

نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۲۱، شماره ۶۰، تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۱۹۶-۱۷۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۱۲

تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۴/۰۲/۰۴

پیش‌بینی احتمال تکرار دوره‌های خشکسالی و اثر آن بر پوشش گیاهی در استان گلستان

امان‌اله فتح‌نیا^۱
سعید رجایی^۲
فرزانه برزو^۳

چکیده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های ایستگاه گرگان بین سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۰ روند بارش بررسی شد. به منظور استخراج روند بارش از آزمون‌های میانگین متحرک و من-کندال استفاده شد. هم‌چنین به وسیله شاخص SPI دوره‌های خشکسالی استخراج و احتمال رویداد هر یک از حالات مختلف ترسالی و خشکسالی با زنجیره مارکوف محاسبه شد. در ادامه به وسیله تصاویر NOAA-AVHRR نوسانات پوشش گیاهی تحت تأثیر روند بارش بررسی و به وسیله زنجیره مارکوف احتمال گذر هر یک از طبقات بررسی شد. نتایج نشان داد در میان سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۷ و ۱۹۹۴-۱۹۹۰ دوره ترسالی و سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۲ و ۲۰۰۵-۲۰۱۰ دوره خشکسالی رخ داده است. تحلیل شاخص خشکسالی روند بارش در این زمان را تأیید کرده و نشان داد سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ شرایط مرطوب و از سال ۲۰۰۵ شرایط خشکی حاکم بوده است. با توجه به ماتریس احتمالاتی مارکوف احتمال گذر خشکسالی شدید به خشکسالی شدید ۰/۶ و احتمال گذر از خشکسالی شدید به خشکسالی متوسط ۰/۱۳ می‌باشد. با همین روند پوشش گیاهی نیمه متراکم از سال ۱۹۸۵ به مقدار ۴۹۴۴۷۹ هکتار تا سال ۲۰۰۰ به ۳۸۰۱۲۰ هکتار کاهش داشته است که

Email: a_fathnia2007@yahoo.com

۱- استادیار اقلیم‌شناسی گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه.

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه.

۳- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای دانشگاه رازی کرمانشاه.

کمترین مقدار در طی سال‌های مورد مطالعه می‌باشد. از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ تراکم و مساحت پوشش گیاهی افزایش یافته، ولی تحت تأثیر خشکسالی اخیراً کاهش نشان می‌دهد و با احتمال ۰/۴۸ طبقه بدون پوشش گیاهی در شرایط خود باقی می‌ماند. احتمال تبدیل مربوط به پوشش گیاهی ضعیف به زمین فاقد پوشش به مقدار ۰/۴۱ می‌باشد. بر این اساس احتمالاً ۲۱۴۰۶۰ هکتار به زمین فاقد پوشش گیاهی تبدیل شود.

واژگان کلیدی: من-کنال، زنجیره مارکوف، NDVI، خشکسالی، گلستان.

مقدمه

تغییر کاربری و پوشش اراضی فرایند دینامیک و پیچیده‌ای است که از تلاقی سیستم‌های طبیعی و انسانی به دست می‌آید و اثرات مستقیمی بر آب، خاک و هوا دارد. وقوع این پدیده پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی در مقیاس محلی، ناحیه‌ای و جهانی به همراه خواهد داشت (کومن^۴ و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۱۰). بر اساس مطالعات طرح جامع آب کشور، به رغم آنکه ۹۴ درصد مصارف، تنها به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد، لیکن به دلیل محدودیت منابع آب، از حدود ۳۷ میلیون هکتار اراضی مستعد کشاورزی، فقط ۷/۸ میلیون هکتار به صورت آبی کشت می‌شود (بریم‌نژاد و پیکانی، ۱۳۸۳: ۹۵-۶۹). محدود بودن مقدار عرضه اقتصادی آب و افزایش مقدار تقاضا همگام با رشد جمعیت و مصرف زیاد آن در بخش کشاورزی باعث شده است که مشکل کمبود آب نمود عینی پیدا کرده و ذهن بسیاری از صاحب‌نظران را به خود معطوف سازد (علیزاده، ۱۳۸۰: ۵).

هر چند وقوع خشکسالی جزء معمولی از اقلیم هر منطقه به شمار می‌آید، اما مدیریت آن، پیشرفت اندکی در اکثر مناطق دنیا داشته است، در مقابل آن، مدیریت ریسک خشکسالی^۵ مجموعه اقداماتی است که قبل از وقوع خشکسالی انجام شده و عملاً غافلگیری را به

4- Koomen

5- Drought Risk Management

حداقل ممکن می‌رساند (مرید و مقدسی، ۱۳۸۴: ۱۰، عرب و مهدیخانی، ۱۳۸۴: ۵). گاتام^۶ (۲۰۰۶) معتقد است، حرکت از مدیریت بحران به مدیریت ریسک امری ضروری است و اقدامات پیشگیرانه برای کاهش ریسک خشکسالی در بلندمدت می‌تواند به شناسایی مشکلات مربوط به تخریب محیط زیست، آبیاری و نیز درک بهتر اثرات تغییر اقلیم و نحوه برخورد با آن‌ها کمک نمایند. به اعتقاد ویلهایت^۷ (۲۰۰۳)، کشورهای مستعد خشکسالی می‌بایست سیاست‌های ملی خشکسالی و برنامه‌های آمادگی در مقابل این پدیده را با تأکید بر مدیریت ریسک نسبت به رهیافت سنتی مدیریت بحران که وابستگی به دولت و کمک‌های سایرین را افزایش می‌دهد، توسعه دهند. بررسی راهکارهای کاهش اثرات خشکسالی در ایران نشان می‌دهد که جبران خسارت‌ها به راحتی و در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر نبوده و نیازمند فرصت‌ها، تلاش‌ها و سرمایه‌گذاری‌های کلانی می‌باشد و برنامه‌ریزی‌ها در راستای نوعی همزیستی با پدیده خشکسالی صورت گیرد (فرج‌زاده، ۱۳۸۳: ۲۵). در این زمینه داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند پوشش وسیع، به‌هنگام بودن، تکراری بودن، توان تفکیک بالا، از قابلیت بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری اراضی برخوردار هستند (جن‌سن^۸، ۲۰۰۷: ۵۹۲). گیاهان پاسخ سریعی به تغییرات آب و هوا دارند، همچنین تغییرات در فنولوژی و تولید گیاه شواهدی در سری زمانی هستند که سبزینگی را نشان می‌دهند. آب و هوا می‌تواند تغییراتی در تراکم و رشد پوشش گیاهی ایجاد کند که ممکن است بعد از ده‌ها سال نمایان شود (استیو و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۸۲). برای بررسی پوشش گیاهی سبز در تصاویر ماهواره‌ای از شاخص^۹ NDVI استفاده می‌شود که نتایج مقادیر حاصله از حدود ۰/۱ تا حداکثر ۰/۸ می‌باشد. به‌طور نمونه، NDVI با مقادیر ۰/۶-، ۰/۲۴- و ۰/۰۹- به‌ترتیب؛ نشان‌دهنده گیاه متراکم، متوسط و تنک پراکنده می‌باشد، با مقادیر ۰/۲۵- و ۰/۰۲- به‌ترتیب نشان‌دهنده زمین عریان و ابر، و سطح آب مقدار منفی می‌باشد (لی و شی، ۱۹۹۹: ۱؛ لی و

6- Gautam

7- Wilhite

8- Jensen

9- Normalize Difference Vegetation Index

همکاران، ۲۰۰۰: ۸۴؛ گونگ و همکاران، ۲۰۰۲: ۵۰۶). استفاده از ترکیب مقادیر حداکثر (MVC)¹⁰ این شاخص، باعث کاهش قابل توجه اثرات اتمسفری، اثر زاویه اسکن، ابرناکی و اثر زاویه زنیت خورشیدی می‌شود (هولبن، ۱۹۸۶: ۱۴۱۸؛ ماسلی و چیسلی، ۲۰۰۶: ۵۶).

نتایج مطالعه عساکره (۱۳۸۷) در شهر تبریز با مدل زنجیره مارکوف نشان‌دهنده دوره‌های بازگشت بارش ۵ روز و خشکی ۱ روز است. احتمال وقوع بارش در هر روز ۰/۲۲ و احتمال عدم بارش ۰/۷۸ به‌دست آمد. بیش‌ترین احتمال وقوع روزهای بارانی طی بهار بوده است. زارع گاریزی و همکاران (۱۳۹۱) به‌منظور بررسی ارتباط تغییرات پوشش جنگل با برخی عوامل محیطی و انسانی و تهیه نقشه‌های شایستگی تبدیل اراضی، رابطه رگرسیون لجستیک بین نقشه تغییرات پوشش جنگلی به عنوان متغیر وابسته و عوامل مؤثر به عنوان متغیرهای مستقل برقرار کردند. سپس پوشش و کاربری اراضی سال ۲۰۰۹ با استفاده از مدل CA-Markov و بر مبنای تغییرات مشاهده شده بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۲۰۰۱، پیش‌بینی شد. در نهایت نتایج بیانگر کاهش قابل توجه مناطق جنگلی است. صادقی‌نیا و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مدل زنجیره مارکف و نمایه SPI احتمال وقوع پدیده‌های خشکسالی و ترسالی در شهر تهران بررسی کردند. نتایج بیانگر احتمال وقوع خشکسالی بعد از یک خشکسالی بیشتر از احتمال وقوع ترسالی بعد از یک ترسالی) بود. هر چه مقیاس زمانی SPI طولانی‌تر باشد، احتمال ماندن خشکسالی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی انتظار وقوع پدیده خشکسالی بیش از پدیده ترسالی است.

با توجه به بررسی پیشینه تحقیقات انجام شده و نبود مطالعه‌ای مرتبط، هدف پژوهش حاضر بررسی احتمال تکرار خشکسالی با استفاده از زنجیره مارکوف و اثر آن بر پوشش گیاهی با تصاویر NOAA-AVHRR می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه تغییرات بارش از آزمون میانگین متحرک استفاده شد که برای نیل به این هدف از داده‌های روزانه ایستگاه گرگان (۲۰۱۰-۱۹۸۰) استفاده شد. همچنین برای ارزیابی خشکسالی، از شاخص استاندارد شده بارش^{۱۱} (SPI) استفاده شد. مک‌کی و همکاران (۱۹۹۵) شدت خشکسالی و ترسالی را بر اساس مقادیر SPI طبقه‌بندی نمودند، به گونه‌ای که مقادیر مثبت SPI نمایانگر بارش بیش از میانگین و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده بارش کمتر از میانگین می‌باشد. زمانی که مقدار SPI منفی باشد، نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که مقدار این شاخص مثبت باشد، پایان خشکسالی و آغاز ترسالی را نوید می‌دهد.

برای بررسی نقاط دارای روند بارش از آزمون من-کندال استفاده شد. ابتدا داده‌ها رتبه‌بندی شده و آماره t_i محاسبه شد. در مرحله بعدی، فراوانی تجمعی آماره t_i و در گام‌های بعد به ترتیب آماره‌های E_i که معرف امید ریاضی، V_i یا واریانس و U_i که شاخص مقایسه‌ای آزمون من-کندال است، محاسبه شد (رابطه ۱ تا ۴):

$$t_i = \sum_{i=1}^n t_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$E_i = \frac{n_i(n_i - 1)}{4} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$V_i = \frac{n_i(n_i - 1)(2n_i + 5)}{72} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$U_i = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در معادلات فوق n_i ترتیب زمانی داده‌ها است. برای ترسیم نمودار آزمون و آشکارسازی روند معنی‌دار یا غیرمعنی‌دار سری زمانی آماره‌های قرینه‌ای به ترتیب با عناوین V'_i, E'_i, t'_i و U'_i محاسبه شد که معادله V'_i و E'_i متفاوت از بالا است (رابطه ۵ تا ۸):

$$t_i' = \sum_{i=1}^n t_i \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$E_i' = \frac{[N - (n_i - 1)](N - n_i)}{4} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$V_i' = \frac{[[N - (n_i - 1)](N - n_i)][2(N - n_i)] + 5}{72} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$U_i' = \frac{(\sum t_i - E_i)}{\sqrt{V_i'}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در معادلات فوق N طول دوره آماری یا حجم نمونه است. محل تلاقی U_i و U_i' در محدوده اطمینان ۹۵ درصد، بیانگر تغییرات معنی‌دار سری زمانی بارش بوده و رفتار U_i بعد از محل تلاقی، کاهش یا افزایش بارش را بیان می‌کند (زاهدی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۸۸).

در تحقیق حاضر از روش زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی خشکسالی استفاده شد. برای محاسبه فرآیند زنجیره مارکوف، ابتدا احتمال رویداد خشکسالی و ترسالی حاصل خروجی SPI را به صورت کدهای ۱ الی ۷ طبقه‌بندی و احتمال گذر به هر طبقه را بررسی نمودیم. کد ۱ متعلق به خشکسالی شدید و کد هفت بیان‌کننده ترسالی شدید بود. نمونه‌ای از ماتریس تغییر وضعیت یک مرحله زنجیره مارکوف در مورد SPI برای بررسی خشکسالی متوسط به صورت زیر محاسبه شد:

$p(1,1) = \frac{D2D1}{D2}$	$p(1,2) = \frac{D2D2}{D2}$	$p(1,4) = \frac{D2N}{D2}$	$p(1,5) = \frac{D2W1}{D2}$	$p(1,6) = \frac{D2W2}{D2}$	$p(1,7) = \frac{D2W3}{D2}$
----------------------------	----------------------------	---------------------------	----------------------------	----------------------------	----------------------------

D_1 (خشکسالی ملایم)، D_2 (خشکسالی متوسط)، D_3 (خشکسالی شدید)، N (نرمال)، W_1 (ترسالی ملایم)، W_2 (ترسالی متوسط)، W_3 (ترسالی شدید)

بر اساس معادلات فوق احتمال رخداد حالت‌های مختلف گذر در خشکسالی متوسط بیان شده است و مقدار هر حالت بر مجموع تمامی حالات ممکن تقسیم می‌شود. حالات دیگر خشکسالی و ترسالی نیز به همین صورت محاسبه می‌شود (رابطه ۹).

$$D2=D2D2+D2D1+D2D3+D2N+D2W1+D2W2+D2W3 \quad (\text{رابطه ۹})$$

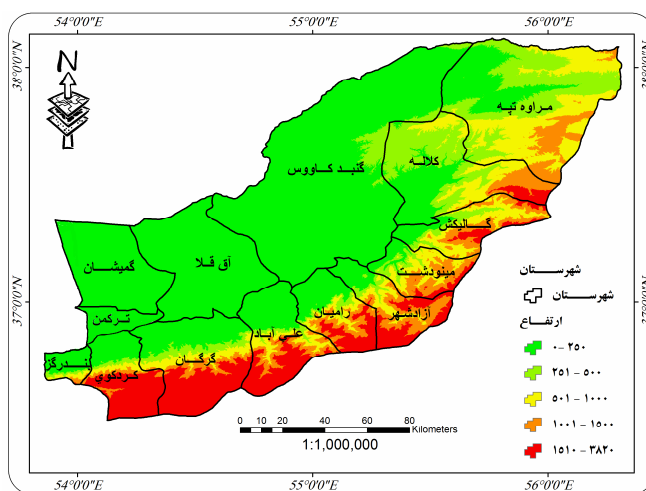
در ادامه برای پایایی ماتریس از معادله زیر استفاده شد (رابطه ۱۰):

$$P_{ij}^{(n)} = \sum_{k=1}^M P_{ik}^{(v)} P_{kj}^{(n-v)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

احتمال انتقال سیستم از حالت i به حالت j در مرحله n ام است (حکیمی‌پور، ۱۳۷۶). این معادله صرفاً خاطر نشان می‌کند که فرایند برای رفتن از حالت i به j در n مرحله، دقیقاً بعد از v مرحله (که v مرحله‌ای قبل از مرحله n است) در حالت k خواهد بود. بنابراین، همان احتمال شرطی است که فرایند با شروع حالت i بعد از v مرحله به حالت k می‌رسد و پس از $n-v$ مرحله به حالت j می‌رود. در واقع، برای محاسبه ماتریس P^n ، یعنی ماتریس انتقال مرحله n ، باید ماتریس P را n بار در خودش ضرب نمود که عنصر P_{ij} در ماتریس P^n همان $P_{ij}^{(n)}$ خواهد بود که ماتریس احتمال ما در مرحله ۳۰ام به حالت پایا می‌رسد. چون هدف بررسی رفتار ماتریس در لحظه صفر می‌باشد از مارکوف مرتبه اول استفاده شد. به دلیل وجود ۴۹ حالت مختلف خشکسالی، ترسالی و نرمال در نتایج خروجی مرتبه اول زنجیره مارکوف، ۷ حالت کلی برای آزمون نیکویی برازش از روش χ^2 استفاده شد. آزمون χ^2 در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ و با درجه آزادی $(m-1)^2$ انجام شد.

برای مطالعه نوسانات پوشش گیاهی از تصاویر AVHRR استفاده شد. برای این منظور تصاویر آپریل، می و ژوئن (در کشور ایران پوشش گیاهی در ماه ژوئن به حداکثر سبزیگی می‌رسد و بعد از آن ثابت بوده و به سمت پایین رو به کاهش می‌گذارد (فتح‌نیا، ۱۳۸۹: ۸۹)) در یک دوره ۵ ساله تهیه و تغییرات طبقات مختلف پوشش گیاهی بررسی و با استفاده از زنجیره مارکوف برای پیش‌بینی احتمال گذر پوشش گیاهی استفاده شد.

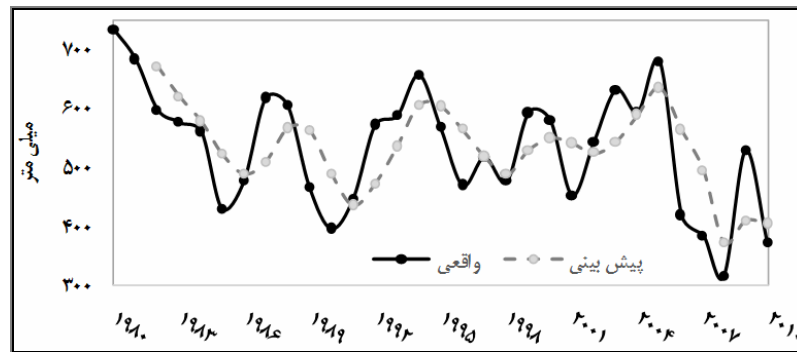
شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بلندترین نقطه استان ۳۸۲۰ متر است.



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه

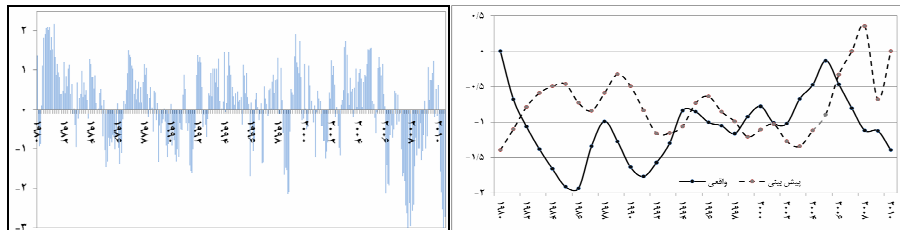
یافته‌ها و بحث

طولانی‌ترین دوره مرطوب در ایستگاه گرگان بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۷ و ۱۹۹۰-۱۹۹۴ بوده است. بارش رخ داده بیش از مقدار پیش‌بینی بوده است. مرطوب‌ترین سال‌ها، ۱۹۸۰ و ۲۰۰۵ با میزان بارش ۷۳۲/۶ و ۶۷۹/۴ میلی‌متر ثبت شده است. طولانی‌ترین دوره خشکسالی در سال‌های ۱۹۸۲-۱۹۸۶ و ۲۰۰۵-۲۰۱۰ مشاهده می‌شود و شدیدترین خشکسالی در سال ۲۰۰۸ با ۳۱۴/۶ میلی‌متر بارش و سال ۲۰۱۰ با مقدار ۳۷۱ میلی‌متر ثبت شده است. سال ۲۰۰۸ خشک‌ترین سال طی دوره آماری بوده است (شکل ۲).



شکل (۲) میانگین متحرک سه ساله بارش ایستگاه گرگان سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۰

آزمون من-کندال ایستگاه گرگان نشان می‌دهد، که در سال ۱۹۸۳ تا سال ۲۰۰۰ اولین جهش در روند بارش روی داده و دو خط واقعی و پیش‌بینی در داخل مقدار بحرانی $\pm 1/96$ ، به یکدیگر رسیده و سیر بارش نزولی می‌گردد. در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ افزایش بارش روی داده است و مجدداً از سال ۲۰۰۶ تا پایان دوره کاهش را نشان می‌دهد (شکل ۳ الف).



شکل (۳): الف) آزمون من-کندال بارش ایستگاه گرگان سال‌های ۱۹۸۰-۲۰۱۰، ب) شاخص SPI ۶ ماهه ایستگاه گرگان ۱۹۸۰-۲۰۱۰

نمودار SPI شش ماه ایستگاه، نشان‌دهنده دوره مرطوب و خشک مشابه به آزمون من-کندال می‌باشد. این شاخص نشان می‌دهد بین سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۸۰ و ۲۰۰۵-۲۰۰۱ شرایط مرطوب بر ایستگاه حاکم بوده است. از سال ۲۰۰۵ ایستگاه شرایط خشکی تا پایان دوره مطالعه تقریباً وجود داشته است. طی دوره آماری شدیدترین خشکسالی متعلق به ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس است. سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۷ به ترتیب

خشک‌ترین سال‌ها در دوره مطالعاتی بوده و خشکسالی شدید در ایستگاه حاکم بوده و شاخص SPI به کم‌تر از ۲- نزول یافته است (شکل ۳ ب). احتمال روی داد هر یک از حالات شاخص SPI و گذر از هر حالت به حالت دیگر نیز در ماتریس مارکوف بررسی و احتمال هر یک تخمین زده شد (جدول ۱).

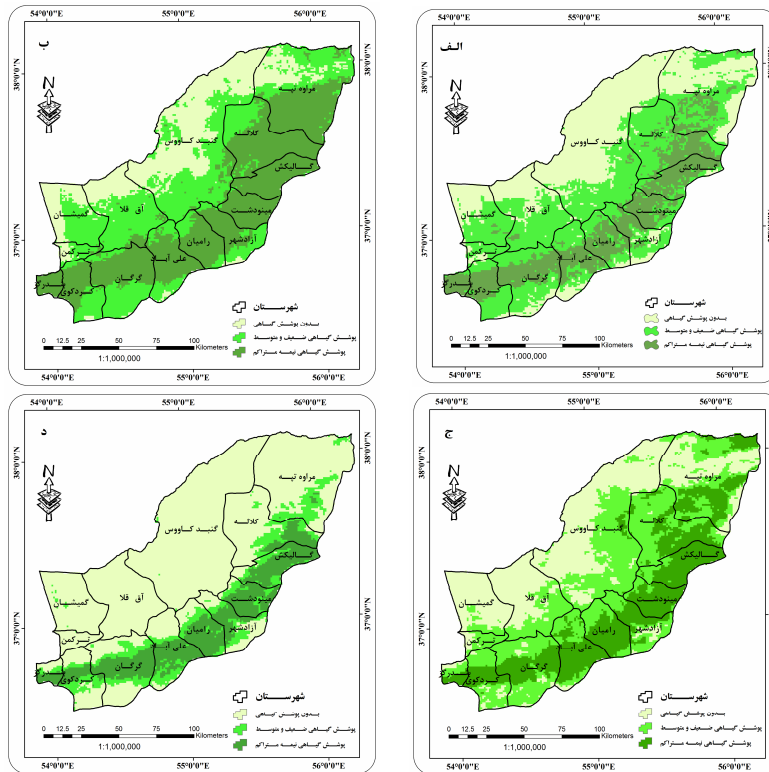
جدول (۱) ماتریس احتمال حالات مختلف گذر بر اساس شاخص SPI

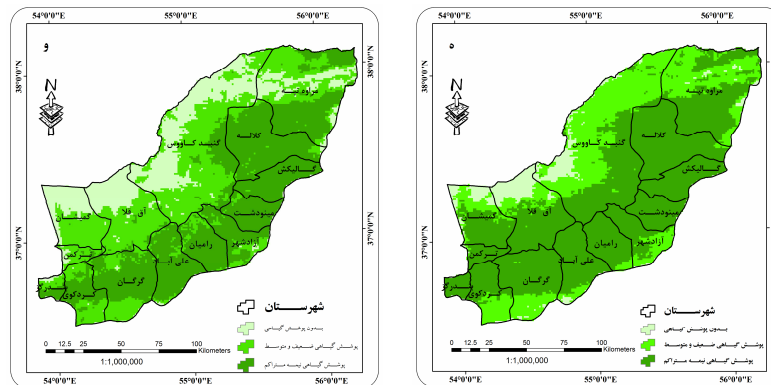
وضعیت	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی ملایم	نرمال	ترسالی ملایم	ترسالی متوسط	خیلی مرطوب
خشکسالی شدید	D_3D_3	D_3D_2	D_3D_1	D_3N	D_3W_1	D_3W_2	D_3W_3
خشکسالی متوسط	D_2D_3	D_2D_2	D_2D_1	D_2N	D_2W_1	D_2W_2	D_2W_3
خشکسالی ملایم	D_1D_3	D_1D_2	D_1D_1	D_1N	D_1W_1	D_1W_2	D_1W_3
نرمال	ND_3	ND_2	ND_1	NN	NW_1	NW_2	NW_3
ترسالی ملایم	W_1D_3	W_1D_2	W_1D_1	W_1N	W_1W_1	W_1W_2	W_1W_3
ترسالی متوسط	W_2D_3	W_2D_2	W_2D_1	W_2N	W_2W_1	W_2W_2	W_2W_3
خیلی مرطوب	W_3D_3	W_3D_2	W_3D_1	W_3N	W_3W_1	W_3W_2	W_3W_3

D_1 (خشکسالی ملایم)، D_2 (خشکسالی متوسط)، D_3 (خشکسالی شدید)، N (نرمال)، W_1 (ترسالی ملایم)، W_2 (ترسالی متوسط)، W_3 (ترسالی شدید)

بر اساس جدول (۲) احتمال گذر از حالت خشکسالی شدید به خشکسالی شدید ۰/۶ است (بیش‌ترین احتمال). گذر از حالت خشکسالی شدید به متوسط ۰/۱۳ و احتمال گذر از حالت خشکسالی به نرمال و نرمال به خشکسالی ۰/۵۷ است. بیش‌ترین احتمال (۰/۷۹) در سال‌های مورد مطالعه وجود شرایط نرمال می‌باشد. احتمال گذر از شرایط مرطوب به نرمال نیز ۰/۲۸ است. در حالت ترسالی بیش‌ترین احتمال متعلق ترسالی ملایم به ترسالی ملایم (۰/۲۸) است. احتمال وجود شرایط خیلی مرطوب ۰/۴۳ است. بر اساس ضریب همبستگی اسپیرمن $R_S = -0/229$ به دست آمد. با توجه به سطح معنی‌داری ۰/۰۱، با درجه آزادی ۲ شواهد کافی برای رد فرض صفر وجود ندارد و داده‌های حاصله فاقد روند است.

با افزایش بارش در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم افزایش یافته است. در سال ۲۰۰۵ مساحت طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم به بیش‌ترین مقدار (بیش از ۱۴۲۱۹۹۸ هکتار) رسیده که بیش‌ترین مساحت پوشش گیاهی نیمه متراکم در تمامی دوره آماری بوده است. با خشکسالی سال‌های ۲۰۰۶ تا پایان دوره، به‌ویژه سال ۲۰۰۸ که بارش تا ۳۰۰ میلی‌متر کاهش یافته است، مساحت پوشش گیاهی نیمه متراکم، روند کاهشی داشته است (شکل ۴ و). شکل ۴ تغییرات پوشش گیاهی در سال‌های مطالعاتی را نشان می‌دهد.





شکل شماره (۴) تغییرات تراکم پوشش گیاهی سالانه: الف) ۱۹۸۵، ب) ۱۹۹۰، ج) ۱۹۹۵، د) ۲۰۰۰ (و) ۲۰۰۵

ماتریس احتمال گذر طبقات پوشش گیاهی نشان می‌دهد با احتمال $0/48$ طبقات بدون پوشش گیاهی در شرایط خود باقی مانده و مساحت آن افزایش نیابد. سطح پوشش گیاهی ضعیف و متوسط بیش‌ترین نوسانات را نشان می‌دهد. احتمال تبدیل زمین‌های با پوشش گیاهی ضعیف به طبقه بدون پوشش گیاهی $0/41$ می‌باشد. طبقه پوشش گیاهی نیمه متراکم نیز با احتمال $0/062$ به زمین فاقد پوشش گیاهی تبدیل شده است (جدول ۵).

جدول (۵) ماتریس احتمال گذر طبقات مختلف پوشش گیاهی به طبقات مختلف

طبقات	بدون پوشش گیاهی	پوشش ضعیف و متوسط	پوشش نیمه متراکم
بدون پوشش گیاهی	$0/48$	$0/41$	$0/11$
پوشش ضعیف و متوسط	$0/66$	$0/45$	$0/48$
پوشش نیمه متراکم	$0/062$	$0/98$	$0/896$

بر این اساس احتمال دارد حدود 214060 هکتار معادل $8/8$ درصد از مساحت پوشش گیاهی ضعیف و متوسط به زمین‌های فاقد پوشش گیاهی تبدیل شود. همچنین 148210 هکتار معادل $6/1$ درصد از اراضی با طبقه پوششی نیمه متراکم، تحت تأثیر خشکسالی از تراکم آن کاسته شود و به طبقه پوشش گیاهی ضعیف تبدیل گردد (جدول ۶).

جدول (۶) ماتریس احتمال مساحت گذر طبقات مختلف پوشش گیاهی به طبقات مختلف

پوشش نیمه متراکم	پوشش ضعیف و متوسط	بدون پوشش گیاهی	طبقات	
			بدون پوشش گیاهی	پوشش ضعیف و متوسط
۱۰۹۴۲۱	۲۱۴۰۶۰	۲۴۰۴۰۰	هکتار	بدون پوشش گیاهی
۴/۵	۸/۸	۹/۹	درصد	
۳۷۹۰۹۶	۳۵۹۸۵۵	۱۱۱۸۹۰	هکتار	پوشش ضعیف و متوسط
۱۵/۶	۱۴/۸	۴/۶	درصد	
۷۸۶۱۲۸	۱۴۸۲۱۰	۷۴۸۵۰	هکتار	پوشش نیمه متراکم
۳۲/۴	۶/۱	۳/۱	درصد	

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده ایستگاه گرگان طولانی‌ترین دوره مرطوب در ایستگاه گرگان بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۷ و ۱۹۹۴-۱۹۹۰ در یک دوره ترسالی طولانی و در سال‌های در میان سال‌های ۱۹۸۶-۱۹۸۲ و ۲۰۱۰-۲۰۰۵ یک دوره خشکسالی طولانی تجربه کرده است. به‌ویژه سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۰ به‌ترتیب با مقدار ۳۱۴/۶ و ۳۷۱ خشک‌ترین سال‌ها بوده است. آزمون من-کندال نیز با توجه به روند بارش نشان از جهش مثبت روند بارش در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۶ و افزایش بارش دارد. همچنین از سال ۲۰۰۶ تا پایان دوره آماری آزمون من-کندال کاهشی متناسب با روند بارش صورت گرفته است. شاخص خشکسالی SPI نیز روند بارش در بازه مورد مطالعه را تأیید کرده و نشان می‌دهد سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۱ شرایط مرطوب و از سال ۲۰۰۵ شرایط خشکی بر ایستگاه حاکم شده است. نتایج ماتریس احتمالاتی مارکوف نشان داد احتمال خشکسالی شدید به خشکسالی شدید ۰/۶ می‌باشد. همچنین احتمال گذر از حالت خشکسالی شدید به خشکسالی متوسط ۰/۱۳ می‌باشد و بیش‌ترین احتمال وجود شرایط نرمال با مقدار ۰/۷۹ است. بر اساس آزمون خی احتمال نرمال بودن داده‌های مرتبه اول زنجیره مارکوف بیش از بقیه موارد و در درجه بعدی خشکالی قرار دارد. با توجه به روند بارش استان گلستان روند پوشش گیاهی از سال ۱۳۸۰ تا سال ۲۰۰۰ روندی کاهشی داشته، مساحت پوشش گیاهی نیمه‌متراکم در سال ۱۹۸۵، ۴۹۴۴۷۹ هکتار بوده است که مساحت این طبقه از پوشش گیاهی تا سال ۲۰۰۰ به

۳۸۰۱۲۰ هکتار کاهش یافته است که کمترین مقدار در طی سال‌های مورد مطالعه بوده است. از سال ۲۰۰۰ تا اواخر ۲۰۰۵ میزان بارش ایستگاه افزایش یافته به موجب آن تراکم و مساحت پوشش گیاهی نیز افزایش یافته است. با توجه به خشکسالی‌های سال‌های اخیر و نوسانات تراکم پوشش گیاهی، احتمال تبدیل زمین‌های با پوشش گیاهی ضعیف و متوسط به طبقه بدون پوشش گیاهی ۰/۴۱ می‌باشد که بیش‌ترین احتمال در تبدیل پوشش گیاهی به زمین فاقد پوشش گیاهی دارد. بر این اساس احتمال دارد وسعتی معادل ۲۱۴۰۶۰ هکتار زمین‌های با پوشش گیاهی ضعیف به زمین‌های فاقد پوشش گیاهی تبدیل شود. همچنین ۱۴۸۲۱۰ هکتار اراضی با طبقه پوششی نیمه‌متراکم، تحت تأثیر خشکسالی از تراکم آن کاسته شود و به طبقه پوشش گیاهی ضعیف تبدیل گردد.

منابع

- بریم‌نژاد، ولی و غلامرضا پیکانی (۱۳۸۳)، «تأثیر بهبود آبیاری در بخش کشاورزی بر افزایش سطح آب‌های زیرزمینی»، *فصلنامه اقتصاد کشاورزی و توسعه*، سال ۱۲، شماره ۴۷، صص ۶۹-۹۵
- حکیمی‌پور، ابوالقاسم (۱۳۷۶)، «*تصمیم‌گیری در مدیریت، کاربرد فرضیه زنجیره‌های مارکوف در تصمیم‌گیری مدیریت*»، چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
- زارع‌گاریزی؛ آرش، شیخ‌واحدپردی، سعدالدین‌امیر و عبدالرسول سلمان ماهینی (۱۳۹۱)، «شبیه‌سازی مکانی-زمانی تغییرات گستره جنگل در آبخیز چهل‌چای استان گلستان با استفاده از مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره مارکف»، *فصلنامه تحقیقات جنگل و صنوبر ایران*، دوره ۲۰، شماره ۲(۴۸)، صص ۲۸۵-۲۷۳.
- زاهدی، مجید؛ ساری‌صراف، بهروز و جاوید جامعی (۱۳۸۶)، «تحلیل تغییرات زمانی- مکانی دمای منطقه شمال غرب ایران»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۱۰، صص ۱۸۳ تا ۱۹۸.
- صادقی‌نیا، علیرضا؛ حجازی‌زاده، زهرا؛ حمیدیان‌پور، محسن و راهبه پورسربندان (۱۳۹۲)، «برآورد احتمالات خشکسالی و ترسالی با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف مطالعه موردی: تهران»، *فصلنامه فضای جغرافیایی*، دوره ۱۳، شماره ۴۳، صص ۸۱-۶۵.
- عرب، داودرضا و حسین مهدی‌خانی (۱۳۸۴)، «گذار از مدیریت بحران به سوی مدیریت ریسک، استراتژی‌های مدیریت خشکسالی»، *مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه*، تهران، صص ۹-۱۰.
- عساکره، حسین (۱۳۸۷)، «بررسی احتمال تواتر و تداوم روزهای بارانی در شهر تبریز با استفاده از مدل زنجیره مارکوف»، *فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران*، ۴ (۲): صص ۴۶-۵۶.
- علیزاده، امین (۱۳۸۰)، «خشکسالی و ضرورت افزایش بهره‌وری آب»، *فصلنامه خشکی و خشکسالی کشاورزی*، وزارت جهاد کشاورزی، شماره ۲: صص ۸-۳.
- فتح‌نیا، امان‌اله (۱۳۸۹)، مدل‌سازی شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده بر اساس فاکتورهای اقلیمی، راهنما منوچهر فرج‌زاده، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس، ص ۸۹.

- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۸۳)، «بررسی راهکارهای کاهش اثرهای خشکسالی در کشور»، *فصلنامه جنگل و مرتع*، ۶۲، صص ۲۴-۲۷.
- مرید، سعید و مهنوش مقدسی (۱۳۸۴)، «حرکت از مدیریت بحران به مدیریت ریسک خشکسالی در آمریکا و اُفق‌های کاری ما»، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران آب در حوادث غیرمترقبه، ۹-۱۰ بهمن، تهران.
- Gautam, M., (2006), "Managing drought in Sub-Saharan Africa: Policy perspectives", *IAAE Conference*, Gold Coast, Queensland, Australia, 12-18 August.
- Gong, D., Shi, P., & He, X., (2002), "Regional difference in the response to temperature variation of northern spring vegetation NDVI", *Acta Geographica Sinica*, 57 (5), PP.505-514.
- Holben, B.N., (1986), "Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data", *Int. J. Remote Sensing*, 7, PP.417-1434.
- Jensen, J.R., (2007), "*Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective*", Pearson Prentice Hall, P. 592.
- Koomen, E. Stillwell, J. Bakema, A. & Scholten, H.J., (2007), "*Modelling Land-use Change, Progress and Applications*", Netherlands, Springer, P. 410.
- Li, X., Shi, P., (1999), "NOAA/NASA data-based research of NDVI variation of main types of vegetation in China, Chinese J. Botany.
- Li, X., Wang, Y., Li, K., (2000), "NDVI sensitivity to the variation of rainfall on a seasonal and interannual basis", *Acta Geographica Sinica (supplemental issue)*, PP.83-89.
- Maselli, F., & M. Chiesi, (2006), "Integration of multi-source NDVI data for the estimation of Mediterranean forest productivity", *Int. J. Remote Sensing*, 27, PP.55-72.
- Mc Kee, T.B. Doesken, N.J. & Kleist, J., (1995), "Drought monitoring with multiple time scales", Proceeding of the Ninth Conference on -

Applied Climatology”, American Meteorology Society, Boston, PP: 233-236.

- Stow, D.A. & 23 others (2004), “Remote sensing of vegetation and land-cover change in arctic tundra ecosystems”, ***Remote Sensing of Environment***, 89: 281-308.
- Wilhite, D.A., (2003), “Mmoving toward risk management: The need for global strategy”, P:18. <http://www.nahrim.gov.my>.