دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هفدهم، شماره‌ی ۵۸
تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۴۸-۱۳۱

*تقی طاوسی[۱]
الله بخش ریگی[۲]

تحلیل تداوم روزهای توفانی شهر زاهدان با استفاده از مدل زنجیره مارکف

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۲/۲۰

چکیده

هدف از نگارش این مقاله، بررسی تداوم روزهای توفانی شهر زاهدان بر پایه زنجیره مارکف است. به‌منظور شناسایی روزهای توفانی، داده‌های روزانه دید افقی و سرعت باد ایستگاه هواشناسی زاهدان در دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳٦۲) فراهم شد. سپس روزهایی که سرعت باد از آستانه ۱۵ متر در ثانیه فراتر رفته و همچنین میدان دید به کم‌تر از ۱۰۰۰ متر کاهش یافته بود به‌عنوان روز توفانی استخراج شدند. بر پایه مدل مارکف، ماتریس‌های فراوانی روزهای توفانی دیدبانی شده و ماتریس‌های احتمال انتقال ماهانه، فصلی و سالانه حساب شد. سپس وابستگی روزهای توفانی و غیرتوفانی به یکدیگر، به همراه ایستایی و همگنی آن‌ها آزمون شد و فراوانی روزهای توفانی مورد انتظار، طول دوره روزهای توفانی و غیر توفانی و توالی دوره‌های توفانی (n) روزه محاسبه شد. داده‌های دیده‌بانی شده نشان داد که سال ۱۳۸٦ خورشیدی با ۷۸ روز توفانی و دو سال ۱۳۷۹ و ۱۳۷۲ با ٤ روز توفانی، به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین روزهای توفانی دوره آماری را داشتند. در بررسی فصلی فراوانی روزهای توفانی مشخص شد که بیشینه روزهای توفانی در زمستان (۳۰٦ روز) و کمینه آن در پاییز (۵۷ روز) رخ داده است. اسفند نیز با ۱۲۳ روز توفانی و آبان با ۸ روز به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین روزهای توفانی را داشتند. بررسی دوره‌های توفانی یک تا هفت روزه نشان داد که

*۱- گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول). E-mail: t.tavousi@gep.usb.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بیشینه تداوم دوره‌های توفانی در اواخر زمستان و اوایل بهار و کمینه آن در اواسط پاییز رخ می‌دهد. بیشینه سرعت باد در زاهدان در سال ۱۳۸۱ با ٤٠ متر بر ثانیه در فصل بهار رسیده است. میانگین روزهای توفانی ٢٤/٤ و با انحراف معیار ۱۹/۳ برآورد شده است.

کلید واژه‌ها: زاهدان، روز توفانی، مدل زنجیره مارکف.

مقدمه

رفتارشناسی باد به‌عنوان یک پارامتر آب‌وهوایی در هر محل، اهمیتی بنیادی در دانش‌های مربوط به انرژی باد، معماری، شهرسازی، راه و ترابری، کشاورزی و مخاطرات محیطی دارد. اگر چه به‌کارگیری انرژی پاک و تمام‌نشدنی باد برای انسان سودمند است ولی وزش تندبادها و توفان‌ها می‌تواند آسیب‌های جانی و مالی در پی داشته باشد. برای بهره‌مند شدن از انرژی پاک باد و دوری از آسیب تندبادها، شناخت ویژگی‌های آماری، تغییرات شبانه‌روزی، تداوم و پیش‌بینی سرعت و جهت باد ضرورت دارد (قهرمان و قره‌خانی، ۱۳۸۹: ۳۱).

زنجیره مارکف یکی از روش‌های آماری است که بر پایه داده‌های دیده‌بانی شده می‌تواند احتمال تداوم تندبادها را در چندین روز پیاپی پیش‌بینی کند. زنجیره مارکف، روش‌های ساده ریاضی حل احتمالات مربوط به فرآیندهای وابسته را بسیار آسان نموده است. در این مدل احتمال رخداد یک حالت اتمسفری در روزهای آینده (t + n) بر اساس ویژگی آن در روز جاری (t) پیش‌بینی می‌شود (طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین می‌توان از مدل زنجیره مارکف برای تحلیل رفتار پارامترهای آب‌وهوایی بهره برد. چنان که برگر و گوسنس (۱۹۸۳) تداوم دوره‌های خشک و تر کشور بلغارستان را بر پایه مدل زنجیره مارکف تحلیل کردند (برگر و گوسن[3]، ۱۹۸۳). مارتین و گومز[4] (۱۹۹۹) با استفاده از احتمال مارکف، طول دوره‌های خشک و تر اسپانیا را پهنه‌بندی کردند. آلسور[5] و همکاران (٢٠٠٤) سری‌های زمانی بارندگی را با کمک مدل دو حالته زنجیره مارکف مورد بررسی قرار دادند و توانایی این مدل در بر آورد دوره‌های خشک و تر کوتاه‌مدت را با توجه به ویژگی‌های بارش در مکان خاص اثبات کردند. سلش و کامبرلین[6] (٢٠٠٦) دوره‌های خشک کشور اتیوپی را ارزیابی نمودند. پائولو و پریرا[7] (۲۰۰۷) با استفاده از مدل مارکوف، شاخص (SPI) را جهت پایش خشکسالی در جنوب پرتقال بررسی کردند. آنا و پائولو[8] (۲۰۰۷) بر پایه داده‌های یک دوره آماری ٦٧ ساله و با استفاده از مدل زنجیره مارکف به پیش‌بینی انتقال کلاس شاخص (SPI)

3- Berger and Goossens
4- Martin and Gomez
5- Allasseur
6- Selesh and Camberlin
7- Paulo and Pereira
8- Ana and Paulo

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

خشکسالی‌های جنوب پرتغال پرداختند. فاوست و ولشاو[9] (۲۰۰۶) بر پایه داده‌های ۱۰ ساله (۱۹۸٤-۱۹۷۵) هواشناسی انگلستان وزش توفان و تند بادهای لحظه‌ای را با استفاده از مدل زنجیره مارکف انجام دادند.

در ایران نیز دوره‌های توفانی کوتاه‌مدت سبزوار با استفاده از مدل مارکف تحلیل شده و احتمال رخداد آن پیش‌بینی شده است (عباس‌نیا و همکاران، ۱۳۹٤). برآورد احتمال رخداد امواج گرمایی در اهواز (الماسی و همکاران، ۱۳۹۵) و کرمان (یزدان‌پناه و علیزاده، ۱۳۹۰) نیز توانایی مدل مارکف را در پیش‌بینی پارامترهای آب‌وهوایی نشان داده است. همچنین، پیش‌بینی زمانی و مکانی خشکسالی استان گلستان با استفاده از ماتریس احتمال انتقال توسط عیوضی و همکاران (۱۳۹۱) مطالعه شده است. بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه‌مدت ایرانشهر در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹ پژوهش دیگری است که با استفاده از مدل مارکف به انجام رسیده است و توانایی این مدل در بر آورد دوره‌های خشک و تر کوتاه‌مدت با توجه به ویژگی‌های بارش این منطقه به اثبات رسیده است (طاوسی و همکاران، ۱۳۸۹). عساکره و مازینی (۱۳۸۹) احتمال رخداد روزهای خشک استان گلستان را با مدل دو حالته مارکف بررسی نمودند. مدل مارکف برای بررسی احتمال رخداد خشکسالی و ترسالی‌های قزوین (یوسفی و همکاران، ۱۳۸٦) و نیز تحلیل و پیش‌بینی دوره‌های خشک کوتاه‌مدت استان خراسان (حجازی زاده و شیرخانی، ۱۳۸٤) (۱۳۸٤) به کار گرفته شده است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۹) از این مدل برای پیش‌بینی استمرار دوره‌های چند روزه یخبندان استفاده بردند. همچنین از مدل زنجیره مارکف برای بررسی روزهای بارانی در استان اردبیل (سلیقه و همکاران، ۱۳۹۰)، مناطق جنوب ایران (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰) و شهر زنجان (عساکره، ۱۳۹۲) بهره گرفته شده است. بررسی مکانی، زمانی ماتریس‌های انتقال ماهانه زنجیره مارکف برای انتخاب زمان مناسب کشت دیم در استان فارس نیز به انجام رسیده است (فولادوند، ۱۳۹۱).

هدف این پژوهش، بررسی تداوم روزهای توفانی شهر زاهدان بر پایه زنجیره مارکف است. شهر زاهدان مرکز استان سیستان و بلوچستان است و در منطقه خشک و کم باران جنوب خاور کشور ایران جای دارد. داده‌های ثبت شده سرعت باد (۱۳۹۰-۱۳٦۲) در ایستگاه هواشناسی فرودگاه بین‌المللی زاهدان که در ارتفاع ۱۳۷۰ متری از سطح دریا و در عرض جغرافیایی ۲۸: ۲۹ عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۳: ٦۰ خاوری جای گرفته است، گویای ضرورت شناخت بادهای شدید و توفانی این شهر است. به هر روی، پراکنش روزهای توفانی زاهدان در همه ماه‌های سال ضرورت مطالعه احتمال رخداد آن‌ها را دو چندان می‌سازد.

مواد و روش‌ها

مدل زنجیره مارکف از جمله فرآیندهای تصادفی است که برای شبیه‌سازی سری‌های زمانی گسسته کاربرد گسترده‌ای دارد. وابستگی متغیرهای تصادفی به زمان در سری‌های زمانی از طریق ضریب خود همبستگی و یا ماتریس‌های

9- Fawcett and Walshaw

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

احتمال انتقال بیان می‌شود. ماتریس احتمال انتقال، ماتریس مربعی است که بسته به تعداد حالت‌های آن (S)، تعداد (M) ترکیب ممکن از احتمال انتقال از حالتی مانند (i) به حالت دیگر (j) را در بر می‌گیرد. بنابراین احتمال انتقال (P_{ij}) بیانگر احتمال قرار گرفتن سیستم در یکی از حالت‌های ممکن در گام زمانی آینده (t + n) است.

تعداد حالت در زنجیره مارکف می‌تواند ۲ و یا بیش‌تر باشد (رضیئی و همکاران، ۱۳۸٦: ۲۹). زنجیره مارکف دو و سه حالته در اقلیم‌شناسی بیش‌ترین کاربرد را دارد (ویلکز[10]، ۱۹۹۵). در زنجیره مارکف، گام زمانی (n =۱, ۲, ۳,...) نیز در تعیین شمار ماتریس‌های احتمال انتقال نقش دارند.

رابطه (۱) $$M = S^{n+1}$$

در این پژوهش ($S = 0, 1$) فرآیندی تصادفی است که در آن (X_t) می‌تواند هر یک از دو حالت (۱ و ۰) را داشته باشد. برای نمونه، اگر در این فرآیند اگر ($X_t = i$) باشد، گویای حالت (i) در زمان (t) خواهد بود.
مدل زنجیره مارکف مرتبه اول، اصلی‌ترین شکل زنجیره مارکف به شمار می‌رود (رضیئی و همکاران، ۱۳۸٦: ۸۲). زنجیره مارکف مرتبه اول به یک سری زمانی گسسته گفته می‌شود که در آن، رفتار سری زمانی در گام زمانی آینده تنها به حال بستگی دارد و مستقل از شرایط اقلیمی روزهای گذشته است (ویلکز، ۱۹۹۵).

رابطه (۲) $$P\left\{X_{t+1}\middle|X_t,\ X_{t-1,}\ X_{t-2,}\ \dots,\ X_{t-n}\right\} = P\{X_{t+1} = j|X_t = i\} = P_{ij}$$

از آنجایی که (P) نشانه ماتریس احتمالی یک گامی (P_{ij}) و (F) ماتریس فراوانی انتقال (F_{ij}) بین دو حالت پیاپی رخداد «روزهای توفانی» با کد (۱) و «روزهای غیرتوفانی» با کد (۰) است، پس ماتریس احتمال انتقال زنجیره مارکف دو حالته مرتبه اول بدین صورت خواهد بود (مون[11] و همکاران، ۱۹۹٤):

جدول ۱- ماتریس فراوانی انتقال و ماتریس احتمال انتقال

t +1 / t	0	1
0	P_{00}	P_{01}
	F_{00}	F_{00}
1	P_{10}	P_{11}
	F_{00}	F_{00}

10- Wilks
11- Moon

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

به‌منظور شناسایی دوره‌های کوتاه‌مدت وزش تندبادها و تحلیل تداوم روزهای توفانی شهر زاهدان، داده‌های روزانه دید افقی و سرعت باد ایستگاه هواشناسی زاهدان در دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳٦۲) فراهم شد. بر پایه دستورالعمل سازمان جهانی هواشناسی که سرعت پایه توفان (W_0) را ۱۵ متر در ثانیه بیان می‌کند ($W_0 = 15$) و بر اساس تقسیم‌بندی شایو و دونگ (۲۰۰٦)، روزهایی که طی هشت بار دیدبانی در شبانه‌روز دست کم یک‌بار دید افقی کم‌تر از ۱۰۰۰ متر بوده و بیشینه سرعت باد از آستانه ۱۵ متر در ثانیه فراتر رفته به‌عنوان روز توفانی تعیین شدند و کد (۱) گرفتند (رابطه ۳) و به روزهایی که بیشینه سرعت باد کم‌تر از این آستانه بود کد (۰) داده شد (رابطه ٤).

$$WD=1|Wi_Max\geq W_0$$ رابطه (۳)

$$NWD=0|Wi_Max<W_0$$ رابطه (٤)

برای پیش‌بینی دوره‌های توفانی کوتاه‌مدت در مدل دو حالته مرتبه اول زنجیره مارکف، نخست این مدل بر داده‌های بیشینه روزانه سرعت باد برازش شد و همگنی سری زمانی با روش ران تست[12] درست آزمایی شد. پس از تهیه ماتریس فراوانی انتقال و ماتریس احتمال انتقال، وابستگی روزهای توفانی و غیر توفانی به یکدیگر آزمون شد (رابطه ۵ و ٦). سپس معناداری ضریب همبستگی آن‌ها بر پایه آزمون کای دو[13] در سطح (α =۰/۵) و با درجه آزادی $(S-1)^2$ تعیین شد. ایستایی سری زمانی داده‌ها نیز با رابطه ۷ سنجیده شد. در صورتی که زنجیره مارکف ایستا باشد آماره (β) دارای توزیع کای دو با درجه آزادی [df = (S-1)*(n-1)] است (مون و همکاران، ۱۹۹٤):

$$\alpha = 2\sum_{i,j}^{S} F_{ij}\ \ln(P_{ij} / \sum P)$$ رابطه ۵:

$$\sum P = \sum_{i,j}^{S} F_{ij}\ / \sum_{i,j}^{S} F_{ij}$$ رابطه ٦:

$$\beta = 2\sum_{t}^{t+n} S_{i,j}\ F_{ij}(t) \ln(P_{ij}\ (t)/P_{ij})$$ رابطه ۷:

پس از فراهم نمودن ماتریس فراوانی روزهای توفانی دیده‌بانی شده (F_{ij}) و احتمال انتقال (P_{ij}) برای هر ماه و فصل سال، پارامتر تداوم[14] که بیانگر اندازه خود همبستگی روزهای توفانی با یکدیگر است برای زنجیره مارکف دو حالته در مرتبه‌های یک تا شش حساب شد (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۹: ۷).

12- Run test
13- Chi-square
14- Persistence

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

رابطه (۸) $r_1 = P_{00} - P_{10}$

رابطه (۹) $r_2 = P_{000} - P_{100}$

رابطه (۱۰) $r_3 = P_{0000} - P_{1000}$

رابطه (۱۱) $r_4 = P_{00000} - P_{10000}$

رابطه (۱۲) $r_5 = P_{000000} - P_{100000}$

رابطه (۱۳) $r_6 = P_{0000000} - P_{1000000}$

با مشخص شدن عناصر ماتریس، احتمال انتقال برخی از ویژگی‌های مهم سری زمانی داده‌های دیده‌بانی شده از جمله احتمال انتقالی روزهای توفانی و غیرتوفانی، احتمال اقلیمی روزهای توفانی مورد انتظار، طول دوره‌های توفانی و غیرتوفانی در بازه ماه، فصل و سال به‌دست آمد. برای سهولت در بیان احتمال انتقال ویژگی سری زمانی، برخی از نمادهای جایگزین شدند (جدول ۲).

جدول ۲- ماتریس نمادهای احتمال انتقال زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالته

t+1 / t	0	1	نماد جایگزین شده
0	$1-p$	p	$1 - p = P_{00}$
			$p = P_{01}$
1	q	1 - q	$q = P_{10}$
			$1 - q = P_{11}$

احتمال انتقالی روزهای توفانی (W / N) و غیرتوفانی (C/ N) در هر ماه، از تقسیم روزهای توفانی یا غیرتوفانی هر ماه به کل روزهای آن ماه در دوره آماری به‌دست می‌آید. احتمال اقلیمی مورد انتظار رخداد روزهای توفانی (π_1) که یک احتمال غیرشرطی و ایستا[15] است و روزهای غیرتوفانی (π_0) نیز بیانگر این انتظار است که چند درصد از بازه‌های زمانی مورد مطالعه می‌تواند توفانی و چند درصد غیرتوفانی باشد.

رابطه (۱۴) $\pi_1 = p/(p+q)$

15- Stationary

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

$$\pi_0 = q/(p+q)$$ رابطه (۱۵)

تداوم هر دوره (n) روزه رخداد پیاپی روزهای توفانی $(t \mp n)$، یک توالی نامیده شده است. پس از این‌که میانگین تداوم طول دوره روزهای توفانی (E_1) (رابطه ۱۶) و طول دوره روزهای غیر توفانی (E_0) (رابطه ۱۷) برای هر بازه زمانی مشخص (ماه، فصل یا سال) تعیین شود، می‌توان از مجموع آن‌ها، میانگین چرخه رخداد پیاپی یک دوره توفانی و یک دوره غیر توفانی (E_c) برای هر بازه زمانی تعیین کرد (رابطه ۱۸). طول هر چرخه نشان دهنده مجموع طول یک دوره توفانی و یک دوره غیرتوفانی پیاپی در بازه مشخص است.

$$E_1 = 1/p$$ رابطه (۱۶)

$$E_0 = 1/q$$ رابطه (۱۷)

$$E_c = E_0 + E_1$$ رابطه (۱۸)

از مهم‌ترین ویژگی دیگری که با این روش می‌توان حساب کرد، تعیین میانگین فراوانی رخداد روزهای توفانی (F_1) (رابطه ۱۹) و روزهای غیرتوفانی (F_0) (رابطه ۲۰) در بازه‌های زمانی مشخص (n) روزه است.

$$F_1 = n \times \pi_1$$ رابطه (۱۹)

$$F_0 = n \times \pi_0$$ رابطه (۲۰)

احتمال رخداد چندین روز توفانی پیاپی (PW_{r_n}) که گویای یک توالی (n) روزه هوای توفانی در یک بازه مشخص زمانی (ماه، فصل و ...) است را می‌توان با مدل زنجیره مارکف دو حالته در مرتبه‌های بالاتر حساب کرد.

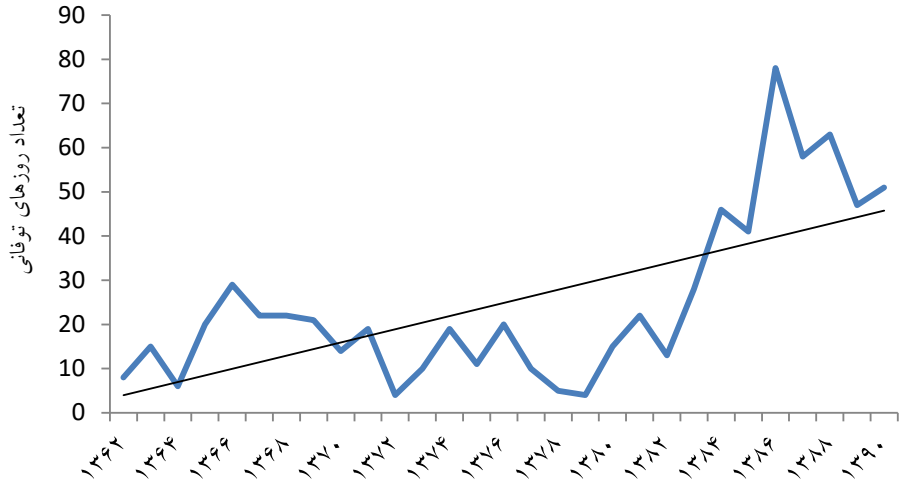
$$PW_{r_n} = q \times (1-q)^{n-1}$$ رابطه (۲۱)

یافته‌ها و بحث

دیده‌بانی و ثبت بیشینه سرعت روزانه باد پایگاه هواشناسی فرودگاه شهر زاهدان در دوره آماری مورد مطالعه که در مجموع به ۱۰۵۹۳ روز بالغ می‌شود، نشان داد که بیشینه سرعت روزانه باد در ۷۰۸ روز از مرز ۱۵ متر در ثانیه (۵٤ کیلومتر در ساعت) فراتر رفته است. به سخن دیگر، میانگین روزهای توفانی در هر سال ۲٤/٤ روز بوده است که

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

نزدیک به ٦/٧ درصد از روزهای سال را در بر گرفته است. سال ١٣٨٦ خورشیدی با داشتن ٧٨ روز توفانی به‌عنوان توفانی‌ترین سال در این دوره آماری بود. روزهای توفانی در آن سال به ٢١/٤ درصد بالغ شده است که نسبت به میانگین دوره آماری بسیار بالاتر بوده است. در عوض سال‌های ١٣٧٢ و ١٣٧٩ هر یک با ٤ روز توفانی توانستند در صد روزهای توفانی سال را به ١/١ درصد کاهش دهند و در ردیف آرام‌ترین سال‌های دوره آماری جای گیرند. با توجه به این‌که میانگین روزهای توفانی در نیمه نخست دوره آماری (١٣٧٦ -١٣٦٢)، ١٦ روز در سال و در نیمه دوم (١٣٩٠-١٣٧٦) به ٣٣/٤ روز افزایش یافته است. به نظر می‌رسد که شمار روزهای توفانی طی سال‌های مورد بررسی رو به افزایش بوده است (شکل ١).



شکل ١: شمار روزهای توفانی زاهدان در دوره (١٣٩٠ - ١٣٦٢)

بررسی پراکندگی روزهای توفانی در طول سال نشان داد که زمستان با داشتن ٣٠٦ روز توفانی (میانگین ١٠/٦) و اسفند با ١٢٣ روز توفانی (میانگین ٤/٢٤)، بیش‌ترین فراوانی رخداد توفان فصلی و ماهانه دارند. در عوض فصل پاییز با ٥٩ روز (میانگین ٢) و آبان با ٨ روز توفانی (میانگین ٠/٢٧ روز)، از کم‌ترین فراوانی رخداد توفان برخوردارند (جدول ٣).

بالاترین سرعت توفان در دوره آماری ٤٠ متر در ثانیه (١٤٤ کیلومتر در ساعت) ثبت شده که در ١٥ فروردین سال ١٣٨١ خورشیدی رخ داده است. میانگین سالانه سرعت تندبادهای زاهدان ١٧/٦ متر در ثانیه (٦٣/٤ کیلومتر در ساعت) است. میانگین سرعت توفان چهار ماه اسفند تا اردیبهشت بالاتر از میانگین سال و در سایر ماه‌ها کم‌تر است (جدول ٤).

جدول ٣- فراوانی و میانگین روزهای توفانی ماهانه زاهدان (١٣٩٠ - ١٣٦٢)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
فراوانی	١١٩	٦٠	٦٣	٥٠	٣٨	١٣	١٣	٨	٣٨	٦١	١٢٢	١٢٣	٧٠٨
میانگین	٤/١	٢/٠٦	٢/٢	١/٧	١/٣	٠/٤٥	٠/٤٥	/٢٧	١/٣١	٢/١	٤/٢	٤/٢٤	٢٤/٢

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ٤- میانگین، میانه و بیشینه سرعت توفان ماهانه (برحسب متر بر ثانیه) در شهر زاهدان (۱۳۹۰-۱۳٦۲)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
میانگین	۱۸/٤	۱۸/۲	۱۷	۱٦/۲	۱٦/۳	۱٦/٤	۱٦/۱	۱٦/۹	۱۷/۳	۱۷/٥	۱۸/۱	۱۷/۹	۱۷/٦
میانه	۱۷	۱۸	۱٦	۱٦	۱٦	۱٦	۱٦	۱٥	۱۷	۱۷	۱۸	۱٦	۱۷
بیشینه	٤۰	۲۷	۳۰	۲۳	۲۰	۲۰	۲۱	۲٤	۲۸	۲٥	۳۲	۳۳	٤۰

احتمال رخداد روزهای توفانی شهر زاهدان در طی دوره آماری مورد بررسی که بر پایه مدل زنجیره مارکف مرتبه اول دو حالته حساب شده، بیانگر تفاوت‌های روشنی است که ماه‌ها و فصل‌های گوناگون سال با یکدیگر دارند. برای نمونه در فروردین، احتمال رخداد دو روز پیاپی غیرتوفانی $(1-p)$، (P_{00}= ۹۲) درصد است. بنابراین احتمال رخداد یک روز توفانی پس از یک روز غیرتوفانی (p) نمی‌تواند بیش از (P_{01}= ۸) درصد باشد. همچنین احتمال رخداد دو روز پیاپی توفانی $(1 - q)$، (P_{11} = ٤۸) درصد است. در این صورت احتمال رخداد یک روز غیرتوفانی پس از یک روز توفانی (q)، (P_{10}= ٥۲) درصد خواهد بود.

ماتریس‌های مرتبه یک زنجیره مارکف که احتمال رویداد دو حالته روزهای توفانی و غیرتوفانی در هر ماه را نشان می‌دهند، بیانگر این است که احتمال رخداد دو روز پیاپی توفانی (P_{11}) از صفر درصد در آبان تا ٤۸ درصد در فروردین متفاوت است. احتمال دو روز غیرتوفانی پی‌درپی (P_{00}) در دامنه کوچک‌تری از ۸۹ درصد در بهمن و اسفند تا ۹۹ درصد در شهریور، مهر و آبان نوسان دارد. احتمال بروز یک روز توفانی پس از یک روز غیرتوفانی (P_{01}) از ۰/۹٥ درصد در آبان تا ۱۱ درصد در بهمن و اسفند متفاوت است. احتمال داشتن یک روز غیرتوفانی به دنبال یک روز توفانی (P_{10}) نیز از ٥۲ درصد در فروردین تا تقریباً ۱۰۰ درصد در آبان حکایت دارد (جدول ٥).

ماتریس‌های چهار فصل سال که گویای این احتمال‌ها در بازه زمانی بزرگ‌تری است، نشان می‌دهد که بروز دو روز پیاپی توفانی (P_{11}) از ۲۷ درصد در پاییز تا ٤۰ درصد در بهار محتمل است. احتمال رخداد دو روز غیرتوفانی به دنبال یکدیگر (P_{00}) از ۹۱ درصد در زمستان تا ۹۸ درصد در پاییز متفاوت است. احتمال وقوع یک روز توفانی پس از یک روز غیرتوفانی (P_{01}) از ۳ درصد در پاییز تا ۹ درصد در زمستان تفاوت داشته است و بروز یک روز غیر توفانی به دنبال یک روز توفانی (P_{10}) نیز از ٥۲ درصد در فروردین تا تقریباً ۱۰۰ درصد در آبان حکایت دارد (جدول ٥).

ماتریس سالانه گویای احتمال رخداد دو روز پیاپی توفانی (P_{11}) ۳٤ درصد، دو روز پی‌درپی غیرتوفانی (P_{00}) ۹٥ درصد، یک روز توفانی پس از یک روز غیرتوفانی (P_{01}) ٥ درصد و یک روز غیرتوفانی به دنبال یک روز توفانی (P_{10}) ٦٦ درصد است (جدول ٥).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۵- ماتریس احتمال مرتبه اول رخداد روزهای توفانی و غیر توفانی زاهدان (۱۳۹۰-۱۳۶۲)

ماه	P_{01} / P_{11}	P_{00} / P_{10}	فصل	P_{01} / P_{11}	P_{00} / P_{10}
فروردین	۰/۰۸	۰/۹۲	بهار	۰/۰۶	۰/۹٤
	۰/٤۸	۰/۵۲			
اردیبهشت	۰/۰٤٦	۰/۹۵٤			
	۰ /۳٤	۰/٦٦		۰/٤۰	۰/٦۰
خرداد	۰/۰۵	۰/۹۵			
	۰/۳۲	۰/٦۸			
تیر	۰/۰٤۲	۰/۹۵۸	تابستان	۰/۰۳	۰/۹۷
	۰/۳	۰/۷			
مرداد	۰/۰۳	۰/۹۷			
	۰/۳۲	۰/٦۸		۰/ ۲۸	۰/۷۲
شهریور	۰/۰۱	۰/۹۹			
	۰/۰۸	۰/۹۲			
مهر	۰/۰۱۵	۰/۹۸۵	پاییز	۰/۰۲	۰/۹۸
	۰/۰۷۷	۰/۹۲۳			
آبان	۰/۰۰۹۵	۰/۹۹			
	۰	۱		۰/۲۷	۰/۷۳
آذر	۰/۰۲۵	۰/۹۷۵			
	۰/۳۹	۰/٦۱			
دی	۰/۰۵۷	۰/۹٤۳	زمستان	۰/۰۹	۰/۹۱
	۰/۲۸	۰/۷۲			
بهمن	۰/۱۱	۰/۸۹			
	۰/۳٦	۰/٦٤		۰/۳٤	۰/٦٦
اسفند	۰/۱۱	۰/۸۹			
	۰/۳٦	۰/٦٤			
سال	۰/۰۵	۰/۹۵		p	1 – p
	۰/۳٤	۰/٦٦		1 - q	q

- مقایسه احتمال انتقالی (شرطی) و احتمال ایستایی (اقلیمی) روزهای توفانی

مقایسه احتمال انتقالی (شرطی) و احتمال اقلیمی (غیرشرطی) برای رخداد روزهای توفانی و غیرتوفانی در بازه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه، گویای تفاوت بسیار ناچیز میان احتمال شرطی با احتمال اقلیمی محاسبه شده با مدل زنجیره مارکف می‌باشد. تفاوت این دو گونه احتمال، هرگز به یک درصد هم نمی‌رسد. بیش‌ترین تفاوت ماهانه در

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

بهمن برابر با ۰/۷ درصد دیده می‌شود که می‌توان از آن چشم پوشی کرد. این‌گونه تفاوت‌ها در بازه فصلی کم‌تر و کوچک‌تر می‌شود. چنان‌که به‌جز در فصل پاییز که تفاوت ۰/۰۱ محاسبه شده است، در سایر فصل‌ها هیچ تفاوتی وجود ندارد (جداول ٦ و ۷). پس می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد مدل زنجیره مارکف برای تعیین احتمال رخداد روزهای توفانی و غیرتوفانی از دقت کافی برخوردار می‌باشد.

– فراوانی روزهای توفانی

بررسی ماهانه فراوانی روزهای توفانی نشان می‌دهد که در اواخر زمستان و اوایل بهار (بهمن، اسفند و فروردین)، میانگین فراوانی رخداد روزهای توفانی از ٤ روز در هر ماه فراتر رفته است و این دوره سال را از پر توفان‌ترین روزهای سال نموده است. در مقابل، اواخر تابستان و اوایل پاییز (شهریور، مهر و آبان) با میانگین فراوانی کم‌تر از یک روز توفانی در هر ماه، کم توفان‌ترین روزهای سال را به خود اختصاص داده‌اند. به هر روی، کم‌ترین فراوانی روزهای توفانی با میانگین ۰/۲۷ روز (تقریباً هر ٤ سال یک توفان)، در آبان دیده شده است (جدول ٦).

جدول ٦– ویژگی روزهای توفانی (W / N) و غیر توفانی (C/ N) در بازه میانگین ماهانه و سالانه شهر زاهدان

ماه	احتمال انتقالی		احتمال اقلیمی		فراوانی روزها		طول دوره‌ها به روز		چرخه رخداد
	C/ N	W / N	π_0	π_1	F_0	F_1	E_0	E_1	E_C
فروردین	۰/۸٦۲	۰/۱۳۷	۰/۸٦۷	۰/۱۳۳	۲٦/۸۸	٤/۱۲	۱۲/۵	۱/۹۱	۱٤/٤۲
اردیبهشت	۰/۹۳	۰/۰٦۷	۰/۹۳	۰/۰۷	۲۸/۸۳	۲/۱۷	۲۱/۷	۱/۵	۲۳/۲
خرداد	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۰۷	۲۸/۸۳	۲/۱۷	۲۰	۱/٤۷	۲۱/٤۷
تیر	۰/۹٤	۰/۰۵٦	۰/۹٤	۰/۰٦	۲۹/۱٤	۱/۸٦	۲۳/۸۰	۱/٤	۲۵/۲
مرداد	۰/۹۵۸	۰/۰٤۲	۰/۹۵۸	۰/۰٤۲	۲۹/٦٦	۱/۳۳	۳۳/۳	۱/٤۷	۳٤/۷۷
شهریور	۰/۹۸٦	۰/۰۱٤	۰/۹۹	۰/۰۱	۳۰/٦۹	۰/۳۱	۱۰۰	۱/۰۸	۱۰۱/۰۸
مهر	۰/۹۸۵	۰/۰۱۵	۰/۹۸	۰/۰۲	۲۹/٤	۰/۹	٦٦/٦	۱/۰۸	٦۷/٦۸
آبان	۰/۹۹۱	۰/۰۰۹۲	۰/۹۹۱	۰/۰۰۹	۲۹/۷	۰/۲۷	۱۱۱/۱	۱	۱۱۲/۱
آذر	۰/۹۵٦	۰/۰٤٤	۰/۹٦	۰/۰٤	۲۸/۸	۱/۲	٤۰	۱/٦۳	٤۱/٦۳
دی	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۰۷	۲۷/۹	۲/۱	۱۷/۵٤	۱/٤۰	۱۸/۹٤
بهمن	۰/۸٦	۰/۱٤	۰/۸۵۳	۰/۱٤۷	۲۵/٦۸	٤/۳۸	۹/۰۹	۱/۵٦	۱۰/٦۵
اسفند	۰/۸۵۵	۰/۱٤۵	۰/۸۵۳	۰/۱٤۷	۲٤/٦۵	٤/۳۵	۹/۰۹	۱/۵٦	۱۰/٦۵
سالانه	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۰۷	۳٤۰/۸۵	۲٤/٤	۲۰	۱/۵۱	۲۱/۵۱

زمستان و بهار به‌ترتیب با میانگین فراوانی ۱۰/٦ و ۸/۳۷ روز توفانی در هر فصل، پر توفان‌ترین فصل‌های سال هستند. تابستان و پاییز نیز با میانگین فراوانی به‌ترتیب ۳/۷۲ و ۲ روز توفانی، کم‌ترین روزهای توفانی دارند (جدول ۷).

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- میانگین روزهای توفانی

بررسی میانگین شمار روزهای توفانی که بیانگر استمرار هوای توفانی در چند روز پیاپی است، نشان می‌دهد که بیش‌ترین تداوم در بازه میانگین ماهانه به فروردین با ۱/۹۱ روز و در بازه میانگین فصلی به بهار با ۱/٦٦ روز مربوط می‌شود. میانگین شمار روزهای غیرتوفانی نیز که گویای تکرار هوای کم و بیش آرام و غیرتوفانی در چند روز پی‌درپی است، دارای کم‌ترین توالی در بهمن و اسفند، هر یک با ۹/۱ روز در ماه و در مقیاس فصلی در زمستان با ۱۱/۱۱ روز می‌باشد. بیشینه استمرار روزهای پیاپی غیرتوفانی به پاییز که آرام‌ترین فصل سال است تعلق دارد. میانگین توالی روزهای غیرتوفانی این فصل نسبتاً آرام به ۵۰ روز بالغ می‌شود. به‌طورکلی، میانگین تداوم روزهای توفانی در بازه سالانه ۱/۵۱ روز و میانگین روزهای غیر توفانی ۲۰ روز محاسبه شده است (جدول ۷).

جدول ۷- ویژگی روزهای توفانی و غیر توفانی در بازه میانگین فصلی شهر زاهدان

ماه	احتمال انتقالی		احتمال اقلیمی		فراوانی روزها		طول دوره‌ها به روز		چرخه رخداد
	C/ N	W / N	π_0	π_1	F_0	F_1	E_0	E_1	E_C
بهار	۰/۹۱	۰/۰۹	۰/۹۱	۰/۰۹	۸٤/۵۳	۸/۳۷	۱٦/٦٦	۱/٦٦	۱۸/۳۲
تابستان	۰/۹٦	۰/۰٤	۰/۹٦	۰/۰٤	۸۹/۲۸	۳/۷۲	۳۳/۳۳	۱/۳۸	۳٤/۷۱
پاییز	۰/۹۸	۰/۰۲	۰/۹۷	۰/۰۳	۸۸	۲	۵۰	۱/۳۷	۵۱/۳۷
زمستان	۰/۸۸	۰/۱۲	۰/۸۸	۰/۱۲	۷۹/٤	۱۰/٦	۱۱/۱۱	۱/۵۱	۱۲/٦۲
سالانه	۰/۹۳	۰/۰۷	۰/۹۳	۰/۰۷	۳٤۰/۸۵	۲٤/٤	۲۰	۱/۵۱	۲۱/۵۱

- احتمال رخداد چندین روز توفانی پیاپی در مرتبه‌های بالاتر زنجیره مارکف

محاسبه احتمال رخداد روزهای توفانی شهر زاهدان در توالی‌های یک تا هفت روز با مدل زنجیره مارکف دو حالته در مرتبه‌های متناسب انجام شد. درصدهای احتمال، گویای این است که بروز توالی‌ها در هر ماه با فراوانی روزهای توفانی آن ماه رابطه وارونه دارد. به سخن دیگر هرچه فراوانی روزهای توفانی در یک ماه بیش‌تر باشد، درصد احتمال توالی‌های کوتاه‌تر کم‌تر می‌باشد و هنگامی‌که فراوانی روزهای توفانی کم‌تر است، احتمال رخداد توالی‌های بزرگ‌تر افزایش پیدا می‌کند. برای نمونه در آبان که فراوانی روزهای توفانی کمینه است، درصد احتمال توالی یک روزه توفان ۱۰۰ درصد است. چرا که با افزایش درصد توالی‌های کوچک‌تر، احتمال رخداد توالی‌های بزرگ‌تر کاهش می‌یابد.

بررسی احتمال رخداد دوره‌های توفانی در هر ماه نشان می‌دهد که درصد احتمال توالی‌های یک تا هفت روزه در فروردین، تفاوت چشم‌گیری با ماه‌های دیگر دارد. اگر چه احتمال توالی یک روزه توفان (۵۲ درصد) در فروردین کم‌تر از ماه‌های دیگر است اما درصد احتمال توالی دو، سه، چهار، پنج، شش و هفت روزه توفان این ماه بالاتر از ماه‌های دیگر است. پس می‌توان گفت که ٤۸ درصد دوره‌های توفانی فروردین دارای توالی بیش‌تر از یک روز هستند. در صورتی که توالی بیش از یک روز توفان در آبان صفر درصد، در شهریور و مهر هر یک ۸ درصد، دی ۲۸

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

درصد، تیر ۳۰ درصد، خرداد و مرداد هر کدام ۳۲ درصد، اردیبهشت ۳٤ درصد، بهمن و اسفند به‌صورت جداگانه ۳٦ درصد و آذر ۳۹ درصد است. در مجموع می‌توان گفت که فروردین و آذر بزرگ‌ترین و شهریور، مهر و آبان کوچک‌ترین توالی دوره‌های توفانی ماهانه را دارند (جدول ۸).

جدول ۸- درصد احتمال رخداد چندین روز توفانی پیاپی شهر زاهدان در مرتبه یک تا هفت زنجیره مارکف

n به روز	یک	دو	سه	چهار	پنج	شش	هفت	1-q
n-1	۰	۱	۲	۳	٤	۵	٦	
فروردین	۵۲	۲۵	۱۲	٦	۳	۱	۱	۰/٤۸
اردیبهشت	٦٦	۲۲	۸	۳	۱	۰	۰	۰/۳٤
خرداد	٦۸	۲۲	۷	۲	۱	۰	۰	۰/۳۲
تیر	۷۰	۲۱	٦	۲	۱	۰	۰	۰/۳
مرداد	٦۸	۲۲	۷	۲	۱	۰	۰	۰/۳۲
شهریور	۹۲	۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۸
مهر	۹۲	۷	۱	۰	۰	۰	۰	۰/۰۸
آبان	۱۰۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
آذر	٦۱	۲٤	۹	٤	۱	۱	۰	۰/۳۹
دی	۷۲	۲۰	٦	۲	۰	۰	۰	۰/۲۸
بهمن	٦٤	۲۳	۸	۳	۲	۰	۰	۰/۳٦
اسفند	٦٤	۲۳	۸	۳	۲	۰	۰	۰/۳٦

نتیجه‌گیری

تحلیل دوره‌های کوتاه‌مدت وزش تندبادها و استمرار هوای توفانی شهر زاهدان بر پایه زنجیره مارکف دو حالته در مرتبه‌های یکم تا هفتم انجام شد. به همین دلیل و بر اساس تقسیم‌بندی شایو و دونگ و دستورالعمل سازمان جهانی، روزهایی که طی هشت بار دیدبانی در شبانه‌روز دست کم یک بار دید افقی کم‌تر از ۱۰۰۰ متر بوده و بیشینه سرعت باد از آستانه ۱۵ متر در ثانیه فراتر رفته به‌عنوان روز توفانی تعیین شدند و به روزهایی که بیشینه سرعت باد کم‌تر از این آستانه بود روز غیرتوفانی نامیده شد.

بررسی داده‌های دیده‌بانی شده (جدول ۹) گویای این بود که بیشینه سرعت روزانه باد در ۷۰۸ روز از مجموع ۱۰۵۹۳ روز دوره آماری از مرز ۱۵ متر در ثانیه (٥٤ کیلومتر در ساعت) فراتر رفته و نشان داد که به‌صورت میانگین

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

در هر سال، ۲٤/٤ روز (٦/۷ درصد) هوای توفانی بر شهر حاکم می‌شود. شمارش روزهای توفانی بیانگر تغییرپذیری آن از ٤ روز (۱/۱ درصد) تا ۷۸ روز (۲۱/٤ درصد) در سال است. در این میان بالاترین سرعت تندباد ثبت شده با سرعت ٤۰ متر در ثانیه در ۱۵ فروردین سال ۱۳۸۱ رخ داده است و سال ۱۳۸٦ خورشیدی با ۷۸ روز توفانی، پرشمارترین روزهای توفانی را به‌خود اختصاص داده است. به هر روی، مقایسه میانگین روزهای توفانی نیمه دوم دوره آماری نسبت به میانگین نخست، افزایش روزهای توفانی شهر زاهدان را هشدار داده و ضرورت شناخت روند تندبادهای زاهدان در پژوهش‌های آتی را گوشزد می‌نماید. بررسی پراکندگی روزهای توفانی در طول سال نشان داد که زمستان و اسفند دارای بیش‌ترین فراوانی رخداد توفان و در مقابل پاییز و آبان از کم‌ترین فراوانی رخداد توفان فصلی و ماهانه برخوردارند. اگر چه بالاترین سرعت توفان دیده‌بانی شده تا ٤۰ متر در ثانیه (۱٤٤ کیلومتر در ساعت) رسیده است ولی میانگین سالانه سرعت تندبادهای زاهدان ۱۷/٦ متر در ثانیه (٦۳/٤ کیلومتر در ساعت) بوده که به سرعت پایه توفان نزدیک‌تر است. بررسی پراکندگی سرعت توفان روزهای سال حاکی است که میانگین سرعت تندبادهای اواخر زمستان و اوایل بهار (اسفند تا اردیبهشت) بالاتر از میانگین سالانه است.

بررسی تداوم چندین روزه هوای توفانی نشان داد که میانگین استمرار روزهای توفانی در بازه سالانه ۱/۵۱ روز است و فروردین با میانگین توالی ۱/۹۱ روز و بهار با میانگین ۱/٦٦ روز، بزرگ‌ترین دوره توفانی ماهانه و فصلی دارند.

نتایج تحلیل چرخه رخداد دوره‌های توفانی گویای این است که میانگین سالانه چرخه رخداد تندبادها در زاهدان ۲۱/۵۱ روز است. با این تفاوت که میانگین ماهانه کوتاه‌ترین چرخه‌ها در بهمن و اسفند به ۱۰/٦۵ روز کاهش پیدا می‌کند. بنا براین، کوتاه‌ترین چرخه‌ها در بازه فصلی با میانگین ۱۲/٦۲ روز نیز به زمستان مربوط می‌شود.

محاسبه احتمال رخداد روزهای توفانی در مرتبه‌های بالاتر زنجیره مارکف بیانگر این است که درصد احتمال توالی‌های یک تا هفت روزه دارای تفاوت چشم‌گیری در ماه‌های سال است. میانگین طول دوره‌های توفانی در هر بازه زمانی با فراوانی روزهای توفانی رابطه وارونه دارد و با افزایش درصد توالی‌های کوچک‌تر، احتمال رخداد توالی‌های بزرگ‌تر کاهش می‌یابد.

مقایسه احتمال انتقالی و احتمال اقلیمی رخداد روزهای توفانی گویای تفاوت بسیار ناچیز میان احتمال شرطی با احتمال غیرشرطی محاسبه شده با مدل زنجیره مارکف می‌باشد. پس می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد این مدل برای تعیین احتمال رخداد روزهای توفانی از دقت کافی برخوردار می‌باشد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

جدول ۹- نشانه‌های به کار رفته در این پژوهش

WD	Windy Day	روز توفانی
NWD	Non-Windy Day	روز غیرتوفانی
Wi_{Max}	Daily Maximum wind speed	بیشینه سرعت روزانه باد
P	Probability	احتمال رخداد
W_0	Speed base of storm	سرعت پایه توفان
X_t		متغیر حالت امروز
t		زمان حال (امروز)
$t \mp n$		گام زمان به روز
$t + 1$		گام یک روزه به سوی آینده (فردا)
$t - 1$		گام یک روزه به سوی گذشته (دیروز)
$X_t + 1$		متغیر حالت فردا
$X_t - 1$		متغیر حالت دیروز
P_{ij}		احتمال حالت‌های انتقال
F_{ij}		فراوانی حالت‌های انتقال
S	State	حالت
n	Order	مرتبه، گام زمان (روز)
M	Matrices	ماتریس
α	Alpha	ضریب سطح معناداری آماری وابستگی (استقلال)
∑P		مجموع احتمالات حاشیه‌ای
β	Beta	ضریب ایستایی سری زمانی
r	Persistence	تداوم
r_n		تداوم در مرتبه زنجیره مارکف
π_1		احتمال اقلیمی رخداد روزهای توفانی
π_0		احتمال اقلیمی رخداد روزهای غیرتوفانی
C/ N		احتمالات شرطی روزهای غیرتوفانی
W / N		احتمال شرطی روزهای توفانی
E_1		طول دوره روزهای توفانی
E_0		طول دوره روزهای غیرتوفانی
E_c		طول چرخه یک دوره توفانی و یک دوره غیرتوفانی
F_0		فراوانی رخداد روزهای غیرتوفانی
F_1		فراوانی رخداد روزهای توفانی
PW_{r_n}		احتمال رخداد چندین روز توفانی در مرتبه (n)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

منابع

- الماسی، ف؛ طاوسی، ت؛ حسین‌آبادی، ن (۱۳۹۵)، «واکاوی رفتار و تغییرات بسامد رخداد امواج گرمایی شهر اهواز»، ***مجله آمایش جغرافیایی فضا***، شماره ۱۹، صص ۱۵۰-۱۳۷.

- حجازی‌زاده، ز؛ شیرخانی، ع. ر (۱۳۸٤)، «تحلیل و پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه‌مدت در استان خراسان»، ***پژوهش‌های جغرافیایی***، شماره ۵۲، صص ۳۱ -۱۳.

- رضایی، ب؛ جوان، خ؛ زینالی، ب (۱۳۹۰)، «بررسی روند تغییرات سرعت باد در شمال‌غرب ایران»، ***فصلنامه جغرافیای طبیعی***، شماره ۱۳، صص ۳٦-۲۷.

- رضیئی، ط؛ دانش‌کار آراسته، پ؛ اختری، ر؛ ثقفیان، ب (۱۳۸٦)، «بررسی خشکسالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه (SPI) و مدل زنجیره مارکف»، ***تحقیقات منابع آب ایران***، شماره ۷، صص ۳۵-۲۵.

- سلیقه، م؛ علیجانی، ب؛ دل‌آرا، ق (۱۳۹۰)، «تحلیل فضایی بارش فصول مرطوب سال با استفاده از مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی اردبیل»، ***نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی***، شماره ۲۳، صص ٤٤-۲۵.

- طاوسی، ت؛ سلیقه، م؛ صفرزایی، ن (۱۳۹۱)، «بررسی پارامترهای برداری باد و نقش آن در توفان‌های گردوغبار سیستان ایران»، ***جغرافیا و پایداری محیط***، شماره ۲، صص ۳۰-۱۹.

- طاوسی، ت؛ خسروی، م؛ قادری‌زه، خ (۱۳۸۹)، «بررسی خشکسالی و تحلیل روند دوره‌های خشک کوتاه‌مدت ایرانشهر با استفاده از مدل زنجیره مارکف در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۵۹»، ***علوم محیطی***، شماره ٤، صص ٤٤-۳۱.

- عباس‌نیا، م؛ طاوسی، ت؛ پورهاشمی، س (۱۳۹٤)، تحلیل و پیش‌بینی آماری دوره‌های توفانی کوتاه‌مدت سبزوار با استفاده از زنجیره مارکف، ***فصلنامه فضای جغرافیایی***، شماره ۵۰، صص ۲۵۰-۲۳۳.

- عساکره، ح؛ مازینی، ف (۱۳۸۹)، «بررسی احتمال وقوع روزهای خشک در استان گلستان»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۱۷، صص ٤٤-۲۹.

- عساکره، ح (۱۳۹۲)، «تحلیل روند موسم‌های خشک و تر در شهر زنجان»، ***فصلنامه جغرافیا و توسعه***، شماره ۳۱، صص ٥٦-٤۷.

- علیجانی، ب؛ محمودی، پ؛ ریگی چاهی، ا؛ خسروی، پ (۱۳۸۹)، «بررسی تداوم روزهای یخبندان در ایران با استفاده از مدل زنجیره مارکوف»، ***پژوهش‌های جغرافیای طبیعی***، شماره ۷۳، صص ۲۰-۱.

- علیجانی، ب؛ محمودی، پ؛ چوگان، ع؛ بیشه‌نیاسر، م (۱۳۹۰)، «بررسی تداوم دو وضعیتی بارش‌های سالانه جنوب ایران با استفاده از الگوی وضعیت نهان زنجیره مارکف»، ***جغرافیا و توسعه***، شماره ۲۹، صص ۳۲-۱۸.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- عیوضی، م؛ مساعدی، ا؛ اسلامی، ح. ر (۱۳۹۱)، «پیش‌بینی زمانی و مکانی خشکسالی در استان گلستان با استفاده از ماتریس احتمال انتقال»، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب ، ۲۰ الی ۲۱ شهریور ماه ۱۳۹۱، صص ۱٤-۱.

- فولادوند، ح. ر (۱۳۹۱)، «بررسی مکانی-زمانی ماتریس‌های انتقال ماهانه زنجیره مارکف برای انتخاب مناسب کشت دیم در استان فارس»، ***فصلنامه فضای جغرافیایی***، شماره ۳۸، صص ۱۹٦-۱۸۳.

- قهرمان، ن؛ قره خانی، ا (۱۳۸۹)، «بررسی روند تغییرات زمانی سرعت باد در گستره اقلیمی ایران»، ***مجله آبیاری و زهکشی ایران***، شماره ۱، صص ٤۳-۳۱.

- یزدان‌پناه، ح؛ علیزاده، ت (۱۳۹۰)، «برآورد احتمال وقوع امواج گرمایی با دوره‌های تداوم مختلف در استان کرمان به کمک زنجیره مارکف»، ***تحقیقات جغرافیایی***، شماره ۱۰۲، صص ۷۲ -۵۱.

- یوسفی، ن؛ حجام، س؛ ایران‌نژاد، پ (۱۳۸٦)، «برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و توزیع نرمال (مطالعه موردی: قزوین)»، ***پژوهش‌های جغرافیایی***، شماره ٦۰، صص ۱۲۸-۱۲۱.

- Allasseur, C., Hussan, L., Perez-Fontan, F., (2004), "Simulation of rain events time series with Markov model", 15th IEEE International Symposium, 4: 2801-2805.

- Ana, A., Paulo, S., (2007), "Prediction of SPI drought class transitions using Markov chains", **Water Resource Manage**, 21: 1813-1827.

- Belu, R., koracin, D., (2009),"wind characteristics and wind Energy potential in western Nevada", ***Renewable Energy***, 34: 2246-2251.

- Berger, A., Goossens, Chr., (1983), "Persistence of wet and dry spells at Uccle (Belgium)", ***J. Climatol***, 3: 21-24.

- Caskey, J. E., (1963), "A Markov Chain Model for the Probability of Precipitation Occurrence in Intervals of Various Lengths", ***Monthly Weather Review***, 101: 298- 301.

- Chin, E. H., (1977), "Modeling Daily Precipitation Occurrence Process with Markov Chain", ***Water Resour***, 13 (6): 949–956.

- Fawcett, L., Walshaw, D., (2006), "Markov chain models for extreme wind speeds", ***Environmetrics***, 17 (8): 795–809.

- Gatzen, C., (2013), "Warm-season severe wind events in Germany", ***Atmospheric Research***, 123 (1): 197–205.

- Hoker, J. E., Basara, J. B., (2007), "A10-year spatial climatology of squall line storm across Oklahoma", ***International Journal of Climatology***, 28 (6): 765–775.

- Jervase, J. A., Al-Lawati, A. M., (2012), "wind energy potential assessment for the sultanate of Oman", ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***, 16: 1496-1507.

- Jhajharia, D., shriastava, S. k., sarka, D., sarkar, S., (2009), "Temporal characterics of pan evaporation trend under the humid condition of northeast India", ***Agricultural and Forest Meteorology***, 149: 763-770.

- Liu, Y., Xiao, L., Wang, H., Dai, S., Qi, Z., (2013), "Analysis on the hourly spation complementarities between Chinas solar and wind energy resources spreading in a wind area", ***Science China Technological Sciences***, 56 (3): 683-692.

- Martin, V. J., Gomez, L., (1999), "Regionalization of Peninsular Spain Based on the Length of Dry Spells", ***International Journal of Climatology***, ***Int. J. Climatol***, 19: 537-555.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

- Moon, S. E., Ryoo, S. B., Kwon, J. G., (1994), "A Markov Chain Model for Daily Precipitation Occurrence in South Korea", ***International Journal of Climatology***, 14: 1009-1016.
- Ohunakin, S. O., Ojolo, S. J., Ogunsina, S. B., Dinrifo, R. R., (2012), "Analysis of cost estimation and wind energy evaluation using wind energy conversion systems (WECS) for electricity generation in six selected high altitude locations in Nigeria", ***Energy Policy***, 48: 594-600.
- Oyedpo, S. O., Adaramola, M. S., Paul, S. S., (2012), "Analysis of wind speed data and wind energy potential in three selected location in south-east Nigeria", ***International of Energy and Environmental Engineering***, 3 (7): 1-11.
- Paulo, A. A., Pereira, L. S., (2007), "Prediction of SPI drought class transitions using markov chains", ***Water Resource Management***, 21: 1813–1827.
- Scaer, C., Moisselin, J. M., Saber, M., flori, J. P., Dubuisseline, B., (2007), "A new statistical approach to extreame wind speed in France", ***Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic***, 95: 1415-1423.
- Seleshi, Y., Camberlin, P., (2006), "Recent Changes in dry spell and extreme rainfall events in ethiopia", Theor***. Appl.Climatol***, 83: 181-191.
- Shao, Y., Dong, C. H., (2006), "A review on East Asian dust storm climate, modelling and monitoring", ***Global and Planetary Change***, 52 (1–4): 1-22.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]