Archive of SID

جغرافیا و توسعه شماره ۲۵ زمستان ۱۳۹۰
وصول مقاله : ۱۳۸۹/۷/۱۵
تأیید نهایی : ۱۳۹۰/۳/۲۹
صفحات : ۲۰-۱

بررسی ساختار تداوم دو وضعیتی بارش‌های سالانه‌ی جنوب ایران با استفاده از مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف

دکتر بهلول علیجانی[۱]، پیمان محمودی[۲]، عبدالجبار چوگان[۳]، مرتضی بیشه‌نیاسر[۴]

چکیده

بارش به عنوان مهمترین عنصر اقلیمی همواره در سرزمین ایران از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار بوده است. هدف از این تحقیق استفاده از مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف جهت مدلسازی تداوم وضعیت‌های دوحالته ایران جهت شناخت بهتر وضعیت ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها برای مدیریت بهینه منابع آب در این قسمت از کشور است. بنابراین جهت این مدلسازی، داده‌های مربوط به بارش سالانه ۳ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بوشهر، جاسک و شیراز که دارای طولانی‌ترین داده‌ها در جنوب کشور می‌باشند، استفاده گردید. شاخص‌هایی که از این مدل استخراج می‌شوند عبارتند از: شاخص تفکیک وضعیت تر و خشک (WADSI)، شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم (SSI)، شاخص زمان ماندگاری وضعیت (SRT) و شاخص شدت ساختار تداوم (SPS). نتایجی که از این مدل برای بارش‌های سالانه‌ی جنوب ایران حاصل آمد عبارتند از:

بر اساس شاخص تفکیک وضعیت‌های خشک و تر (WADSI)، تفکیک سال‌های خشک و تر برای سه ایستگاه مورد مطالعه در جنوب ایران به آسانی امکان‌پذیر است. مقادیر شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم (SSI) برای سه ایستگاه مورد مطالعه در جنوب ایران حاکی از ماندگاری ضعیف در وضعیت‌های خشک و تر برای ایستگاه شیراز و ماندگاری متوسط برای ایستگاه جاسک و بوشهر است. مدت‌زمان ماندگاری هر کدام از وضعیت‌های خشک و تر برای سه ایستگاه مورد مطالعه در محدوده‌ی ۴-۱ قرار دارد.

مدل نهایی تحقیق برای بارش‌های سالانه‌ی جنوب ایران با استناد به یکسان بودن شدت ساختار تداوم ایستگاه‌ها $[W, W, WADSI]$، تشخیص داده شد که بیانگر ساختاری کاملاً محتمل برای داشتن تداوم دو وضعیتی هستند.

کلیدواژه‌ها: بارش، تداوم بارش، مدل نهان زنجیره‌ی مارکوف، جنوب ایران.

۱- استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت معلم، تهران boalijani@yahoo.com
۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان (نویسنده مسؤول) paymanasia@yahoo.com
۳- کارشناس ارشد اقلیم‌شناسی، مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی، استان گلستان chogan_2002@yahoo.com
۴- دانشجوی دکتری ریاضی، کاربردی دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان Bishei@mail.usb.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بارش به عنوان مهمترین عنصر اقلیمی همواره در سرزمین ایران از پیچیدگی‌های خاصی برخوردار بوده است. بطوری‌که محققان بسیاری کوشیده‌اند تا در تحقیقات خود به تبیین دقیق این تغییرپذیری‌ها در حوضه‌های مختلف بپردازند *(مسعودیان، ۱۳۷۷؛ ذوالفقاری، ۱۳۷۹؛ استوار میمندی، ۱۳۷۹؛ خسروی،۱۳۸۱؛ بابائی‌فینی،۱۳۸۲؛ مسعودیان، ۱۳۸۲: ۸۸-۷۹؛ عطائی، ۱۳۸۳؛ مسعودیان، ۱۳۸۴: ۶۱-۴۷)*.

یکی از تکنیک‌های آماری که امروزه جهت مدلسازی ویژگی‌های بارشی، زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل زنجیره‌ی مارکوف است. مدل زنجیره‌ی مارکوف یک تکنیک ریاضی جهت تحلیل پدیده‌های تصادفی می‌باشد که تداومی از مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد *(طالشی، ۱۳۸۴: ۳۵)*. در واقع در روش زنجیره مارکوف یک سری از مشاهدات و تغییر هر کدام از مشاهدات از حالتی به حالت دیگر مورد بررسی قرار می‌گیرد *(علیزاده، ۱۳۸۳: ۲۸۸)*. استفاده از این مدل به دلیل توانمندی‌هایی که در محاسبه‌ی دوره‌های خشک و تر و همچنین ساده کردن حل بسیاری از مسایل مربوط به فرآیندهای وابسته دارد، بسیار مورد توجه محققین مختلف در رشته‌های گوناگون علوم جوی قرار گرفته است *(استرن[1]، ۱۹۸۲: ۴۲۳-۴۲۰؛ مون و همکاران[2]،۱۹۹۴: ۱۰۱۶-۱۰۰۹؛ کتز[3]، ۱۹۷۷: ۶۷۶-۶۷۱؛ دهال و همکاران[4]، ۱۹۹۴: ۳۹-۲۷؛ چین[5]، ۱۹۷۷: ۹۵۶-۹۴۹؛ کاسکی[6]، ۱۹۷۷: ۳۰۱-۲۸۱؛ مارتین واید و گومز[7]، ۱۹۹۹؛ جعفری‌بهی، ۱۳۸۷؛ قادرمرزی، ۱۳۸۰؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۸-۱۵؛ حجازی‌زاده و شیرخانی، ۱۳۸۴: ۳۱-۱۳)*. اما مشکل اصلی که در مدل‌های زنجیره مارکوف وجود دارد زیاد توانمند نبودن این مدل‌ها در مدلسازی دوره‌های بلندمدت تر و خشک مشاهده شده در سری‌های زمانی است. لذا تایر و کوک‌زرا[8] *(۱۹۹۹: ۵۵۵-۵۵۰ و ۲۰۰۰: ۳۳۱۰-۳۳۰۱)* یک مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف را با این فرض که شرایط آب و هوایی هر منطقه ترکیبی از دوحالت خشک و تر می‌باشند، توسعه دادند. آنها از این مدل جهت مدلسازی بارش‌های سالیانه ۵ ایستگاه هواشناسی در استرالیا بهره بردند و نتیجه‌ای که حاصل آمد این بود که فقط دو ایستگاه یعنی ایستگاه‌های بریسبان و سیدنی دارای تداومی دو وضعیتی بوده‌اند.

1-Stern
2-Moon and et al
3-Katz
4-Dahale and et al
5-Chin
6-Caskey
7-Martin-Vide and Gomez
8-Thyer and Kuczera

www.SID.ir

Archive of SID

قبل از این زوچینی و گوتورپ[1] *(۱۹۹۱: ۱۹۲۷-۱۹۲۳)* نیز جهت شبیه‌سازی الگوهای وقوع یا عدم وقوع بارش‌های روزانه در چندین ایستگاه مختلف از این مدل بهره برده بودند. تعریفی که آنها از لحاظ آماری از وضعیت " اقلیم" در این تحقیق ارایه داده بودند مبتنی بر الگوی وقوع بارش همزمان در چندین ایستگاه مختلف بود.

تایر نیز در سال ۲۰۰۱ با انتخاب عنوان "مدلسازی ماندگاری بلندمدت در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی" برای رساله‌ی دکتری خود در دانشگاه نیوکاسل استرالیا، کاربرد این مدل را در مدلسازی بارش‌های سالانه و ارتباط این ماندگاری‌ها با الگوهای ارتباط از دور جوی اقیانوسی به خوبی نشان داده است. اما تنها کاری که در ایران با استفاده از این مدل انجام گرفته است مربوط به‌کار طالشی (۱۳۸۴) بوده است. ایشان با انتخاب ۴۲ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک که دارای طولانی‌ترین داده‌های بارش‌سالانه بوده‌اند، اقدام به مدلسازی ماندگاری دوره‌های تر و خشک نمودند و ایستگاه‌های کشور را در سه دسته طبقه‌بندی نمودند.

از کارهای انجام گرفته دیگری که از این مدل جهت شبیه‌سازی ویژگی‌های اقلیمی در گوشه و کنار جهان بهره برده‌اند می‌توان به کارهای *(تایر و کوک‌زرا، ۲۰۰۳: ۴۸-۲۷؛ تایر و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۲۸-۳۱۳؛پرالت و همکاران[2]،۲۰۰۴: ۱؛ بلون و همکاران[3]، ۲۰۰۰: ۱۲-۱)* اشاره نمود. تحقیق تحقیق حاضر نیز در پی استفاده از مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف جهت مطالعه‌ی مجموعه‌ای بزرگ از داده‌های بارش در اقلیم جنوب ایران و تعیین تداوم وضعیت‌های دوحالته آن می‌باشد. اهدافی که این تحقیق در پی دست یافتن به آن است عبارتند از:

- اول، دستیابی به چهارچوب مفهومی جدیدی جهت شبیه‌سازی تداوم‌های بلندمدت وضعیت-های تر و خشک برای افزایش دانش آب‌شناسانه و اقلیم‌شناسانه از جنوب ایران.
- دوم، استفاده از این مدل جهت تشخیص و پیش‌بینی میزان تداوم وضعیت‌های خشک و تر در این قسمت از ایران جهت مدیریت بهتر خشکسالی‌ها می‌باشد.

داده‌های تحقیق

بر اساس تحقیقاتی که تایر و کوک‌زرا در سال ۲۰۰۰ بر روی داده‌های بارش سالیانه‌ی استرالیا انجام داده‌اند، به این نتیجه رسیده‌اند که جهت آشکارسازی تداوم‌های دو حالته در مقیاس سالیانه‌ی به حداقل ۱۲۰ سال داده نیاز است. با وجود این اظهار نظر تصمیم بر این

1-Zucchini and Guttorp
2-Perreault and et al
3-Bellone and et al

www.SID.ir

Archive of SID

گرفته شد برای مدلسازی بارش‌های سالانه‌ی جنوب ایران و دستیابی به یک الگوی بارشی مناسب در این زمینه، داده‌های مربوط به بارش سالانه‌ی ۳ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک بوشهر، شیراز و جاسک که دارای طولانی‌ترین داده‌های ممکن در کشور هستند مورد استفاده قرار گیرد.

داده‌های مربوط به بارش سالیانه این سه ایستگاه از سال ۱۹۵۱ به بعد برای دو ایستگاه شیراز و بوشهر و از سال ۱۹۶۸ به بعد برای ایستگاه جاسک از اداره کل خدمات ماشینی و کاربرد در کامپیوتر سازمان هواشناسی کشور اخذ و بقیه‌ی داده‌ها نیز از داده‌های کتاب اسمیت سونین[1] (دوره‌ی آماری ۱۸۷۶ تا ۱۹۵۰ برای بوشهر و دوره‌ی آماری ۱۸۹۳ تا ۱۹۵۰ برای جاسک) و آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی سازمان آب منطقه‌ای استان فارس (۱۹۵۱- ۱۹۲۵) برای شیراز مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات جغرافیایی سه ایستگاه مورد مطالعه در جدول شماره‌ی ۱ و پراکنش جغرافیایی آنها در شکل شماره یک آورده شده است.

جدول ۱ : مشخصات ایستگاههای هواشناسی مورد استفاده در مطالعه

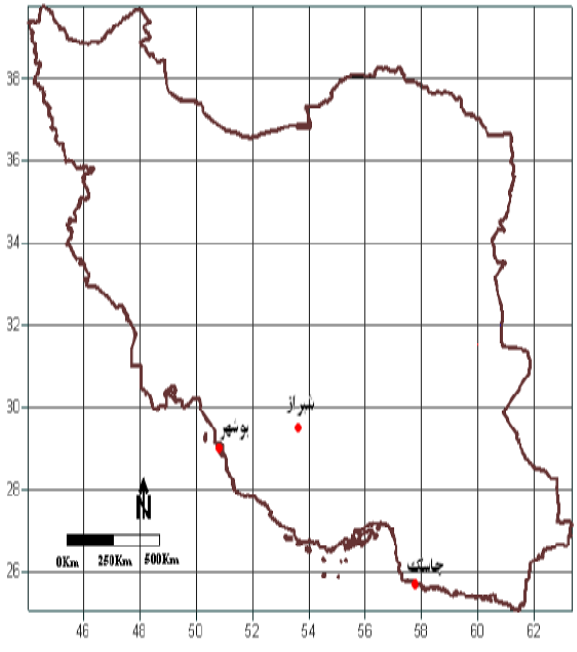
نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع	سال تأسیس	دوره آماری	نوع ایستگاه
شیراز	۲۹° ۳۶'	۵۲° ۳۶'	۱۴۸۴	۱۹۵۱	۸۱	سینوپتیک
جاسک	۲۵° ۳۸'	۵۷° ۴۶'	۵/۲	۱۹۶۸	۱۱۳	سینوپتیک
بوشهر	۲۸° ۵۹'	۵۰° ۵۰'	۱۹/۶	۱۹۵۱	۱۲۸	سینوپتیک

مأخذ : سازمان هواشناسی کشور

1-Smithsonian Miscellaneous Collections

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه

مأخذ: نگارندگان

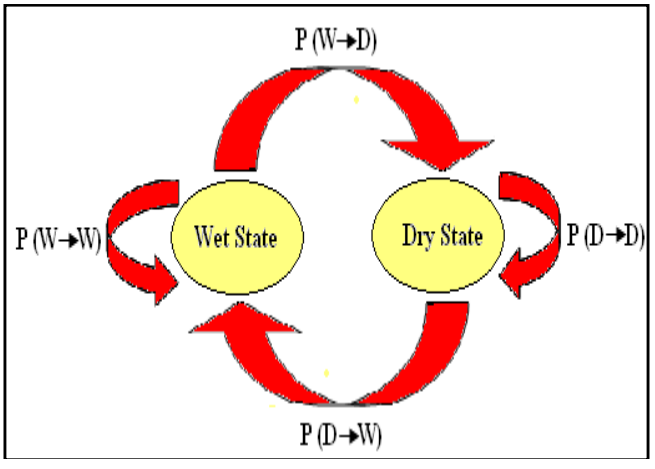
روش تحقیق

مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف بر این فرض استوار است که اقلیم هر منطقه ترکیبی از دو حالت تر و خشک است و هر حالت نیز دارای توزیع نرمال جداگانه‌ای است. انتقال از یک وضعیت به وضعیت دیگر با استفاده از ماتریس احتمال انتقال بیان می‌شود. چنانچه احتمال انتقال از یک وضعیت به وضعیت دیگر (خشک به مرطوب یا مرطوب به خشک) به اندازه‌ی کافی کم باشد، وضعیت آب و هوا برای چندین سال پایدار می‌ماند.

این شرایط، مکانیسم مشخصی را جهت شبیه‌سازی دوره‌های تغییرپذیر خشک و تر فراهم می‌آورد. ساختار مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف در شکل شماره‌ی۲ نشان داده شده است. در مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف، شبیه‌سازی بارش سالانه ایران، شامل یک فرایند دو مرحله‌ای است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: نمایش شماتیکی ساختار مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف

مأخذ: تایر، ۲۰۰۱

در مرحله‌ی اول، بارش سالانه‌ی هر کدام از ایستگاه‌ها با استفاده از شاخص نمره‌ی استاندارد در یکی از وضعیت‌های تر(W) یا خشک (D) طبقه‌بندی می‌شوند؛ بطوری که سال‌هایی که نمرات استاندارد آنها پایین‌تر از صفر بود به عنوان سال خشک و سال‌هایی که نمرات استاندارد آنها بالاتر از صفر بود به عنوان سال تر مشخص شد. در ادامه بعد از مشخص نمودن سال‌های خشک و تر از یکدیگر، سال‌های تر در یک گروه و سال‌های خشک در گروه دیگری قرار داده شد. میانگین و انحراف معیار هر گروه نیز جداگانه محاسبه گردید.

گام بعدی در همین مرحله‌ی اول، برازش مدل زنجیره‌ی مارکوف بر داده‌های استاندارد شده بارش سالانه‌ی ایستگاه‌ها بود. مدل زنجیره مارکوف یک تکنیک ریاضی جهت مدلسازی پدیده‌های تصادفی می‌باشد که توالی از مشاهدات را در طول زمان نشان می‌دهد. معمولی‌ترین شکل مدل زنجیره‌ی مارکوف، زنجیره‌ی مارکوف مرتبه‌ی اول می‌باشد که به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$P_r\{X_{t+1}\big|X_t, X_{t-1},\ldots, X_1\} = P_r\{X_{t+1}\big|X_t\} \qquad (۱)$$

در این رابطه، P_r احتمال شرطی و بیان‌کننده‌ی این مفهوم است که نتیجه‌ی هر فرآیند در زمان $t+1$ تنها به شرایط در زمان t بستگی دارد یعنی پیش‌بینی شرایط سال آینده، منحصراً به وسیله‌ی داده‌های امسال صورت می‌گیرد و داده‌های پارسال در آن اطلاعات اضافه‌ای فراهم نمی‌کنند. اکنون ماتریس فراوانی انتقالات(n_{ij}) و ماتریس احتمال انتقالات (p_{ij}) بین دو حالت متوالی وقوع روزهای بارش به شرح زیر می‌تواند ارایه شود :

www.SID.ir

Archive of SID

$$P = \begin{matrix} \\ W \\ D \end{matrix} \begin{matrix} \begin{matrix} W & D \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} \\ p_{10} & p_{11} \end{bmatrix} \end{matrix} \qquad N = \begin{matrix} \\ W \\ D \end{matrix} \begin{matrix} \begin{matrix} W & D \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} n_{00} & n_{01} \\ n_{10} & n_{11} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

که n_{ij} و P_{ij} به‌ترتیب بیانگر فراوانی و احتمال حالت‌های انتقال ازحالت i به دیگر حالت‌های ممکن j می‌باشد *(مون و همکاران، ۱۹۹۴: ۱۰۱۱-۱۰۱۰)*.

در نهایت در این مرحله احتمال ساکن وقوع سال‌های خشک و تر که یکی از پارامترهای مهم جهت تنظیم مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف می‌باشد از طریق تقسیم تعداد سال‌های خشک یا تر بر تعداد کل سال‌ها به دست می‌آید. البته نبایستی فراموش نمود که وابستگی و ایستایی مدل و برازش آن بر داده‌ها توسط آزمون خی دو قبلاً تأیید گردیده است.

در مرحله‌ی دوم، به منظور تشخیص ساختار تداوم دو وضعیتی و تفسیر نتایج کاربرد مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف در سری‌های زمانی بارش سالانه چندین شاخص به‌شرح ذیل مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- شاخص تفکیک وضعیت تر و خشک (WADSI)[1] که به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$WADSI = \frac{\mu_W - \mu_D}{\sqrt{\sigma_W^2 + \sigma_D^2}} \qquad (۲)$$

این شاخص اندازه‌ای مناسب جهت تفکیک وضعیت‌های تر و خشک از یکدیگر می‌باشد. به عنوان مثال اگر تفاوت بین میانگین‌های خشک و مرطوب بزرگ باشد بنابراین مقدار WADSI نیز نسبتاً بالا خواهد بود. به‌طور کلی مقادیر شاخص تفکیک وضعیت‌های خشک و مرطوب بر اساس جدول شماره‌ی ۲ در سه طبقه دسته‌بندی می‌شوند.

جدول ۲ : طبقه‌بندی مقادیر شاخص تفکیک وضعیت‌های خشک و مرطوب

ردیف	مقادیر WADSI	طبقه WADSI
۱	$WADSI < 1.5$	پایین
۲	$1.5 < WADSI < 2$	متوسط
۳	$2 < WADSI$	بالا

مأخذ: تایر، ۲۰۰۱

1-Wet And Dry Separation Index

www.SID.ir

Archive of SID

شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم (SSI)[1] که شکل فرمولی آن به شرح ذیل است :

$$SSI = \frac{\sum |P(W) - 0.5|}{N} \qquad (۳)$$

مقادیر SSI نزدیک به صفر عدم ماندگاری بارش در وضعیت‌های تر یا خشک را نشان می‌دهد. مقادیر SSI در حدود ۰/۳ عموماً نشانگر ماندگاری وضعیت اقلیم در یکی از حالت‌های خشک و مرطوب است، اما این مقدار بایست با بازدید از یک قسمت از سری‌های زمانی احتمال پسین درسالی که به عنوان مرطوب طبقه‌بندی شده است $wet\{P(s_t = W|Y_N)$ مورد تأیید واقع شود. طبقه‌بندی مربوط به شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم در جدول شماره‌ی ۳ آورده شده است.

جدول ۳ : طبقه‌بندی مقادیر شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم

ردیف	مقادیر SSI	طبقه SSI
۱	0 – 0.15	پایین
۲	0.15 – 0.3	متوسط
۳	0.3 – 0.45	بالا

مأخذ: تایر، ۲۰۰۱

- شدت ساختار تداوم برای هر یک از وضعیت‌های خشک و مرطوب، با تعداد سال‌هایی که اقلیم در آن وضعیت تداوم می‌یابد، نشان داده می‌شود، که به زمان ماندگاری وضعیت (SRT)[2] معروف است. زمان ماندگاری وضعیت طولانی، نشانگر ساختار تداوم شدید است. امید ریاضی زمان ماندگاری وضعیت E(SRT) ، از روی احتمالات انتقال محاسبه می‌شود و برای هر یک از وضعیت‌ها برابر است با معکوس احتمال انتقال همان وضعیت به وضعیت دیگر:

$$E(SRT_D) = \frac{1}{P_{DW}}; E(SRT_W) = \frac{1}{P_{WD}} \qquad (۴)$$

از آنجاکه دامنه‌ی تغییرات احتمال انتقال ار صفر تا یک متغیّر است لذا E(SRT) نیز بی‌نهایت تا یک متغیّر است. حال می‌توان برای شدت ساختار تداوم (SPS)[3] یک‌سیستم طبقه‌بندی بر پایه E(SRT) تعریف کرد که در جدول شماره‌ی ۴ نشان داده شده است. این سیستم طبقه‌بندی یک‌قدرت تشخیص اختیاری از یک‌زنجیره که همان شدت ساختار تداوم است، ترسیم می‌کند.

1-State Signal Index
2-State Residence Time
3-Strength of the Persistence Structure

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴: طبقه‌بندی شدت ساختار تداوم

ردیف	دامنه E(SRT)	طبقه SPS
۱	1-4	ضعیف (W)
۲	4-10	متوسط (M)
۳	10-25	شدید (S)
۴	25<	خیلی شدید (VS)

مأخذ: تایر، ۲۰۰۱

ساختار تداوم دو وضعیتی به‌وسیله‌ی شاخص‌های $[WADSI, SPS_D, SPS_W]$ آشکار می‌شود، جایی‌که W و D بر وضعیت‌های خشک و مرطوب دلالت می‌کنند. یافته‌های جامع حاصل از تنظیم این مدل در بخش بعدی به‌طور کامل ذکر می‌شود. لازم به‌ذکر است که تمام محاسبات انجام شده جهت دستیابی به شاخص‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزاری Excel انجام شده است. جهت کسب جزییات بیشتر در مورد تنظیم این فرایند می‌توان به کارهای تایر و کوک‌زرا (۲۰۰۰) و تایر (۲۰۰۱) مراجعه شود.

تجزیه و تحلیل

جهت مدلسازی بارش‌های سالانه‌ی جنوب ایران با استفاده از مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف، ابتدا بارش‌های سالانه هر یک از ایستگاه‌ها به نمره‌ی استاندارد تبدیل و سپس هر یک از سال‌های دوره‌ی آماری آنها، به‌صورت جداگانه دریکی از وضعیت‌های تر (W) یا خشک (D) طبقه‌بندی شد. در ادامه برای هر یک از وضعیت‌ها، میانگین و انحراف معیار آنها محاسبه گردید که نتایج آن در جدول شماره‌ی ۵ آورده شده است.

جدول ۵: میانگین و انحراف معیار دوره‌های خشک و تر بارش‌های سالانه‌ی ایستگاهها (میلی‌متر)

ردیف	دوره خشک (-)			دوره تر (+)		
	نام ایستگاه	میانگین	انحراف‌معیار	نام ایستگاه	میانگین	انحراف معیار
۱	بوشهر	۱۹۳	۵۵/۹۶	بوشهر	۴۰۲	۱۴۳/۹۱
۲	شیراز	۲۶۱/۱	۶۷/۰۶	شیراز	۴۷۳/۵	۷۷/۳۵
۳	جاسک	۷۶	۳۴/۰۵	جاسک	۱۹۸	۷۶/۳۶

مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive of SID

ماتریس احتمالات انتقال سال‌های خشک و تر نیز از روی ماتریس فراوانی انتقالات برای هر یک از ایستگاه‌ها به طور جداگانه محاسبه گردید. که نتایج آن در جدول شماره‌ی ۶ آورده شده است.

جدول ۶: احتمالات انتقال وضعیت‌های تر و خشک ایستگاه‌های مورد مطالعه (درصد)

ردیف	نام ایستگاه	N(11)	N(10)	N(01)	N(00)	نام‌ایستگاه	P(11)	P(10)	P(01)	P(00)
۱	بوشهر	23	28	28	48	بوشهر	0.45	0.55	0.37	0.63
۲	شیراز	14	20	20	26	شیراز	0.41	0.58	0.43	0.56
۳	جاسک	23	23	23	43	جاسک	0.5	0.5	0.35	0.65

مأخذ: نگارندگان

بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که احتمال انتقال از یک‌سال تر به یک‌سال خشک دیگر تقریباً در هر سه ایستگاه بیشتر از احتمال انتقال از یک سال خشک به یک سال تر است. همچنین احتمال انتقال از یک سال خشک به یک سال خشک دیگر تقریباً در هر سه ایستگاه بیشتر از احتمال انتقال از یک سال تر به سال تر دیگر است. احتمال ساکن وقوع سال‌های خشک و تر، پارامتر دیگری بود که قبل از تنظیم مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف بایستی محاسبه می‌گردید. این احتمال که در واقع از تقسیم تعداد سال‌های خشک یا تر بر کل تعداد سال‌ها به دست می‌آمد بیانگر پتانسیل خشک یا تر بودن یک منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از این احتمال در جدول شماره‌ی ۷ آورده شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که تقریباً ۶۰ درصد از سال‌های مورد مطالعه در هر سه ایستگاه در وضعیت خشک قرار داشته‌اند.

جدول ۷: احتمالات ساکن فصول خشک و تر ایران (درصد)

ردیف	نام ایستگاه	P (D)	P (W)
۱	بوشهر	۶۰	۴۰
۲	شیراز	۵۸	۴۲
۳	جاسک	۵۹	۴۱

مأخذ: نگارندگان

برآورد شاخص‌های مدل وضعیت نهان زنجیره‌ی مارکوف جهت دستیابی به مدل ساختار دو وضعیتی بارش سالانه جنوب ایران در جدول شماره‌ی ۸ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸: مقادیر شاخص‌های مدل وضعیت نهان زنجیره مارکوف برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	WADSI	SSI	E(SRT)d	E(SRT)w	SPSW	SPSD
بوشهر	۱۴/۷۸	۰/۳۰۰	۲/۷	۱/۸۱	W	W
شیراز	۱۷/۶۸	۰/۱۱۴	۲/۳۲	۱/۷۲	W	W
جاسک	۱۱/۴۶	۰/۱۵۰	۲/۸۵	۲	W	W

مأخذ: نگارندگان

مقادیر شاخص تفکیک وضعیت‌های خشک و مرطوب (WADSI) برای سه ایستگاه مورد مطالعه محاسبه و بر اساس جدول شماره‌ی ۲ مشاهده گردید که همگی آنها در طبقه بالا قرار می‌گیرند. از این‌رو تفکیک سال‌های خشک و مرطوب برای ایستگاه‌های جنوب‌کشور بسیار آسان است. از عواملی که سری‌های زمانی بارش‌های سالانه‌ی جنوب ایران را از حالت یکدستی خارج و تشخیص وضعیت‌های خشک و مرطوب را آسان ساخته است، نقش عوامل بیرونی اقلیم مثل سیستم‌های جوی سینوپتیک و پدیده‌های دوره‌ای جهانی است. مقادیر شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم (SSI) در جنوب کشور برای سه ایستگاه مورد مطالعه حاکی از بالا بودن مقادیر آن برای دو ایستگاه جاسک و بوشهر و پایین بودن آن برای ایستگاه شیراز می‌باشد.به‌طوری‌که بر اساس طبقه‌بندی ارایه شده در جدول شماره‌ی ۳ ایستگاه‌های بوشهر و جاسک در طبقه‌ی متوسط و ایستگاه شیراز در طبقه‌ی پایین قرار گرفته‌اند. بنابراین هر اندازه این شاخص به طرف صفر میل کند نشانگر عدم اصرار و تداوم بارش برای ماندگاری در هر یک از وضعیت‌ها را نشان می‌دهد به عبارت دیگر وقتی (SSI) به‌صفر میل می‌کند، تشخیص وضعیت‌های خشک یا مرطوب مشکل است که ایستگاه شیراز دارای این گونه خصوصیت اقلیمی است. اما وقتی (SSI) به ۰/۵ میل می‌کند، نشانگر مداومت بارش بر ماندگاری در یک وضعیت خاص است که دو ایستگاه بوشهر و جاسک دارای این خصوصیت اقلیمی هستند *(جدول شماره‌ی۸)*. امید ریاضی زمان‌ماندگاری وضعیت‌های خشک‌ومرطوب کلیه‌ی ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی ۴-۱ سال قرار دارد. لذا شدت تداوم دو وضعیتی در حد "ضعیف" است. بدین‌معنی‌که مثلاً اگر امسال، سال آغازین یکی از وضعیت‌ها، مثلاً وضعیت خشک باشد، نباید انتظار داشت که این وضعیت بیش از چهار سال دیگر ادامه داشته باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

برآورد ساختار تداوم دو وضعیتی

ساختار تداوم دو وضعیتی بر اساس شاخص‌های $[SPS_W, SPS_D, WADSI]$ تعیین می‌شود. همانطور که قبلاً ذکر شد، ساختار تداوم هر دو وضعیت خشک و مرطوب در سه ایستگاه مورد مطالعه ضعیف (W) برآورد شد. لذا ساختار تداوم دو وضعیتی ایستگاه‌های مورد مطالعه به صورت $[W, W, WADSI]$ تعریف خواهد شد. لذا با توجه به یکسان بودن SPS سه ایستگاه مورد مطالعه، فقط با استناد به $WADSI$ ایستگاه‌ها می‌توان ساختار تداوم دو وضعیتی ایستگاه‌های مورد مطالعه را تشخیص داد و چون $WADSI$ تمام ایستگاه‌ها نیز در طبقه‌بندی ارایه شده برای این شاخص (جدول شماره ۱) در طبقه بالا قرار گرفته‌اند. بنابراین از میان سه طبقه ارایه شده برای مدلسازی ساختار تداوم دو وضعیتی که در جدول ۹ ارایه شده است، ایستگاه‌های مورد مطالعه را می‌توان در گروه C جای داد.

جدول ۹: معیارهای طبقه‌بندی ساختار تداوم دو وضعیتی

ردیف	گروه	$WADSI$	ساختار تداوم
۱	A	$WADSI < 1.5$	کاملاً نامحتمل برای داشتن تداوم دو وضعیتی
۲	B	$1.5 < WADSI \leq 2$	احتمالاً دارای تداوم دو وضعیتی
۳	C	$2 < WADSI$	کاملاً محتمل برای داشتن تداوم دو وضعیتی

مأخذ: تایر، ۲۰۰۱

یعنی در جنوب ایران، توزیع وضعیت‌های خشک و مرطوب در طول سری زمانی بارش‌های سالانه کاملاً قابل تفکیک است. به طوری‌که توزیع سری‌های زمانی بارش‌های سالانه این ایستگاه‌ها، اکثراً در خارج از حول میانگین طولانی‌مدت بارش ایستگاه‌ها دور می‌زند و دارای انحراف معیار بالایی است. به عبارت دیگر تداوم بارش‌های سالانه ایستگاه‌ها، متمایل به میانگین طولانی‌مدت بارش ایستگاه‌ها نیست و معمولاً بارش‌ها در فاصله بیشتر از ± 1 انحراف معیار روی می‌دهد. لذا درجنوب ایران تشخیص وضعیت‌های خشک و مرطوب سالانه و میزان تداوم آنها کاملاً آسان است. اگر عوامل مؤثر بر وقوع وضعیت‌های خشک و مرطوب ایستگاه‌ها را عوامل اقلیمی، سیستم‌های سینوپتیک جوی، پدیده‌های اقلیمی و عوامل پیوند از دور بدانیم. با قبول نقش ثابت عوامل اقلیمی "طول و عرض جغرافیایی، ناهمواری‌ها، دوری و

www.SID.ir

Archive of SID

نزدیکی به دریاها" در وضعیت‌های خشک و مرطوب ایستگاه‌های مورد مطالعه، بـه طـور حـتم فراوانی، گسترش و شدت سیستم‌های جوی سینوپتیک و به تبع آن ایجـاد مراکـز کـم‌فشـار و پرفشار و استقرار جبهه‌ها، تراف‌ها و ریج‌ها در وقوع شرایط خشک و مرطوب در داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌ها نقش اساسی را دارند. البته نباید تأثیر پدیده‌های کم و بـیش دوره‌ای جهـانی را هم نادیده گرفت.

نتیجه

یکی از مؤلفه‌های اساسی مدیریت خشکسالی، پـایش دقیـق شـرایط خشکسـالی اسـت. در مطالعات پایش خشکسالی، ارزیابی سه خصوصیت خشکسالی یعنی شدت، تـداوم و گسـتردگی مکانی ضرورت دارد. بنابراین یکی از ابزارهای مهمی که در این زمینه می‌تواند به ما کمک کند مدلسازی واقعیت‌های بارشی کشور است. لذا بـا توجـه بـه اینکـه روش زنجیـره‌ی مـارکوف از روش‌های پیشرفته آماری مخصوصاً در زمینه‌ی تحلیل فرایندهای تصـادفی بـه شـمار مـی‌رود، مدلسازی بارش‌های سالانه جنوب ایران با استفاده از مـدل وضـعیت نهـان زنجیـره‌ی مـارکوف انجام گرفت. نتایجی که از این مدل برای بارش‌های سالانه جنوب ایران حاصل آمد عبارتند از:

- بر اساس شاخص تفکیک وضعیت‌های خشک و مرطوب (WADSI)، تفکیک سال‌های خشـک و تر برای هر سه ایستگاه مورد مطالعه در جنوب ایران به آسانی امکان‌پذیر است.
- مقادیر شاخص ماندگاری وضعیت اقلیم (SSI) برای سه ایستگاه مورد مطالعه در جنوب ایران حاکی از ماندگاری ضعیف در وضعیت‌های خشک و تر برای ایستگاه شیراز و ماندگاری متوسط برای ایستگاه جاسک و بوشهر است.
- امید ریاضی ماندگاری وضعیت‌های خشک و تر سه ایستگاه مورد مطالعه در محـدوده‌ی ۴-۱ قرار دارد.
- مدل نهایی تحقیق برای بارش‌های سالانه جنوب ایران بـا اسـتناد بـه یکسـان بـودن شـدت ساختار تداوم ایستگاه‌ها $[W,W,WADSI]$، تشخیص داده شـد کـه بیـانگر سـاختاری کـاملاً محتمل برای داشتن تداوم دو وضعیتی هستند. بنابراین با توجه به ساختار کـاملاً دو وضـعیتی بارش‌های جنوب ایران مشاهده می‌شود که هیچ کدام از وضعیت‌های خشـک و تـر بـیش از ۴ سال بر منطقه دوام ندارند. بنابراین پیشنهاد مـی‌شـود در مطالعـات آینـده کـه قـرار اسـت بـا استفاده از این مدل انجام گیرد، ارتباط بین تداوم دوره‌های خشک و تر با پدیده‌هـای پیونـد از دور همچون انسو و یا لکه‌های خورشیدی- جهت بالا بردن کارایی این مدل مطالعه شود.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱- استوارمیمندی، ابراهیم (۱۳۷۹). ال‌نینو و رابطه آن با بارش‌های ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. استاد راهنما: دکتر قاسم عزیزی. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تربیت مدرس.

۲- بابائی‌فینی، ام‌السلمه (۱۳۸۲). تحلیل و الگویابی مکانی و زمانی بارش در ایران. رساله دکتری اقلیم‌شناسی. استاد راهنما: دکتر منوچهر فرج‌زاده اصل. دانشکده علوم انسانی. دانشگاه تربیت مدرس.

۳- حجازی‌زاده،زهرا و علیرضا شیرخانی (۱۳۸۴). تحلیل و پیش‌بینی آماری خشکسالی و دوره‌های خشک کوتاه‌مدت در استان خراسان، پژوهش‌های جغرافیایی ۵۲.

۴- جعفری‌بهی، خدابخش (۱۳۷۸). تحلیل آماری دوره‌های تر و خشک بارندگی در چند نمونه اقلیمی ایران با استفاده از زنجیره‌ی مارکوف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی. استاد راهنما: دکتر علی خلیلی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تهران.

۵- خسروی، محمود (۱۳۸۱). پدیده انسو (ENSO) و تغییرپذیری اقلیم جنوب شرق ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. اساتید راهنما: دکتر محمدرضا کاویانی و دکتر حسنعلی غیور. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه اصفهان.

۶- ذوالفقاری، حسن (۱۳۷۹). تحلیل الگوهای زمانی و مکانی بارش‌های روزانه در غرب ایران با استفاده از روش‌های آماری و سینوپتیکی، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. استاد راهنما: دکتر سعید جهانبخش‌اصل. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

۷- سالنامه‌های هواشناسی. ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵. انتشارات اداره کل آمار و فن‌آوری اطلاعات هواشناسی سازمان هواشناسی کشور.

۸- شناسنامه اقلیمی ایستگاههای سینوپتیک کشور ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۳: مرکز خدمات ماشینی وکاربرد در کامپیوتر هواشناسی. سازمان هواشناسی کشور.

۹- عطائی، هوشمند (۱۳۸۳). پهنه‌بندی آماری نواحی بارشی ایران، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. اساتید راهنما: دکتر سیدابوالفضل مسعودیان و دکتر حسنعلی غیور. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه اصفهان.

۱۰- علیجانی، بهلول؛ زین‌العابدین جعفرپور و حیدر قادری (۱۳۸۴). تحلیل و پیش‌بینی منطقه لارستان با استفاده از مدل زنجیره مارکوف، فصلنامه جغرافیایی سرزمین. سال دوم. شماره ۷.

۱۱- علیزاده، امین (۱۳۸۳). اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد. دانشگاه امام رضا (ع).

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲- قادرمرزی، حسن (۱۳۸۰). تحلیل و پیش‌بینی نوسانات آب و هوا در استان کردستان با استفاده از مدل زنجیره‌ی مارکوف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. استاد راهنما: دکتر بهلول علیجانی. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه تربیت معلم تهران.

۱۳- طالشی، عبدالله (۱۳۸۴). مدلسازی بارش‌های سالانه ایران با استفاده از روش زنجیره‌ی مارکوف، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی. استاد راهنما: دکتر علی‌اکبر رسولی. دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

۱۴- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۷۷). بررسی نظام تغییرات زمانی- مکانی بارش در ایران‌زمین، رساله دکتری اقلیم‌شناسی. اساتید راهنما: دکتر حسنعلی غیور و دکتر محمدحسین رامشت. دانشکده ادبیات و علوم انسانی. دانشگاه اصفهان.

۱۵- مسعودیان، سیدابوالفضل (۱۳۸۲). بررسی پراکندگی جغرافیایی بارش در ایران به روش تحلیل عاملی دوران‌یافته، مجله جغرافیا و توسعه. شماره پیاپی ۱.

۱۶- مسعودیان،سیدابوالفضل(۱۳۸۴). شناسایی رژیم‌های بارشی ایران به روش تحلیل خوشه‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۲.

17- Bellone,E,J. P. hughes., and P. Guttorp (2000). A hidden Markov model for downscaling synoptic atmospheric patterns to precipitation amount. Climate research, Vol. 15, 1-12.

18- Caskey, J. E (1963). A Markov chain model for the probability of precipitation occurrence in intervals of various lengths. Mon, Weather Rev, 101.

19- Chibb, S (1996). Calculating posterior distribution and model estimates in Markov mixture models. Journal of Econometrics, 75, 79-97.

20- Chin, E (1977). Modeling daily precipitation occurrence process with Markov chain. Water. Resour. Res. 13(6).

21- Dahale, S. D. et al (1994). Persistence in rainfall occurrence over tropical Southeast Asia and Equatorial Pacific. Theoretical and applied climatology, Volume 49.

22- Katz, R.W (1977). Precipitation as a chain – dependent process. Journal of Applied Meteorology, Volume 16.

23- Martin-Vide, J. and Gomez, L (1999). Regionalization of Peninsular Spain based on the length of dry spells. Int. J. Climatol, 19.

24- Moon, S. E, Ryoo, S. B. and Kwon, J. G (1994). A Markov chain model for daily precipitation occurrence in South Korea. International Journal of climatology,Volume 14.

25- Perreault, L., V. Fortin., and J. D. Salas (2004). Mixtures and hidden Markov models for estimating flood quantiles and risk. American Geophysical Union, spring meeting 2004, abstract H54B-01.

www.SID.ir

Archive of SID

26- Smithsonian Miscelaneous Collections (1944) World Weather Record, volom 90 (whole volume), Collected Form Official Surces, Assembled by H.H.Clayton, First Reprint, Published by the Smitsonian Institution.
27- Stern, R. D (1982). Computing a probability distribution for the start of the rains from a Markov chain model for precipitation. Journal of Applied Meteorology, Volume 21.
28- Thyer, M. A (2001). Modelling long-term persistence in hydrological time series. Ph.D Thesis, University of Newcastle.
29- Thyer, M. A. and G. A. Kuczera (1999). Modelling long-term persistence in rainfall time series: Sydney rainfall case. Hydrology and water resources Symposium, institution of engineer, Australia: 550-555.
30- Thyer, M. A. and G. A. Kuczera (2000). Modelling long-term persistence in hydro - climatic time series using a hidden Markov model. Water Resources Research, 36(11), 3301-3310.
31- Thyer, M. A. and G. A. Kuczera (2003). A hidden Markov model for modeling long - term persistence in multi -site rainfall time series. 2. Real data analysis. Journal of hydrology, volume 275, Issues 1-2, 27-48.
32- Thyer, M. A, A.J. Frost., and G. A. Kuczera (2006). Parameter estimation and model identification for stochastic models of annual hydrological data: Is the observed record long enough? Journal of hydrology, volume 330, Issues 1-2, 313-328.
33- Zucchini, W and P. Guttorp (1991).A hidden Markov model for space - time precipitation. Water Resour. Res, 27 (8), 1917-1923.

www.SID.ir