

شناسایی و پیش‌بینی تعدادی از خصوصیات خشک‌سالی‌های هواشناسی در استان گلستان با استفاده از زنجیره مارکف

ابوالفضل مساعدی^۱، معصومه عیوضی^۲

چکیده

خشک‌سالی یکی از پدیده‌های آب و هوایی است که در همه شرایط اقلیمی و در همه مناطق کره زمین به وقوع می‌پیوندد. این پدیده نسبت به سیل بسیار کمتر شناخته شده است. ضمن آن که شناسایی خصوصیت‌های آن به مراتب پیچیده‌تر از خصوصیات سیل می‌باشد. در این پژوهش به منظور شناخت بعضی از خصوصیات خشک‌سالی، از زنجیره مارکف استفاده شده است. بدین منظور هفت ایستگاه باران‌سنجی در سطح استان گلستان که تا پایان سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ حداقل ۳۰ سال آمار ثبت شده بارندگی داشتند، پس از انجام آزمون‌های آماری لازم انتخاب شدند. وضعیت رطوبتی (خشک‌سالی) هر یک از ایستگاه‌ها در دوره زمانی سالانه با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) مورد بررسی قرار گرفت. آنگاه ماتریس احتمال انتقال یک مرحله‌ای، در هر ایستگاه استخراج شد. سپس احتمال ماندگاری، متوسط زمان تداوم و حالت پایا در هر یک از وضعیت‌های رطوبتی و در هر ایستگاه تعیین گردید. آنگاه احتمال حالت خشکی در تداوم‌های مختلف یک، دو و چند ساله محاسبه شد. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط احتمال ماندگاری، متوسط تداوم و فراوانی نسبی وضعیت نرمال بیش از وضعیت خشک و شرایط خشک بیش از شرایط مرطوب می‌باشد. ضمن آن که مقادیر همین خصوصیات در مورد وضعیت‌های خشک بیشتر از وضعیت مرطوب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات خشک‌سالی، احتمال ماندگاری، متوسط زمان تداوم، فراوانی نسبی، زنجیره مارکف

مقدمه

خشک‌سالی پدیده‌ای طبیعی و تکرارپذیر است که در اثر کاهش میزان بارندگی در یک دوره زمانی مشخص و نسبتاً طولانی حادث می‌گردد (شارما و اسماختین، ۲۰۰۴). این پدیده در همه رژیم‌های اقلیمی و مناطق جغرافیایی رخ می‌دهد، اما اثرات و فراوانی آن در رژیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیشتر نمایان می‌شود (چناری، ۱۳۸۴). به دلیل تاثیر عوامل مستقیم و غیرمستقیم در خشک‌سالی تعریف این پدیده مشکل است و هر یک از متخصصان علوم جوی با توجه به اهداف و جوانب کار خود، تعاریف مختلفی از خشک‌سالی ارائه داده‌اند. یکی از تعاریفی که اتفاق نظر بیشتری روی آن می‌باشد، تعریفی است که توسط پالمر (۱۹۶۵) ارائه شد. از دیدگاه وی، خشک‌سالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی. واژه مستمر به استمرار حالت کمبود و واژه غیرطبیعی به انحراف نمایه مورد نظر از شرایط طبیعی یا میانگین اطلاق می‌شود (پالمر، ۱۹۶۵). این تعریف نیز تا حدی مبهم می‌باشد و به صراحت و سادگی نمی‌توان خشک‌سالی را تعریف کرد.

در ایران بعد از خشک‌سالی‌های دهه ۱۳۷۰ شمسی، بررسی وضعیت خشک‌سالی و شناسایی خصوصیات آن بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته‌است. تعیین ویژگی‌های خشک‌سالی یا ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی و اقتصادی به ویژه برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب می‌باشد. در بسیاری از برنامه‌های بلندمدت، لازم است که چشم‌اندازی از وضعیت آینده بارندگی و دوره‌های خشک و تر برای منطقه ترسیم گردد (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۶). از این رو پیش‌بینی خشک‌سالی و خصوصیات آن در کاهش خسارات خشک‌سالی و مدیریت منابع آب نقش مهمی را ایفا می‌نماید (میشرا و دیزای، ۲۰۰۶).

ابیب و فورچ (۲۰۰۷) به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی کوتاه مدت شدت خشک‌سالی هیدرولوژیکی در ائیوپی، از مدل احتمالاتی SARIMA^۱ استفاده نمودند.

بعد از تعیین سطح آستانه احتمال، متغیرهای خشک‌سالی را بر اساس داده‌های جریان سطحی ماهانه تعیین و سپس با مقایسه نتایج به‌دست آمده، مدل SARIMA (0,1,1)(0,1,1)₁₂ را به‌عنوان بهترین مدل برای منطقه تشخیص دادند.

از جمله روش‌های آماری دیگر که در پیش‌بینی خشک‌سالی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد زنجیر مارکف^۲ مرتبه اول است. تامپسون (۱۹۹۰) از ترکیب تئوری ران^۳، نمایه پالمر و زنجیره مارکف جهت پیش‌بینی خشک‌سالی در ایالت‌های مرکزی آمریکا استفاده نمود. وی نتیجه گرفت که ماندگاری^۴ خشک‌سالی‌های شدید در منطقه، از دیگر وضعیت‌ها بیشتر است. بدین منظور، نقشه‌های ماندگاری خشک‌سالی خیلی شدید و هم‌چنین نقشه پهنه‌بندی احتمال معادل برای خشک‌سالی‌های خیلی شدید را در این منطقه رسم نمود. آشگر توسی و همکاران (۱۳۸۳) به منظور بررسی خشک‌سالی در مناطق مختلف استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول استفاده نمودند. این پژوهش‌گران ماتریس احتمال انتقال^۵ و ماتریس تعادل را برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه و با یک‌بار ضرب این ماتریس در خود ماتریس، احتمال انتقال دو مرحله‌ای برای تعیین وضعیت‌های مختلف در سال ۲۰۰۴ را محاسبه و نقشه‌های پهنه‌بندی احتمال وقوع برای سه وضعیت خشک‌سالی، نرمال و مرطوب (ترسالی) را ترسیم نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که احتمال وقوع خشک‌سالی در مناطق مرکزی خراسان بیشتر از سایر نواحی است. در حالی که در نواحی شمالی و جنوبی خراسان احتمال وقوع ترسالی بیشتر بوده است. دل‌افکار و همکاران (۱۳۸۴) پیش‌بینی خشک‌سالی استان بوشهر را با استفاده از مدل زنجیره مارکف انجام دادند. سپس نتایج حاصله را با روش‌های آماری مقایسه نمودند. نتایج بررسی‌های به‌عمل آمده کارایی زنجیره را در برآورد پیش‌بینی وقوع خشک‌سالی تایید کرد.

2. Markov Chain

3. Run Theory

4. Persistence

5. Transition Probability Matrix

1. Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average

سالی و پیش‌بینی آن با استفاده از زنجیره مارکف در مناطق مختلف استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمایه بارش استاندارد شده

نمایه بارش استاندارد شده (SPI) توسط مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) جهت تعیین دوره‌های خشک‌سالی و ارزیابی شدت آن تدوین شد. SPI یک نمایه استاندارد شده است که کمبود بارش را در مقیاس‌های زمانی متفاوت ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه می‌کند (استینمن، ۲۰۰۳). کمبود بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت بر روی رطوبت خاک و در مقیاس زمانی بلندمدت بر روی مقدار جریان رودخانه‌ها و سطح مخازن آب و آب‌های زیرزمینی، اثر می‌گذارد. حدود طبقات وضعیت رطوبتی براساس این نمایه در جدول ۱ ارائه شده است.

نمایه SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب بر آمار بارندگی بلندمدت برآزش داده شده، سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، به طوری که جمع مقادیر بارندگی استاندارد شده (SPI) و در طول دوره مورد بررسی صفر می‌شود (ادوارد و مک‌کی، ۱۹۹۷). برای برآزش داده‌های بارندگی، توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع می‌باشد (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳). این تابع به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{برای } x > 0 \quad (1)$$

در این رابطه α : پارامتر شکل و بزرگتر از صفر β : پارامتر مقیاس و بزرگتر از صفر، X : مقدار بارش بزرگتر از صفر و $\Gamma(\alpha)$: تابع گاما است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از مدل زنجیره مارکف مرتبه اول و نمایه شاخص بارش استاندارد شده^۱ (SPI) در مقیاس ۳ و ۶ ماهه، احتمال وقوع و گسترش خشک‌سالی در استان سیستان و بلوچستان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در مقیاس شش ماهه، احتمال ماندن در دوره خشک‌سالی در نواحی مرکزی استان بیش از ۷۰ درصد و در نواحی شرقی کمتر از ۵۰ درصد است. هم‌چنین با توجه به احتمال تعادل خشک‌سالی، بخش مرکزی استان در ۳۰ درصد مواقع در خشک‌سالی به‌سر می‌برد و از این بابت نسبت به سایر بخش‌های استان در وضعیت آسیب‌پذیرتری قرار دارد. پائولو (۲۰۰۵) با توجه به مدل زنجیره مارکف و مدل لگاریتم خطی و با استفاده از نمایه SPI، یک اخطار پیش از هنگام خشک‌سالی را برای منطقه وسیعی از پرتقال به‌انجام رساند. استینمن (۲۰۰۳) زنجیره مارکف را جهت ارزیابی نمایه‌های خشک‌سالی به منظور تعیین آستانه‌های خشک‌سالی در جنوب شرقی آمریکا طی دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۳۹ به کار گرفت. وی پس از محاسبه مقادیر نمایه‌های PDSI^۲، PHDI^۳ و SPI در دوره‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۲ ماهه، اقدام به ساخت ماتریس احتمال انتقال نمود. آن‌گاه با استفاده از روابط احتمالاتی و ماتریس احتمال انتقال، ماندگاری، تداوم^۴ و فراوانی^۵ هر یک از وضعیت‌های رطوبتی را به دست آورد.

در استان گلستان هم مانند سایر مناطق کشور و جهان در گذشته خشک‌سالی‌هایی به وقوع پیوسته است و در آینده هم خشک‌سالی‌هایی رخ خواهد داد. این استان از تنوع آب و هوایی زیادی برخوردار بوده و در نتیجه به نظر می‌رسد که در صورت وقوع خشک‌سالی، خصوصیات این پدیده شامل ماندگاری، تداوم و فراوانی در مناطق مختلف استان متفاوت باشد. بنابراین هدف کلی از انجام این پژوهش شناسایی خصوصیات خشک-

1. Standardized Precipitation Index
2. Palmer Drought Severity Index
3. Palmer Hydrologic Drought Index
4. Duration
5. Frequency

جدول ۱: طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی بر اساس نمایه بارش استاندارد شده SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳)

مقادیر SPI	طبقه‌بندی خشک‌سالی	فراوانی تجمعی (درصد)
۲ یا بیشتر	ترسالی بسیار شدید	>۹۷/۷
۱/۵۰ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید	۹۳/۳ تا ۹۷/۷
۱/۰۰ تا ۱/۴۹	ترسالی ملایم تا متوسط	۸۴ تا ۹۳/۳
۰/۹۹ تا -۰/۹۹	نرمال	۱۶ تا ۸۳/۹
-۱/۴۹ تا -۱	خشک‌سالی ملایم تا متوسط	۶/۸ تا ۱۵/۹
-۱/۹۹ تا -۱/۵۰	خشک‌سالی شدید	۶/۷ تا ۲/۳
-۲ یا کمتر	خشک‌سالی بسیار شدید	<۲/۳

تجمعی که در برگزیده مقادیر صفر هم باشد از رابطه (۷) بدست می‌آید:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (۷)$$

در این رابطه q احتمال صفر بودن مقدار بارندگی می‌باشد. اگر m تعداد داده‌های بارندگی باشد که مقدار آن‌ها در سری زمانی معادل صفر است، آن‌گاه q از تقسیم m بر n محاسبه می‌شود (تام، ۱۹۵۸).

سرانجام H(x) با استفاده از روابط (۸) و (۹) به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف از معیار یک انتقال داده که با نتیجه به‌دست آمده، مقدار SPI شناخته می‌شود.

$$Z = SPI = \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۸)$$

$$Z = SPI = \left[t - \frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad 0.5 < H(x) \leq 1 \quad (۹)$$

که برای:

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad 0 < H(x) \leq 0.5 \quad (۱۰)$$

و

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad 0.5 < H(x) \leq 1.0 \quad (۱۱)$$

مقادیر $C_0, C_1, C_2, d_1, d_2, d_3$ در معادلات ۸ و ۹ به صورت زیر می‌باشند (میشرا و دیزای، ۲۰۰۶).

$$\begin{aligned} C_0 &= 2.515517 & d_1 &= 1.432788 \\ C_1 &= 0.802853 & d_2 &= 0.189269 \\ C_2 &= 0.010308 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

بنابراین SPI، متغیر نرمال شده Z را با متوسط صفر و انحراف معیار یک نشان می‌دهد.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (۲)$$

دو پارامتر تابع چگالی احتمال گاما (α و β) از داده‌های نمونه با روش درست‌نمایی حداکثر برای هر ایستگاه و در مقیاس زمانی انتخابی و برای هر ماه از سال برآورد می‌شود. به این منظور می‌توان از روش‌های دیگر از جمله روش گشتاورها و گشتاورهای خطی نیز استفاده کرد. مقادیر $\hat{\alpha}$ و $\hat{\beta}$ از روابط (۳)، (۴) و (۵) به‌دست می‌آیند.

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \cdot \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right] \quad (۳)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{X}}{\hat{\alpha}} \quad (۴)$$

که

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(x_i)}{n} \quad (۵)$$

در این رابطه \bar{x} : متوسط بارندگی در بازه زمانی مورد نظر و n: تعداد مشاهداتی که بارندگی روی داده است، می‌باشند.

احتمال تجمعی بارندگی، با فرض $t = \frac{x}{\hat{\beta}}$ تبدیل به تابع گامای ناقص می‌شود.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \cdot \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} \cdot e^{-t} \cdot dt \quad (۶)$$

چون تابع گاما برای $x = 0$ (بارندگی صفر میلی‌متر) تعریف نشده است و از طرفی توزیع بارندگی ممکن است دارای مقادیر صفر باشد، بنابراین تابع احتمال

زنجیره مارکف

مدل زنجیره مارکف یک فرآیند احتمالاتی، جهت مدل سازی پدیده‌های تصادفی است که با یک مجموعه‌ای از حالت‌ها یا وضعیت‌ها (S) و با احتمال انتقال بین حالت‌ها (P_{ij}) توصیف می‌شود. این مدل به طور وسیعی در علوم مختلف از جمله هواشناسی و هیدرولوژی توسط متخصصین مورد استقبال قرار گرفت. اکثر زنجیره‌های مارکف که در زمینه پیش‌بینی‌های خشک‌سالی مورد استفاده قرار می‌گیرند، مرتبه اول هستند (آشگر توسی و همکاران، ۱۳۸۳). مدل زنجیره مارکف مرتبه اول اصلی‌ترین شکل مدل زنجیره مارکف به شمار می‌رود. زنجیره مارکف مرتبه اول عبارت است از یک سری زمانی گسسته که احتمال شرطی برای حالت j در زمان $n+1$ تنها به حالت قبل از آن یعنی i در زمان n بستگی دارد. این فرآیند زنجیره مارکف مرتبه اول به صورت زیر بیان می‌شود (استینمن، ۲۰۰۳).

$$p_{ij} = \Pr\{J_{n+1} = j | J_n = i\} \quad (12)$$

محاسبه احتمال از معادله (۱۳) صورت می‌گیرد.

$$\hat{p}_{ij} = \frac{m_{ij}}{\sum_j m_{ij}} \quad i, j = 1, \dots, S \quad (13)$$

در این معادله، صورت کسر تعداد دفعات انتقال از حالت i به حالت j و مخرج کسر مجموع تعداد دفعات انتقال از حالت i به هر حالت دیگر است.

$P = p_{ij}$ ماتریس احتمال تغییر وضعیت را برای زنجیره مارکف مرتبه اول چند حالتی نشان می‌دهد. برای زنجیره مارکف S حالتی ماتریس انتقال، یک ماتریس $S \times S$ خواهد بود که مجموع درایه‌های هر سطر آن باید معادل یک شود (استینمن، ۲۰۰۳).

احتمال ماندگاری (ξ_k)، یعنی احتمال باقی ماندن در همان وضعیت رطوبتی دوره زمانی قبل، از معادله (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$\xi_k = p_{ij} \quad \text{در اینجا} \quad k = i, j \quad (14)$$

در این معادله مقادیر ξ_k ، یعنی عناصر واقع در قطر ماتریس احتمال انتقال، مشخص کننده احتمال ماندگاری وضعیت رطوبتی در دوره بعدی است (استینمن، ۲۰۰۳). V_k : تداوم نمایه رطوبتی در وضعیت k طی دوره زمانی پیوسته بعدی می‌باشد. احتمال متوالی تداوم که براساس

توزیع هندسی بنا شده است (استینمن، ۲۰۰۳)، از معادله (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$t = 1, 2, \dots \quad 0 \leq \xi_k \leq 1 \quad (15)$$

$$P(v_k = t) = \xi_k^{t-1} (1 - \xi_k)$$

ξ_k : احتمال باقی ماندن در همان وضعیت رطوبتی و ($1 - \xi_k$) احتمال تغییر وضعیت رطوبتی است. از این رو تداوم متوسط از معادله (۱۶) محاسبه می‌گردد (استینمن، ۲۰۰۳).

$$v_k = \frac{1}{(1 - \xi_k)} \quad (16)$$

بنابراین، این معادله، متوسط طول دوره زمانی (تعداد دوره‌های زمانی متوالی) را که یک نمایه رطوبتی در وضعیت رطوبتی k باقی خواهد ماند، نشان می‌دهد.

Φ_k : مقدار احتمال حالت پایا برای نمایه رطوبتی است که درون یک وضعیت مشخص k ، ($k=1, 2, \dots, S$) باشد و $\Phi = [\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_s]$ به عنوان بردارهای احتمال حالت پایا می‌باشند که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$(I - P^T) \times \Phi = 0 \quad (17)$$

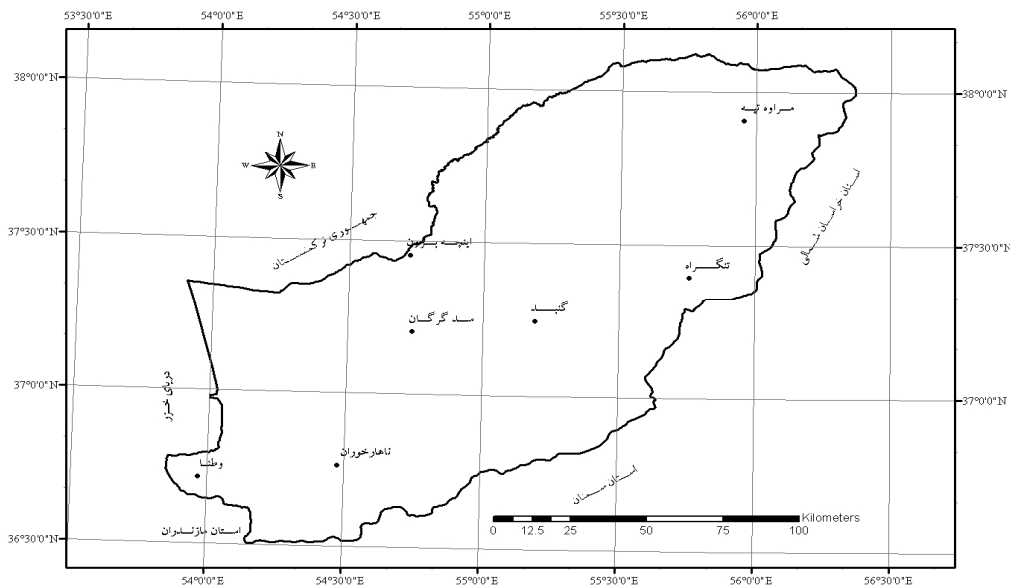
در این معادله I ماتریس همانی و P^T ترانپوز ماتریس احتمال انتقال است. Φ_k وضعیت پایا در مرحله نهایی و در وضعیت k ام، نسبت به مجموع دوره‌های زمانی می‌باشد (استینمن، ۲۰۰۳). در این معادله عناصر ماتریس Φ به گونه‌ای محاسبه می‌شود که حاصل عبارت معادله (۱۷)، یک ماتریس صفر و مجموع عناصر این ماتریس یک گردد.

تولید ماتریس احتمال انتقال و تعیین خصوصیات هر یک از وضعیت‌های رطوبتی

در پژوهش حاضر ابتدا داده‌های بارندگی سالانه ۳۰ ایستگاه هواشناسی واقع در استان گلستان مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. پس از بررسی داده‌ها و انجام آزمون‌های آماری لازم از نظر تصادفی و همگن بودن داده‌ها و آزمون داده‌های پرت، در نهایت داده‌های بارندگی سالانه ۷ ایستگاه در سطح استان و در طول دوره آماری ۵۵-۱۳۵۴ الی ۸۶-۱۳۸۵ مورد انتخاب قرار گرفت. شکل (۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان گلستان و جدول ۲، اسامی و مشخصات این

همکاران، ۱۳۸۶)، نشان می‌دهد.

ایستگاه‌ها را به همراه وضعیت اقلیمی هر ایستگاه که براساس روش گوسن مشخص شده است (مساعدی و



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در سطح استان گلستان

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		ارتفاع (m)	میانگین بارندگی سالانه (mm)	وضعیت اقلیم
		عرض شمالی	طول شرقی			
۱	اینچه‌برون	۴۰° ۴۳' ۵۴"	۳۷° ۲۷' ۲۴"	۱۰	۲۲۱	خشک و نیمه خشک
۲	تنگراه	۳۸° ۴۵' ۵۵"	۳۷° ۲۳' ۴۴"	۳۳۰	۷۱۹	مرطوب
۳	سدگرگان	۲۷° ۴۴' ۵۴"	۳۷° ۱۲' ۱۷"	۱۲	۳۴۲	خشک و نیمه خشک
۴	گنبد	۳۵° ۱۱' ۵۵"	۳۷° ۱۴' ۴۷"	۳۶	۴۲۹	خشک و نیمه خشک
۵	مراوتپه	۲۰° ۵۷' ۵۵"	۳۷° ۵۴' ۳۲"	۱۹۰	۳۵۳	خشک و نیمه خشک
۶	ناهارخوران	۳۲° ۲۸' ۵۴"	۳۶° ۴۵' ۵۴"	۵۰۰	۷۹۱	مرطوب
۷	وطنا	۰۲° ۵۸' ۵۳"	۳۶° ۴۳' ۰۰"	۱۰۰	۵۷۳	مرطوب

بودن نسبی طول دوره آماری ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، تنها سه وضعیت رطوبتی شامل خشک (D)، نرمال (N) و مرطوب (W) در نظر گرفته شد. به این منظور برای مقادیر SPI برابر یا کمتر از ۱/۰۰- و وضعیت رطوبتی خشک، SPI برابر یا بیشتر از ۱/۰۰+ و وضعیت رطوبتی مرطوب، و SPI در فاصله بین ۰/۹۹- تا ۰/۹۹+، وضعیت رطوبتی نرمال در نظر گرفته شد. نحوه طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است.

سپس با استفاده از آزمون‌های آماری کلموگراف-اسمیرنف (K-S) و K اسکور توزیع داده‌های بارندگی بررسی شد. آزمون‌های آماری نشان داد که مناسب‌ترین توزیع بر داده‌های بارندگی، توزیع گاما می‌باشد. در این مرحله مقادیر نمایه بارش استاندارد شده (SPI) برای هر یک از ایستگاه‌های مورد بررسی توسط نرم‌افزار DIP^۱ (مرید و همکاران، ۱۳۸۴) تعیین گردید. با توجه به کوتاه

1 . Drought Indices Package

جدول ۳: طبقه‌بندی وضعیت رطوبتی براساس شاخص نمایه بارش استاندارد شده (SPI) در

ایستگاه‌های مورد مطالعه

مقادیر SPI	طبقه‌بندی خشکسالی	فراوانی نسبی	فراوانی تجمعی
۱/۰۰ یا بیشتر	مرطوب	تقریباً ۱۶ درصد	بیشتر از ۸۴ درصد
۰/۹۹- تا ۰/۹۹	نرمال	تقریباً ۶۸ درصد	۱۶ تا ۸۴ درصد
۱/۰۰- یا کمتر	خشک	تقریباً ۱۶ درصد	کمتر از ۱۶ درصد

در مورد هر ایستگاه، پس از تعیین وضعیت رطوبتی در هر سال، عناصر ماتریس احتمال تغییر وضعیت در هر یک از ایستگاه‌ها، با شمارش تعداد دفعاتی که سری SPI از حالت i به حالت j انتقال پیدا کرده و با استفاده از رابطه (۱۳) محاسبه شد.

پس از تعیین مقادیر ماتریس احتمال، تغییر وضعیت سالانه در هر ایستگاه، با توجه به این که عناصر واقع در قطر اصلی این ماتریس احتمال ماندگاری (در همان وضعیت قبلی) را نشان می‌دهد، احتمال ماندگاری در سه وضعیت مرطوب، نرمال و خشک تعیین گردید. سپس متوسط زمان تداوم هر یک از وضعیت‌های رطوبتی براساس احتمال ماندگاری و از رابطه ۱۶ محاسبه شد. همچنین احتمال حالت پایا در هر یک از سه وضعیت رطوبتی از رابطه (۱۷) محاسبه گردید. عناصر این ماتریس به گونه‌ای محاسبه می‌شود که حاصل عبارت معادله (۱۷) به یک ماتریس صفر تبدیل شده و مجموع عناصر ماتریس (Φ) ، یک گردد.

با توجه به این که در این پژوهش ماتریس‌های احتمال انتقال ارائه شده تنها وضعیت یک سال آینده را با توجه به شرایط فعلی مشخص می‌نماید، با ضرب متوالی این ماتریس در خود، احتمال حالت خشکی برای ۱، ۲، و ۱۰ سال آینده به همراه دوره‌های بازگشت آن محاسبه شد.

نتایج و بحث

بر اساس سه حالت خشک، نرمال و مرطوب و مدل شرح داده شده، ماتریس‌های احتمال انتقال سری‌های زمانی SPI در مقیاس سالانه برای ۷ ایستگاه محاسبه و نتایج در جدول ۴ ارائه گردید. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، احتمال تغییر حالت از مرطوب به خشکی در همه ایستگاه‌ها بین ۱۱ تا ۲۰

درصد می‌باشد. در حالی که احتمال تغییر حالت از خشکی به مرطوب، بین صفر تا ۶۷ درصد است و از نوسانات بیشتری نسبت به تغییر حالت از مرطوب به خشکی برخوردار است. هم‌چنین با توجه به همین جدول، در تمام ایستگاه‌ها به استثناء دو ایستگاه سد گرگان و گنبد، احتمال تغییر حالت از مرطوب به خشکی نسبت به تغییر حالت از خشکی به مرطوب بیشتر است. به طوری که حتی در ایستگاه‌های تنگراه و مراوه‌تپه احتمال تغییر حالت از خشک به مرطوب صفر نشان داده شده است. به عبارت دیگر در این ایستگاه‌ها در طول دوره مورد بررسی هیچ‌گاه پس از خشک‌سالی بلافاصله ترسالی رخ نداده است. این موضوعات از نظر برنامه‌ریزی منابع آب بسیار مهم می‌باشد. زیرا بر اساس این نتایج احتمال این که پس از هر ترسالی بلافاصله خشک‌سالی رخ دهد نسبتاً زیاد است. در حالی که احتمال وقوع ترسالی پس از خشک‌سالی کم می‌باشد.

بر اساس نتایج حاصل از ماتریس احتمال انتقال سالانه وضعیت رطوبتی، احتمال ماندگاری، زمان تداوم و حالت پایا محاسبه شد. شکل ۲ (الف) نشان می‌دهد که احتمال ماندگاری وضعیت نرمال (N) با توجه به سال قبل در تمامی ایستگاه‌ها نسبت به دو وضعیت خشک (D) و مرطوب (W) بیشتر است و از ۰/۵۰ در ایستگاه گنبد تا ۰/۸۴ در ایستگاه وطن در تغییر است. به‌طور کلی احتمال ماندگاری وضعیت خشک‌سالی تقریباً بیشتر از ماندگاری وضعیت ترسالی است. به استثناء ایستگاه مراوه‌تپه که با داشتن اقلیم خشک و نیمه خشک، احتمال ماندگاری ترسالی را بیشتر نشان داده و احتمال ماندگاری خشک‌سالی را صفر نشان می‌دهد. در حالی که در ایستگاه وطن با اقلیم مرطوب احتمال ماندگاری وضعیت خشک‌سالی ۸۰ درصد برآورد شده است.

جدول ۴: ماتریس احتمال انتقال SPI سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه استان گلستان

الف) ایستگاه اینچه‌برون			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۴۰	۰/۴۰	۰/۲۰
نرمال	۰/۰۵	۰/۷۹	۰/۱۶
خشک	۰/۱۴	۰/۴۳	۰/۴۳

ب) ایستگاه تنگراه			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۴۰	۰/۲۹	۰/۵۷
نرمال	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۷۱
خشک	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۶۷

ج) ایستگاه سد گرگان			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۲۲	۰/۶۷	۰/۱۱
نرمال	۰/۱۶	۰/۷۴	۰/۱۱
خشک	۰/۶۷	۰/۰۰	۰/۳۳

د) ایستگاه گنبد			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۶۳
نرمال	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵۰
خشک	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۵۷

ه) ایستگاه مراوه‌تپه			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۲۹	۰/۵۷	۰/۱۴
نرمال	۰/۱۹	۰/۶۷	۰/۱۴
خشک	۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰

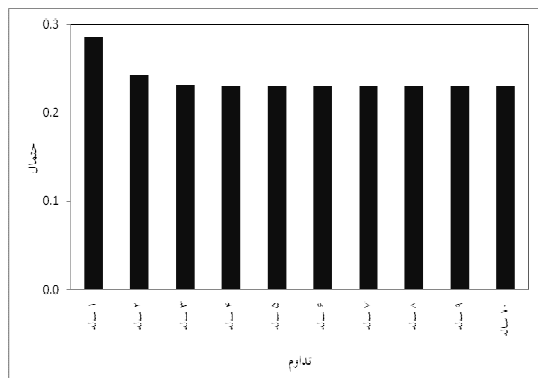
و) ایستگاه ناهارخوران			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۵۰
نرمال	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۶۷
خشک	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۴۳

ز) ایستگاه وطننا			
زمان $i+1$		زمان i	
خشک	نرمال	مرطوب	
مرطوب	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۱۴
نرمال	۰/۰۵	۰/۸۴	۰/۱۱
خشک	۰/۰۰	۰/۲۰	۰/۸۰

گنبد بیشتر از مقدار تئوری، محاسبه شده است. فراوانی خشک‌سالی ایستگاه‌های اینچه‌برون، تنگراه، ناهارخوران و وطننا بیشتر از مقدار تئوری می‌باشد. در حالی که در دو ایستگاه سد گرگان و مراوه‌تپه، فراوانی ترسالی بیشتر از مقدار تئوری، محاسبه شده است. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که در ایستگاه‌های مناطق کم‌باران و خشک (شامل ایستگاه‌های سد گرگان، مراوه‌تپه و گنبد) فراوانی ترسالی بیشتر از مقدار تئوری آن (۱۶ درصد) می‌باشد، در حالی که در ایستگاه‌های مناطق پرباران (شامل

با توجه به شکل ۲ (ب) میانگین تداوم وضعیت رطوبتی نرمال در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشتر از دو وضعیت دیگر است. دوره تداوم خشک‌سالی پیش‌بینی شده در مقیاس سالانه از حداقل یک دوره در مراوه‌تپه تا پنج دوره در وطننا در نوسان است. میانگین تداوم پیش‌بینی شده دوره‌های مرطوب نیز از ۱/۲۹ سال در سد گرگان تا ۱/۷۵ سال در وطننا در تغییر است.

شکل ۲ (ج) درصد فراوانی هر یک از وضعیت‌های رطوبتی را در مقیاس سالانه نشان می‌دهد. درصد فراوانی هر دو وضعیت خشک‌سالی و ترسالی در ایستگاه



شکل ۳: احتمال تعادل تا ۱۰ سال آینده برای ایستگاه گنبد

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

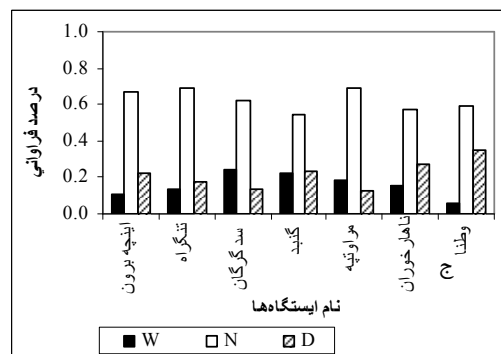
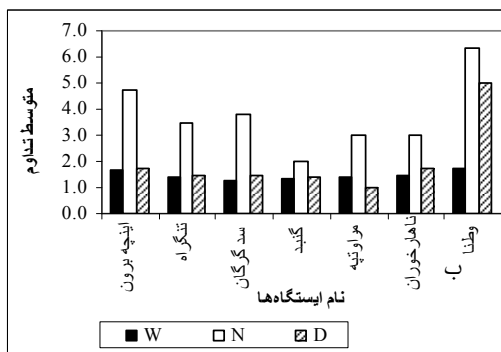
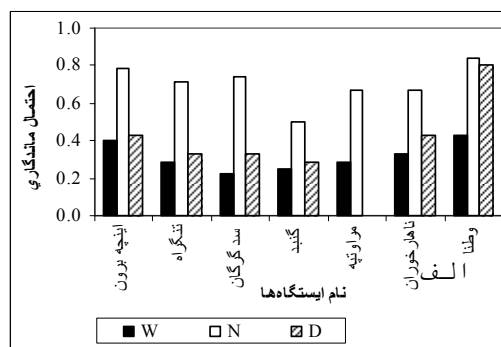
در ایستگاه‌های مورد مطالعه، به‌طور متوسط احتمال ماندگاری، متوسط تداوم و احتمال حالت پایا (فراوانی) وضعیت نرمال بیش از وضعیت خشک و شرایط خشک بیش از شرایط مرطوب می‌باشد که با نتایج استینمن (۲۰۰۳) و رضیئی و همکاران (۱۳۸۶) همسو می‌باشد.

احتمال حالت پایا (فراوانی) در دو وضعیت مرطوب و نرمال کمتر از مقدار تئوری و در وضعیت خشک‌سالی بیشتر از مقدار تئوری است. این موضوع حاکی از آن است که ریسک استان در برابر پدیده خشک‌سالی بیشتر است. به‌طور متوسط با افزایش طول دوره، احتمال تعادل وضعیت خشکی در استان کاهش و دوره بازگشت آن افزایش می‌یابد. در ایستگاه‌های مناطق کم‌باران و خشک فراوانی ترسالی بیشتر از مقدار تئوری آن می‌باشد در حالی که در ایستگاه‌های مناطق پر باران، فراوانی خشک-سالی بیشتر از میزان تئوری آن است.

با بررسی نتایج حاصل از احتمال ماندگاری، متوسط زمان تداوم و فراوانی خشک‌سالی در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که خصوصیات خشک-سالی در مناطق مختلف استان متفاوت است. در حالی که می‌توان همه ایستگاه‌های مورد مطالعه را در دو اقلیم متفاوت در نظر گرفت. این موضوع می‌تواند به تاثیر سایر عوامل جغرافیایی از جمله ارتفاع، توپوگرافی منطقه، دوری و نزدیکی به دریای خزر، منبع تامین رطوبت و بارندگی و عواملی از این قبیل مربوط باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که پژوهش‌های بیشتری در رابطه با اثر این عوامل بر خصوصیات خشک‌سالی صورت گیرد.

ایستگاه‌های تنگراه، ناهارخوران و وطن (فراوانی خشک-سالی بیشتر از میزان تئوری آن می‌باشد).

هم‌چنین احتمال تعادل ایستگاه‌های مورد مطالعه با ضرب مکرر این ماتریس‌ها در خود، برای حالت خشکی محاسبه شد که در این پژوهش برای نمونه نتایج ایستگاه گنبد ارائه گردیده است (شکل ۳). نتایج نشان می‌دهد که احتمال پایداری وضعیت خشکی در ایستگاه گنبد در تداوم ۱ ساله بیشتر بوده و به ترتیب با افزایش این تداوم از میزان آن کاسته می‌شود. به‌طوری‌که به‌طور متوسط بعد از ۳ سال به حالت تعادل و یک مقدار نسبتاً ثابت رسیده‌است.



شکل ۲: خصوصیات هر یک از وضعیت‌های رطوبتی سالانه با

توجه به سال آبی قبل

الف- احتمال ماندگاری، ب- متوسط تداوم، ج- درصد فراوانی

منابع

- آشگر طوسی، ش.، علیزاده، ا. و جوانمرد، س. ۱۳۸۳. پیش‌بینی احتمال وقوع خشک‌سالی در استان خراسان، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، ج ۱۸، ص ۱۱۹-۱۲۸.
- چناری، م. ۱۳۸۴. بررسی تغییرات چند نمایه مختلف خشک‌سالی با استفاده از زنجیره مارکف در نمونه‌های اقلیمی البرز جنوبی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۵۹ ص.
- دل‌افکار، ه.، بارگاهی، خ. و روحیان، م. ۱۳۸۴. پیش‌بینی وقوع خشک‌سالی در حوضه آبریز مند (استان بوشهر) با استفاده از زنجیره مارکف، دومین کنفرانس سراسری آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک. کرمان ۳ تا ۴ اسفند ماه. ص ۵۳۰-۵۳۷.
- رضیئی، ط.، دانش‌کار آراسته، پ.، اختری، ر. و ثقفیان، ب. ۱۳۸۶. بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی (اقلیمی) در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف، فصل‌نامه تحقیقات منابع آب ایران، ج ۳، ش. ۱، ص ۳۵-۲۵.
- مرید، س.، مقدسی، م.، پایمزد، ش. و قائمی، ه. ۱۳۸۴. طراحی سیستم پایش خشک‌سالی استان تهران، طرح تحقیقاتی کاربردی وزارت نیرو، ۲۵۳ ص.
- Abebe, A. and Forch, G. 2007. Stochastic Simulation of the Severity of Hydrology Drought, J. Water and Environment, 21: 223-233.
- Edwards, D. C. and. McKee, T. B. 1997. Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. Climatology Report Number 97- 2, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, 174 pp.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J. 1993. The relation of drought frequency and duration to time scales. Proceedings, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, 379-384.
- Mishra, A. K. and Desai, V. R. 2006. Drought Forecasting Using Feed-Forward Recursive Neural Network, Ecological Modeling, 98: 127-138.
- Palmer, W. C. 1965. Meteorological drought, Research Paper No. 45, Washington, D.C:U.S. Wather Bureau. 59 pp.
- Paulo, A. A., Ferreira, E., Coelho, C. and Pereira, L. S. 2005. Drought class transition analysis through Markov and Loglinear models, an approach to early warning, Agricultural Water Management, 77: 59-81.
- Sharma, B. R. and Smakhtin, V. U. 2004. Potential of water harvesting as a strategic tool for drought mitigation, International Water Management Institue. 24 pp.
- Steinmann, A. 2003. Drought Indicators and Triggers: A Stochastic Approach to Evaluation. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), 39(5):1217-1233.
- Thom, H. C. S. 1958. A note on the gamma distribution, Weather Bureau, 86(4): 117-122.
- Thompson, S. A. 1999. Hydrology for water management, Balkema, Rotterdam Netherlands.

Identification and Prediction of Some Drought Characteristics in Golestan Province, Using Markov Chain

Mosaedi¹, A. and Eivazi², M.

Abstract

Drought is one of the most important climate phenomena which occurs in all climate conditions and regions of the world. This phenomenon has been less understood, in comparison with flood event. Meanwhile, its properties recognition is more complex than flood properties. In this study, Markov Chain was applied for identification of some drought properties. After sufficient statistical tests, 7 rain gauge stations in Golestan Province with monthly rainfall data for at least 30 years records until the end of hydrological year 2006-2007 were selected. Drought conditions of each station were investigated in annual period, using Standardized Precipitation Index (SPI). Then transition probability matrixes in any station were created, and their persistence probability, duration and relative frequency were determined for each drought condition. Results of this study showed that normal condition of persistence probability, duration and frequency is higher than dry condition, Moreover, the amounts of these characteristics in dry conditions is higher than wet condition.

Keyword: Drought characteristics, Persistence probability, Drought duration, Relative frequency, Markov chain.

1 and 2. Associate Professor and M.Sc. Student, Department of Water Eng. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
