورژنی دوره‌ی برگشت آن نیز افزایش می‌یابد یعنی زمان زیادی طول می‌کشد تا یک‌دوره‌ی هفت‌روزه اینورژنی دوباره اتفاق بیفتد. مثلاً در فصل زمستان دوره‌ی برگشت یک‌دوره‌ی دو‌روزه اینورژنی ۷ روز است



شکل ۴: نمودار دوره برگشت دوره‌های انباشت هوای سرد n روزه

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۰

بین دمای هوا و ارتفاع نیز می‌تواند متأثر از این فرایند باشد.

- از لحاظ فراوانی، روزهای همراه با پدیده‌ی وارونگی دمای هوا، در چاله‌ی گاوخونی سالانه به‌طور میانگین ۷۱/۵ درصد از روزهای سال را در بر می‌گیرد. از میان فصول تعداد روزهای اینورژنی در فصل پاییز بیشتر از سایر فصول رخ می‌دهد. در حالت‌های انتقال شرطی دما، احتمال وقوع حالت P_{11} بیشتر از سایر حالت‌ها (P_{10} , P_{01} , P_{00}) است. بطوری‌که در تمام فصول مقدار آن به بیش از ۸۰ درصد می‌رسد.

- با توجه به نتایج به‌دست آمده از محاسبه‌ی فراوانی حالت‌های انتقال شرطی دما این‌گونه استنباط می‌گردد که با افزایش طول دوره‌ها تعداد فراوانی روزهای اینورژنی کاسته می‌شود به‌عبارت دیگر اینورژن‌های اتفاق افتاده تداوم زیادی ندارند.

نتیجه

در پژوهش حاضر با به‌کارگیری تکنیک زنجیره‌ی مارکف احتمال رخداد روزهای انباشت هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی با استفاده از دو پایگاه هواشناسی اصفهان و ورزنه در سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۶ مورد تحلیل قرار گرفت.

- انطباق زنجیره‌ی مارکف مرتبه‌ی اول دو‌حالته با داده‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون کای دو^۱ با سطح اطمینان ۹۹ درصد تأیید شد.

- وضع توپوگرافی چاله‌ی گاوخونی سبب شده است تا نسبت به کوه‌های پیرامون، در شب به‌ویژه در دوره‌ی سرد سال، سردتر باشد و افت شدید دمای شبانه مربوط به فروریزش هوای سرد از بالای ارتفاعات مجاور است. افزایش تعداد روزهای یخبندان و افزایش احتمال یخبندان پاییزه و بهاره و همچنین معنادار نبودن رابطه

- حجازی زاده، زهرا؛ علیرضا شیرخانی (۱۳۸۴). تحلیل و پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک و تر کوتاه‌مدت در استان خراسان، پژوهش‌های جغرافیایی. ۵۲.

- حقیقت‌جو، پرویز؛ زمان شاه‌محمدی (۱۳۸۱). بررسی احتمال تواتر روزهای بارانی و خشک مناطق خرمدره و زشک"، سمینار احتمال و فرایندهای تصادفی. دانشگاه اصفهان.

- دشتکیان، کاظم؛ محمدعلی دهقانی (۱۳۸۶). بررسی دمای سطح زمین در ارتباط با پوشش گیاهی و توسعه شهری با استفاده از سنجش از دور و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در مناطق بیابانی، مطالعه‌ی موردی منطقه یزد-اشکذر. منابع طبیعی. ۷۷.

- دل‌آرا، قدیر (۱۳۸۷). تحلیل فضایی بارش فصول مرطوب سال با استفاده از مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی استان اردبیل. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

- رضیعی، طیب؛ پیمان دانش‌کارآراسته؛ روح‌انگیز اختری؛ بهرام ثقفیان (۱۳۸۶). بررسی خشکسالی‌های هواشناسی و اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و نمایه مارکف، تحقیقات منابع آب ایران. شماره ۵۲.

- طاوسی، تقی (۱۳۸۰). تحلیل علل هیدروکلیماتولوژیکی بیابانزایی (مطالعه موردی: حاشیه چاله گاوخونی)، رساله دکتری جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی. دانشگاه تربیت مدرس. دانشکده علوم انسانی.

- طاوسی، تقی (۱۳۸۲). شناخت فرآیندهای بیابان‌زایی در اکوسیستم خشک چاله‌ی گاوخونی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۶۸.

- طاوسی، تقی؛ محمود خسروی؛ خالد قادری‌زه (۱۳۸۹). بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه‌مدت ایران‌شهر با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف در دوره‌ی آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹، مجله علوم محیطی. سال ۷. شماره ۴.

- رابطه‌ی رگرسیونی برقرار شده میان مقادیر مشاهده شده و برآورد شده روزهای اینورژنی چاله‌ی گاوخونی نشان داد که دقت مورد نظر برای تمام فصول بالاتر از ۹۹ درصد است که نشان‌دهنده‌ی دقت بالای این روش در تعیین احتمال وقوع روزهای انباشت هوای سرد در چاله‌ی گاوخونی است.

- پارامتر تداوم (ضریب خودهمبستگی) در فصل تابستان دارای مقدار حداکثر بوده که نشان‌دهنده‌ی احتمال بیشتر وقوع حالت P_{00} می‌باشد. حداقل مقدار آن مربوط به فصل پاییز است که به معنای تداوم کمتر حالت P_{00} در این فصل می‌باشد.

- بالاترین احتمال وقوع حالت P_{11} مربوط به فصل پاییز است و کمترین آن مربوط به فصل بهار می‌باشد. همچنین بالاترین احتمال وقوع حالت P_{00} مربوط به فصل تابستان و کمترین آن متعلق به فصل پاییز می‌باشد.

- برآوردهای مربوط به دوره‌ی برگشت دوره‌های n روزه انباشت هوای سرد نشان داد که فراوانی رخداد آن‌ها از دوره‌ی سرد به‌سوی دوره‌ی گرم افزایشی است.

منابع

- امیری، رضوان (۱۳۸۶). تحلیل و پیش‌بینی بارش در شهرستان خرم‌آباد با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه تربیت معلم تهران.

- بهبودیان، جواد (۱۳۸۵). آمار و احتمال مقدماتی، مشهد. انتشارات دانشگاه امام رضا.

- جعفرپور، ابراهیم (۱۳۶۴). مبانی اقلیم‌شناسی، انتشارات سمت.

- جهانبخش، سعید؛ علی‌اکبر باباپورباصر (۱۳۸۳). بررسی و پیش‌بینی متوسط دمای ماهانه تبریز با استفاده از مدل آریمای (ARIMA)، تحقیقات جغرافیایی. ۳.

- مشکانی، محمدرضا (۱۳۶۳). بررسی احتمال تواتر روزهای خشک بابلسر از دیدگاه تجربی، مجله علوم آب. شماره ۱۲.
- مؤمنی، منصور (۱۳۷۴). پژوهش عملیاتی (مدل‌های احتمالی)، انتشارات مهر.
- نوری، حمید؛ علیرضا ایلدرمی؛ بختیار فتاحی (۱۳۸۵). بررسی احتمالات خشکسالی و ترسالی استان همدان با استفاده از زنجیره‌ی مارکف، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. شهرکرد. ۱۴ و ۱۵.
- هاشمی فریدون (۱۳۷۴). تجزیه و تحلیل استاتیکی از بارندگی سالانه، ماهانه، و روزانه تهران. تحقیقات علمی. هواشناسی کل کشور.
- Ana A. Paulo. Luis S. Pereira (2007). Prediction of SPI Drought Class Transitions Using Markov Chain, Water Resour. Manage. Vol 21.
- Feyerherm. A. M, dean Bark. L (1967). Goodness of a Markov Chain Model for Sequences of Wet and Dry Days, Journal of Applied Meteorology, Vol 6.
- Haggstrom, Olle (2002). Finite Markov Chains and Algorithmic Applications, Cambridge University Press, U.S.A.
- Horvath. Laszlo Csurgai, Bito. Janos (2007). Rain Attenuation Time Series Synthesis with Combined Markov Models for Microwave Terrestrial Links ", International Journal of Mobile Network Design and Innovation, (2007) Vol 2.
- Martin vide, J., Gomez, L (1998). Regionalization of peninsular Spain based on the length of dry spells, International Journal of climatology. 19.
- Mehrotra, R. Sharma. A (2007). A stochastic daily rainfall occurrence generator with higher time scale dependence". Geophysical Research Abstracts, Vol. 9.
- Stem. R. D (1980). The calculation of Probability Distribution for Model Precipitation, Archive for Meteorology Geophyses and Bioclimatology, Vol 28.
- Subrmanian. A.R. Sanjeera Rao (1987). Dry spell Sequencess in South Coastall Andhra Mausum, New Dehli, 1989, 40-1, 51-60. temperature anomalies". Journal of Climate, N,13.
- عساکره، حسین؛ فرشته مازینی (۱۳۸۹). بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف، فصلنامه جغرافیا و توسعه. شماره ۱۷.
- عشقی، ابوالفضل؛ هادی قنبرزاده (۱۳۸۲). مبانی میکروکلیماتولوژی و آب و هوای محلی، مشهد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد.
- علیجانی، بهلول؛ زین‌العابدین جعفرپور؛ حیدر قادری (۱۳۸۴). تحلیل و پیش‌بینی بارش منطقه لارستان با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف، سرزمین ۷.
- علیجانی، بهلول؛ محمدرضا کاویانی (۱۳۷۱). مبانی آب و هواشناسی، تهران، انتشارات سمت.
- عزیزاده، امین (۱۳۸۷). هیدرولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- عزیزاده، امین؛ سهیلا جوانمرد؛ شادی آشگرطوسی (۱۳۸۲). تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی استان خراسان، تحقیقات جغرافیایی. ۱۸.
- فولادوند، حمیدرضا (۱۳۸۵). پیش‌بینی بارندگی روزانه و سالانه و تعداد روزهای بارانی در سال با استفاده از زنجیره‌ی مارکف در یک منطقه نیمه‌خشک، مجله علوم کشاورزی.
- قادرمرزی، حسن (۱۳۸۰). تحلیل و پیش‌بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- قادری‌زه، خالد (۱۳۸۷). بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه‌مدت ایران‌شهر با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکف در دوره‌ی آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی گرایش اقلیم‌شناسی. دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۸۳). بررسی روند دمای ایران در نیم سده‌ی گذشته، جغرافیا و توسعه. ۳.