

ارزیابی کاربرد داده‌های بارش NCEP/NCAR در پایش خشک‌سالی ایران

طیب رضیعی^{۱*} و ابراهیم فتاحی^۲

^۱ استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، تهران، ایران
^۲ استادیار، گروه هواشناسی آب‌شناسی، پژوهشکده هواشناسی، تهران، ایران

(دریافت: ۸۷/۶/۳، پذیرش نهایی: ۸۹/۷/۲۸)

چکیده

اساس پایش خشک‌سالی در هر کشور وجود داده‌های مطمئن و به هنگام است. داده‌های هواشناسی موجود در ایران اغلب با تاخیر انتشار می‌یابند که این مسئله امکان پایش بهنگام خشک‌سالی در کشور را با مشکل روبه‌رو می‌کند. از این‌رو در این پژوهش امکان استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده بارش NCEP/NCAR به منظور استفاده در پایش خشک‌سالی ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور داده‌های بارش ماهانه ۵۲ یاخته (Grid) از شبکه داده‌های NCEP/NCAR که کشور ایران را پوشش می‌دهند به همراه داده‌های بارش ماهانه ۳۳ ایستگاه سینوپتیک کشور برای دوره آماری ۱۹۵۱-۲۰۰۵ مورد استفاده قرار گرفت و سری‌های زمانی SPI شش و دوازده ماهه آنها محاسبه شد. سپس آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی به همراه چرخش وریمکس (Varimax) روی سری‌های زمانی SPI شش و ۱۲ ماهه داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای به طور جداگانه صورت گرفت و مدهای اصلی تغییرپذیری SPI در سطح کشور شناسایی شد. نتیجه تحلیل مولفه‌های اصلی روی سری‌های زمانی SPI شش و ۱۲ ماهه هر دو منبع اطلاعاتی نشان داد که ایران را می‌توان از نظر تغییرات زمانی SPI در هر دو مقیاس زمانی به چهار منطقه متمایز تقسیم کرد. سری‌های زمانی نمره استاندارد مولفه‌های چرخش یافته به‌دست آمده از داده‌های NCEP/NCAR با سری‌های زمانی نمره استاندارد مولفه‌های متناظر با آنها در داده‌های مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت و مشخص شد که در اغلب موارد هماهنگی خوبی میان آنها، به‌ویژه در دوره ۱۹۷۰-۲۰۰۵ وجود دارد. همچنین نقشه‌های ناهنجاری بارش ۲۰۰۸ براساس داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای تهیه شد و مورد مقایسه قرار گرفت. این مقایسه نیز روشن ساخت که داده‌های NCEP/NCAR روند تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران را به‌خوبی نشان می‌دهد و می‌تواند برای پایش بهنگام خشک‌سالی در کشور مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بارش، NCEP/NCAR، پایش خشک‌سالی، SPI، ایران

Evaluation of the applicability of the NCEP/NCAR precipitation dataset for drought monitoring in Iran

Raziei, T.¹ and Fatahi, E.²

¹ Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

² Assistant Professor, Atmospheric Science and Meteorological Research Center, Tehran, Iran

(Received: 24 Aug 2008, Accepted: 20 Oct 2010)

Abstract

Drought monitoring, which is a crucial component of drought management, aims to provide information that enables and supports people and organizations to take actions to reduce potential drought-related impact and damage. We usually tend to focus on drought when it is occurring and to react when crises strike. However, recent experiences and developments on drought knowledge are encouraging societies to shift from the traditional crisis-based management to a risk management approach.

While some developed countries enjoy drought monitoring and early warning systems, the lack of updated and reliable meteorological data is still the major limitation in establishing such useful tools in many developing countries like Iran. On the other hand, while the existence of reliable dataset in a given country is essential for drought monitoring, the organizations responsible for collecting meteorological data in Iran delay publishing the updated data. So, the lack of updated data is one of the most important obstacles for drought monitoring in Iran.

In this research, the possibility of using NCEP/NCAR grided precipitation dataset for drought monitoring in Iran was assessed. To this end, the NCEP/NCAR monthly precipitation rate corresponding to 52 grid points distributed all over Iran in a spatial resolution of 1.9×1.9 degree geographical longitude by latitude was utilized for the period 1951-2005. Moreover, monthly precipitation associated with 32 leading synoptic stations for the same period was also used for comparison purposes. The SPI time series for the 6 and 12 month time scales were calculated for all 52 grid points and 32 observations distributed across Iran. This index which is based only on precipitation is widely used in drought monitoring centers and it is in fact a useful tool for capturing the climate variability associated with water shortage or surplus in different areas. Furthermore, in analyzing the spatial and temporal variability of drought across Iran, we applied the Principal Component Analysis (PCA) coupled with Varimax rotation to the SPI field of SPI-6 and SPI-12 for both NCEP/NCAR and observational datasets. Therefore, the S-mode PCA was separately applied on the SPI time series for both time scales associated with each dataset in order to identify the modes of time and spatial variability of the SPI over the country. Finally, the extreme drought of 2008 was given more attention in this analysis due to its importance considering the severity and areal extent.

Applying PCA coupled with Varimax rotation to the SPI fields corresponding to both datasets have regionalized Iran into four distinctive sub-regions considering the time variability of SPI in both time scales used here. In order to verify the results, the Varimax rotated PC score time series obtained from NCEP/NCAR dataset was compared with their counterparts obtained from observational dataset. The results show that the spatial patterns of PC loadings obtained from both datasets are noticeably in agreement and their corresponding rotated PC score time series and are significantly correlated with each other; especially from 1970 onward. Furthermore, comparison of the anomaly maps of precipitation of the cold season of 2008, obtained from both NCEP/NCAR and observational dataset showed a considerable spatial co-variability among them. As a conclusion, it can be said that the NCEP/NCAR dataset detects well the spatial and temporal pattern of precipitation deficit and surplus across Iran and can be used to complement the information provided by observations for drought monitoring in Iran.

Key Words: Precipitation, NCEP/NCAR, Drought Monitoring, SPI, Iran

۱ مقدمه

احتمالی دارد. برای دستیابی به این منظور، وجود داده‌های مطمئن و بهنگام بسیار مهم و اساسی است. از این رو میزان اعتماد به نتایج پژوهش‌ها در زمینه پایش و پیش‌آگاهی خشک‌سالی به شدت به کیفیت داده‌های اولیه بستگی

بررسی و ارزیابی خشک‌سالی و ویژگی‌های آن در یک منطقه و نیز تغییرپذیری الگوی زمانی و مکانی آن نقش مهمی در توسعه روش‌های مدیریت منابع آب و طراحی راهکارهایی برای کاهش اثرات منفی خشک‌سالی‌های

می‌شود. برای مثال داده‌های بارش NCEP/NCAR هر شش ساعت یک‌بار با مدل پیش‌بینی می‌شود که از مجموع چهار پیش‌بینی صورت گرفته در یک روز، مجموع بارش روزانه به دست می‌آید. بنابر این می‌توان گفت که داده‌های بارش در این گونه مدل‌ها نتیجه پیش‌بینی مدل هستند (جانویک و همکاران، ۱۹۹۸؛ بوردی و همکاران، ۲۰۰۶). داده‌های بازتحلیل شده همه ویژگی‌های که پیش‌تر به آن پرداخته شد را دارند و از آنها می‌توان در بررسی و ارزیابی دوره‌های خشک و تر در سطح کره زمین استفاده کرد. بر این اساس بوردی و سوترا (۲۰۰۱ و ۲۰۰۲)، بوردی و همکاران (۲۰۰۱، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶)، لویید-هیوز و ساندرز (۲۰۰۲) و رضیئی و همکاران (۲۰۰۹) کاربرد این داده‌ها را در ارزیابی دوره‌های خشک و تر در بخش‌های گوناگونی از جهان مورد ارزیابی قرار داده‌اند. دینکو و همکاران، (۲۰۰۸) نیز دقت داده‌های بارش سه مدل متفاوت را در یک منطقه کوهستانی از قاره آفریقا با داده‌های بارش مشاهده‌ای (ایستگاه‌های زمینی) مورد مقایسه قرار دادند و نتیجه گرفتند که همبستگی زیادی میان این داده‌ها و داده‌های ایستگاه‌های زمینی وجود دارد. دایرو و همکاران (۲۰۰۹) نیز دقت داده‌های NCEP/NCAR و ECMWF را در تحلیل مکانی و تغییرپذیری بارش فصلی و سالانه اتیوپی در مقایسه با داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که هر دو مدل در مقایسه با داده‌های زمینی به خوبی الگوی مکانی تغییرپذیر بارش را به دست می‌دهند اما مقدار بارش را در برخی مناطق بیشتر و در برخی مناطق کمتر از مقدار مشاهده‌ای برآورد می‌کنند.

قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان به همراه تغییرپذیری درون‌سالی و بین‌سالی بارش، خطر پیدایش خشک‌سالی را در ایران افزایش می‌دهد و آن را به یکی از مستعدترین کشورها در برابر خشک‌سالی تبدیل می‌سازد. از سوی دیگر افزایش جمعیت کشور به همراه

دارد. برای ارزیابی دوره‌های خشک و تر و پایش و پیش‌آگاهی خشک‌سالی در یک منطقه، وجود داده‌هایی که: (۱) به سادگی قابل دستیابی باشند (۲) به طور همگن و یکنواخت منطقه را پوشش دهند (۳) به اندازه کافی بلندمدت باشند تا نتایج آن از نظر آماری قابل اعتماد باشد و (۴) برای تعیین و شناسایی رویدادهای خشک و تر به اندازه کافی بهینه باشند، ضروری است. بسیاری از داده‌های موجود ممکن است که فقط یک و یا چند تا از این ویژگی‌ها را داشته باشند اما همه آنها و به‌ویژه مورد اول را نداشته باشند (بوردی و همکاران، ۲۰۰۶). داده‌های هواشناسی و هیدرومتری کشورها اغلب با چنین کمبودهایی روبه‌رو هستند. به همین علت امروزه بیشتر پژوهشگران هواشناسی و آب و هواشناسی به جای استفاده از داده‌های خام زمینی، به استفاده از داده‌های بازتحلیل شده روی آورده‌اند که کیفیت آنها با روش‌های گوناگون مانند هماهنگی با نتایج مدل‌های پیچیده جوئی کنترل شده است. داده‌های بازتحلیل شده نتیجه برهمکنش پیچیده میان داده‌های موجود و نتایج مدل‌های جوئی است که به صورت داده‌های شبکه‌بندی شده با پوشش سیاره‌ای داده می‌شوند. داده‌های بازتحلیل شده (NCAR, National Center for Atmospheric Research/ NCEP, National Centers for Environmental prediction) و (ECMWF, European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) از آغاز دهه گذشته تاکنون در دسترس پژوهشگران قرار گرفته و شتاب گسترده‌ای را در پژوهش‌های هواشناسی، آب و هواشناسی و اقیانوس‌شناسی موجب شده‌اند.

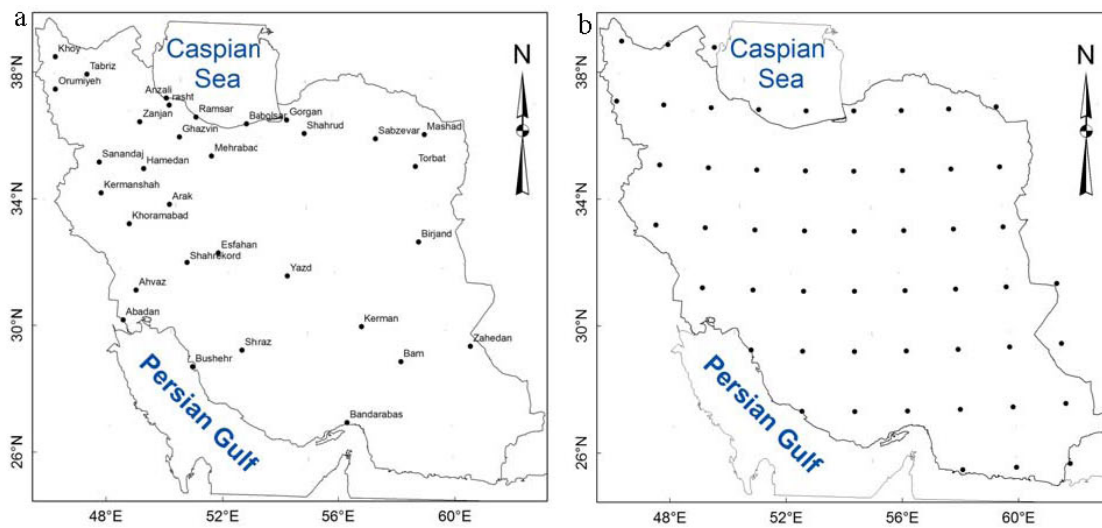
در این گونه مدل‌ها برای تولید داده‌های بارش که مهم‌ترین متغیر برای بررسی و ارزیابی خشک‌سالی است (کیانتاش و دراکوب، ۲۰۰۲) از داده‌های مشاهده‌ای بارش (ایستگاه‌های باران‌سنج) استفاده نمی‌شود بلکه مقدار بارش از یک مدل فیزیکی که از متغیرهای دیگری مانند باد، دما، رطوبت و به‌ویژه و مانند آن بهره می‌برد پیش‌بینی

۲ داده‌ها

برای به‌انجام رسیدن این پژوهش، داده‌های بارش ماهانه ۳۲ ایستگاه سینوپتیک کشور (شکل ۱a) که دارای آمار بلندمدت و قابل اعتماد هستند از پایگاه سازمان هواشناسی کشور (<http://www.irimet.net>) دریافت و مورد استفاده قرار گرفت. ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده از ۱۹۵۱ تا ۲۰۰۵ دارای آمار کامل و قابل اعتمادی هستند و اندک داده‌های گمشده آنها با استفاده از نزدیک‌ترین ایستگاه همسایه و به کمک رابطه رگرسیون خطی برآورد شد. همچنین داده‌های بارش ماهانه ۵۲ یاخته (Grid) از داده‌های شبکه‌بندی شده NCEP/NCAR که با دقت مکانی $1/9^{\circ} \times 1/9^{\circ}$ درجه جغرافیایی در درون مرزهای ایران آرایش پیدا کرده‌اند (شکل ۱b)، برای دوره موردنظر از سایت <http://www.cdc.noaa.gov> دریافت شد و مورد استفاده قرار گرفت. برای تولید داده‌های NCEP/NCAR از یک سامانه پیش‌بینی و تحلیل (AGCM, Atmospheric General Circulation Model) ایستا (در سامانه شبیه‌سازی تغییری در طی زمان ایجاد نمی‌شود) بهره‌گیری شده است. در این سامانه برای شبیه‌سازی و بازتحلیل متغیرهای جوئی از داده‌های ایستگاه‌های زمینی، بویه‌ها و ایستگاه‌های دریایی، داده‌های جو بال، پیش‌بینی‌های ماهواره‌های هواشناسی و پیش‌بینی‌های عددی هواشناسی استفاده می‌شود. اما باید در نظر گرفت که برای پیش‌بینی برخی از متغیرهای هواشناسی از راه مدل (مانند بارش) از داده‌های مشاهده‌ای (ایستگاه‌های زمینی) همان متغیر استفاده نمی‌شود و به همین علت دقت پیش‌بینی مدل برای برخی از مناطق جهان ممکن است مناسب نباشد و می‌باید آنها را به کمک داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار داد (کالنی و همکاران، ۱۹۹۶).

گسترش شهرنشینی، افزایش رفاه اجتماعی و تغییر الگوی مصرف نیاز به آب در ایران را دوچندان کرده است. از این رو فشار روی منابع محدود آب، به‌ویژه در بخش‌های خشک و نیمه‌خشک شرق و جنوب کشور میزان آسیب‌پذیری در برابر خشک‌سالی و در نتیجه پتانسیل ایجاد بحران در دوره‌های خشک را در ایران افزایش داده است. افزایش نیاز به آب در کشور باعث شده است که حتی در سال‌های با بارش نرمال نیز کمبود آب وجود داشته باشد و به عبارتی یک خشک‌سالی روی دهد که نه ناشی از کمبود بارش، بلکه ناشی از فزونی تقاضا بر عرضه آب در کشور است. وجود چنین شرایطی در کشور لزوم پایش بهنگام خشک‌سالی را گوشزد می‌کند تا به آن وسیله بتوان با هشدار به‌هنگام و اجرای راهکارهای پیشگیرانه و برنامه‌های مدیریتی با کمترین آسیب از دوره‌های خشک‌سالی گذر کرد.

اساس پایش خشک‌سالی در هر کشور وجود داده‌های مطمئن و بهنگام است. داده‌های هواشناسی موجود در ایران اغلب با تاخیر انتشار می‌یابند که این مسئله امکان پایش بهنگام و موثر خشک‌سالی در کشور را با مشکل روبه‌رو می‌کند. از سوی دیگر توزیع مکانی ایستگاه‌های زمینی در برخی مناطق کشور چندان مناسب نیست (بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوبی کشور) و فاصله ایستگاه‌ها در این مناطق بسیار زیاد بوده و با استانداردهای جهانی فاصله زیادی دارد. داده‌های بازتحلیل شده مانند داده‌های NCEP/NCAR که به صورت شبکه‌بندی عرضه می‌شوند می‌توانند گزینه مناسبی برای رفع این کمبود باشند و در کنار داده‌های مشاهده‌ای برای تحلیل دوره‌های خشک و تر و پایش بهنگام خشک‌سالی کشور به کار گرفته شوند. از این رو هدف از این پژوهش ارزیابی امکان کاربرد داده‌های بازتحلیل شده بارش NCEP/NCAR در پایش خشک‌سالی ایران است.



شکل ۱. a- پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و b- یاخته‌های NCEP/NCAR روی ایران.

۳ روش پژوهش

برای شناسایی دوره‌های خشک و تر در ایران از نمایه بارش استاندارد شده (SPI, Standardized Precipitation Index) با مقیاس زمانی شش و ۱۲ ماهه استفاده شد. نمایه SPI که مکی و همکاران (۱۹۹۳) آن را عرضه کرده و به‌طور گسترده‌ای در سطح جهان مورد استفاده قرار گرفته است (هایس و همکاران، ۱۹۹۹؛ لوکاس و واسیلیادس، ۲۰۰۴؛ ساکرپس و ونجلیس، ۲۰۰۴؛ لوید-هیوز و ساندرز، ۲۰۰۲؛ بوردی و همکاران، ۲۰۰۲، ۲۰۰۴؛ رضینی و همکاران، ۱۳۸۶) فقط براساس متغیر بارش استوار است و ابزار مناسبی برای شناسایی تغییرپذیری اقلیم و دوره‌های خشک و تر در مناطق گوناگون است. بر این اساس در این پژوهش نیز به پیروی از مکی و همکاران (۱۹۹۳) سری‌های بارش ماهانه هر ایستگاه و یا یاخته در مقیاس‌های زمانی یاد شده با توزیع گاما برازش و احتمال مقادیر بارش در این توزیع برای دستیابی به مقادیر SPI به توزیع نرمال استاندارد انتقال داده شد (رضینی و همکاران، ۱۳۸۶؛ بوردی و سوترا، ۲۰۰۱).

برای محاسبه نمایه SPI می‌توان مجموع بارش ماهانه و یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه (سه ماهه،

شش ماهه و غیره) را با استفاده از یک توزیع مناسب مانند توزیع گاما و یا پی‌رسون تیپ سه برازش داد. گاتمن (۱۹۹۹) توزیع پی‌رسون تیپ سه را مناسب‌ترین توزیع برای برازش بارندگی ماهانه معرفی کرده است؛ هرچند که بسیاری از پژوهشگران همچون مکی و همکاران (۱۹۹۳) توزیع گاما را مطرح ساخته‌اند. تابع چگالی احتمال توزیع گاما برای $x > 0$ به شکل رابطه (۱) محاسبه می‌شود (بوردی و همکاران، ۲۰۰۱).

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

در رابطه (۱) $\alpha > 0$ پارامتر شکل، $\beta > 0$ پارامتر مقیاس توزیع گاما و $x > 0$ مقدار بارندگی است. در این رابطه $\Gamma(\alpha)$ نیز تابع گاما است که به شکل رابطه (۲) تعریف می‌شود (لوید-هیوز و ساندرز، ۲۰۰۲).

$$\Gamma(\alpha) = \lim_{n \rightarrow \infty} \prod_{\nu=0}^{n-1} \frac{n! n^{y-1}}{y + \nu} \equiv \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

برای برازش داده‌های بارندگی به توزیع گاما لازم است که α و β برآورد شوند. ادواردز و مکی (۱۹۹۷) برای برآورد کردن این دو پارامتر، استفاده از روش بیشینه

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad \text{برای} \quad (۸)$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{برای} \quad 0.5 < H(x) < 1 \quad (۹)$$

برای $0 < H(x) \leq 0.5$ و $0.5 < H(x) \leq 1$ مولفه t به ترتیب از رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) به دست می‌آید.

$$t = \sqrt{\ln \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} \quad (۱۰)$$

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

مولفه‌های $c_0, c_1, c_2, d_1, d_2, d_3$ نیز ضرایب ثابتی هستند که به شرح زیر تعریف می‌شوند.

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 & d_1 &= 1.432788 \\ c_1 &= 0.802853 & d_2 &= 0.189269 \\ c_2 &= 0.010328 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

بدین ترتیب مقادیر SPI برابر با نمره استاندارد در توزیع نرمال استاندارد است که برابر با جدول ۱ طبقه‌بندی می‌شود (مکی و همکاران، ۱۹۹۵).

جدول ۱. طبقه‌بندی مقادیر SPI.

گروه	SPI مقادیر
ترسالی بسیار شدید	۲ و بالاتر
ترسالی شدید	۱/۵۰ تا ۱/۹۹
ترسالی ملایم	۱/۰۰ تا ۱/۴۹
نزدیک به نرمال	۰/۹۹ تا -۰/۹۹
خشک‌سالی ملایم	-۱/۰۰ تا -۱/۴۹
خشک‌سالی شدید	-۱/۵۰ تا -۱/۹۹
خشک‌سالی بسیار شدید	-۲/۰۰ و کمتر

به منظور شناسایی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI در سطح ایران، روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) با آرایه S

درست‌نمایی را پیشنهاد کرده‌اند که به شکل رابطه (۳) و (۴) تعریف می‌شود.

$$\tilde{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (۳)$$

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

در رابطه (۳) A برای n مشاهده به شکل رابطه (۵) برآورد می‌شود.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (۵)$$

در رابطه (۵)، n تعداد مشاهداتی است که در آن بارندگی روی داده و $\bar{x}$ نیز میانگین بارندگی بازه زمانی موردنظر (ماهانه، سه ماهه و) است. با استفاده از پارامترهای برآورد شده در رابطه‌های بالا می‌توان احتمال تجمعی بارندگی در مقیاس موردنظر را برای هر ایستگاه محاسبه کرد. با فرض $t=x/B$ ، احتمال تجمعی به شکل تابع گامای ناقص در خواهد آمد و به شکل رابطه (۶) تعریف می‌شود.

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

از آنجاکه تابع گاما برای $x=0$ قابل تعریف نیست و داده‌های بارندگی همواره دربرگیرنده تعداد زیادی مشاهده با بارندگی صفر است، احتمال تجمعی بارندگی به شکل رابطه (۷) تبدیل می‌شود.

(۷)

در این رابطه q برابر است با احتمال مقادیر بارندگی صفر. سرانجام $H(x)$ با استفاده از رابطه (۸) و (۹) به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف از معیار یک انتقال داده می‌شود که نتیجه به دست آمده مقدار SPI شناخته می‌شود.

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right)$$

SPI در منطقه قابل شناسایی است.

به منظور ارزیابی دقت داده‌های NCEP/NCAR در شناسایی الگوی تغییرات زمانی بارش و دوره‌های خشک و تر در ایران، سری‌های زمانی نمره استاندارد مولفه‌های انتخاب شده از این منبع اطلاعاتی با سری‌های زمانی نمره استاندارد مولفه‌های به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت و ضریب همبستگی میان آنها محاسبه شد. همچنین به دلیل اهمیت خشک‌سالی سال ۲۰۰۸ نقشه‌های ناهنجاری بارش این سال براساس داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای تهیه شد و مورد مقایسه قرار گرفت تا دقت این داده‌ها در عرضه الگوی تغییرات مکانی بارش در مقایسه با داده‌های زمینی مورد ارزیابی قرار گیرد.

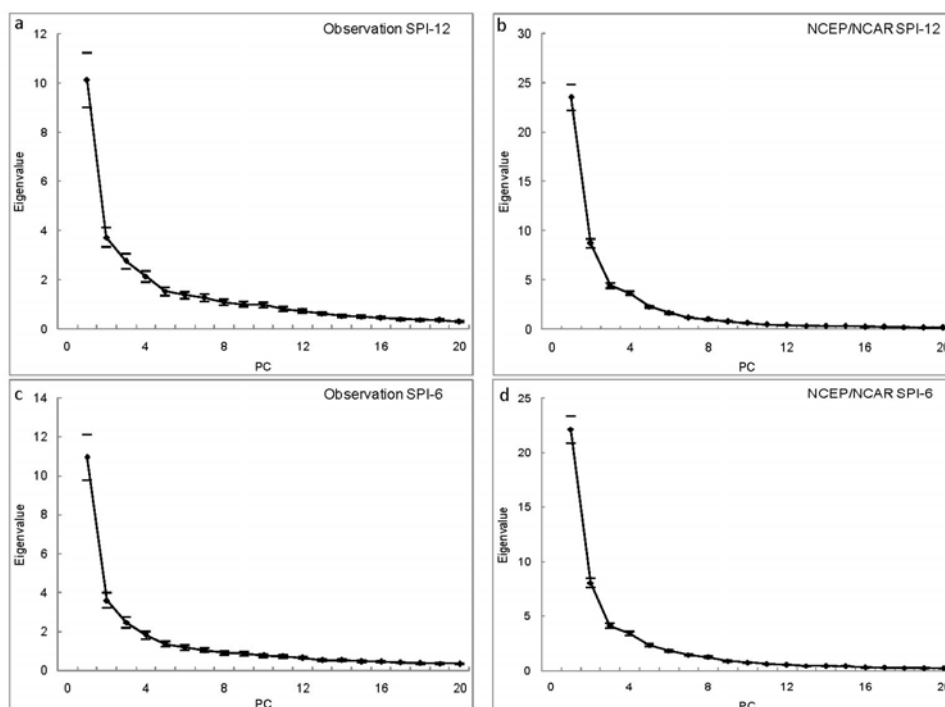
۴ نتایج

شکل ۲a تا ۲d نمودار غربالی مولفه‌ها را به همراه دامنه خطای مربوطه (نورت و همکاران، ۱۹۸۲) برای سری‌های SPI-12 و SPI-6 به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR نشان می‌دهد. براساس نقطه شکست این نمودارها، مولفه‌های اول تا چهارم در هر چهار سری زمانی برای تجزیه و تحلیل بیشتر انتخاب شد. با توجه به همپوشان نبودن دامنه خطای مولفه‌های اول تا چهارم در هر چهار مورد، ملاحظه می‌شود که مولفه‌های انتخابی به خوبی از یکدیگر متمایزند و بخش قابل‌توجهی از واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهند. همچنین در هر چهار نمودار ملاحظه می‌شود که مولفه چهارم کاملاً منطبق با خط شکست نمودار غربالی و از مولفه پنجم نیز کاملاً مستقل است و هیچ گونه همپوشانی با آن ندارد. جدول ۲ درصد واریانس مولفه‌های انتخاب شده را برای SPI شش و دوازده ماهه در هر دو منبع اطلاعاتی نشان می‌دهد.

روی سری‌های زمانی SPI شش و دوازده ماهه هر دو منبع اطلاعاتی (داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR) به طور جداگانه صورت گرفت. از این رو، برای شناسایی هم‌وردایی (Co-variability) یا روند تغییرات هم‌زمان سری‌های SPI شش و دوازده ماهه وابسته به داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR، آرایه S تحلیل مولفه‌های اصلی به ترتیب روی سری‌های زمانی ۳۲ ایستگاه سینوپتیک کشور (داده‌های مشاهده‌ای) و ۵۲ یاخته از داده‌های NCEP/NCAR که در درون مرزهای ایران پراکنده‌اند به طور جداگانه صورت گرفت. استفاده از نمودار غربالی (Scree plot) و قانون نورت (نورت و همکاران، ۱۹۸۲) نشان داد که برای هر دو منبع اطلاعاتی و هر دو مقیاس زمانی (شش و دوازده ماهه) می‌توان مولفه‌های اول تا چهارم را که به خوبی از یکدیگر متمایزند و بخش قابل‌توجهی از واریانس کل داده‌ها را توضیح می‌دهند برای بررسی و تحلیل خشک‌سالی در منطقه مورد تحقیق انتخاب کرد. سپس به منظور دستیابی به مولفه‌های دارای پوشش مکانی مشخص و همگن با استفاده از چرخش وریماکس (Varimax Rotation) (ویلکس، ۱۹۹۵؛ فون استورس و سویرس، ۱۹۹۹) مولفه‌های انتخابی چرخش داده شدند. مقدار بارگویه (Loading) مولفه‌های چرخش یافته با استفاده از GIS به نقشه تبدیل شد تا مدهای مکانی تغییرات زمانی سری‌های SPI شش و ۱۲ ماهه در منطقه به نمایش گذاشته شود. این نقشه‌ها مناطقی را که از نظر تغییرات سری SPI هم‌روند هستند مشخص می‌کند (ویسته - سرانو و همکاران، ۲۰۰۴). از این رو گستره جغرافیایی هر مولفه نمایشگر منطقه‌ای است که در آن تغییرات زمانی سری SPI همانند است و می‌توان آنها را در یک گروه قرار داد. نمره استاندارد هر مولفه را نیز می‌توان معادل با سری زمانی منطقه‌ای SPI در آن منطقه در نظر گرفت. به این ترتیب با استفاده از تحلیل مولفه‌های اصلی الگوهای مکانی و زمانی

هریک از این مناطق با یکدیگر هماهنگ و هم‌روند هستند. با توجه به اینکه نقشه توزیع مکانی بارگویه‌ها مناطق دارای سری‌های زمانی SPI هم‌روند و هماهنگ را نشان می‌دهند، سری زمانی نمره استاندارد مولفه‌های مربوط که از ترکیب خطی سری‌های SPI ایستگاه‌ها (یاخته‌های) درون هر یک از این مناطق به دست آمده است نیز معرف سری زمانی منطقه‌ای SPI برای هر منطقه به شمار می‌روند.

شکل‌های ۳ و ۴ و ۶ و ۷ به ترتیب گستره مکانی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI-12 و SPI-6 در سطح ایران را که براساس داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR به دست آمده‌اند نشان می‌دهند. در این شکل مناطق دارای بارگویه مثبت بیش از ۰/۶ که با دامنه‌ای از رنگ سرخ نمایش داده شده‌اند، بیانگر منطقه‌ای همگن از نظر تغییرپذیری سری زمانی SPI هستند. از این‌رو روند تغییرات سری‌های زمانی SPI ایستگاه‌ها (یاخته‌های) درون



شکل ۲. نمودار غربالی و دامنه خطای ارزش ویژه (نورت و همکاران، ۱۹۸۲) تحلیل مولفه‌های اصلی روی (a) SPI-12 داده‌های مشاهده‌ای، (b) SPI-12 داده‌های NCEP/NCAR، (c) SPI-6 داده‌های مشاهده‌ای و (d) SPI-6 داده‌های NCEP/NCAR.

جدول ۲. واریانس و واریانس افزایشی (درصد) مولفه‌های چرخش یافته SPI شش و ۱۲ ماهه.

منبع داده‌ها	مقیاس زمانی	درصد واریانس توضیح داده شده	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم
داده‌های مشاهده‌ای	SPI-12	درصد واریانس	۲۰/۴	۱۶/۶	۱۲/۴	۹/۲
		درصد افزایشی واریانس	۲۰/۴	۳۷/۰	۴۹/۴	۵۸/۶
	SPI-6	درصد واریانس	۲۲/۷	۱۵/۸	۱۰/۲	۹/۹
		درصد افزایشی واریانس	۲۲/۷	۳۸/۵	۴۸/۷	۵۸/۶
داده‌های NCEP/NCAR	SPI-12	درصد واریانس	۲۸/۱	۲۶/۱	۱۴/۵	۸/۹
		درصد افزایشی واریانس	۲۸/۱	۵۴/۲	۶۸/۷	۷۷/۶
	SPI-6	درصد واریانس	۲۵/۷	۲۴/۹	۱۱/۹	۱۰/۰
		درصد افزایشی واریانس	۲۵/۷	۵۰/۶	۶۲/۵	۷۲/۵

۴-۱ الگوهای مکانی و زمانی سری‌های SPI

۴-۱-۱ SPI-12

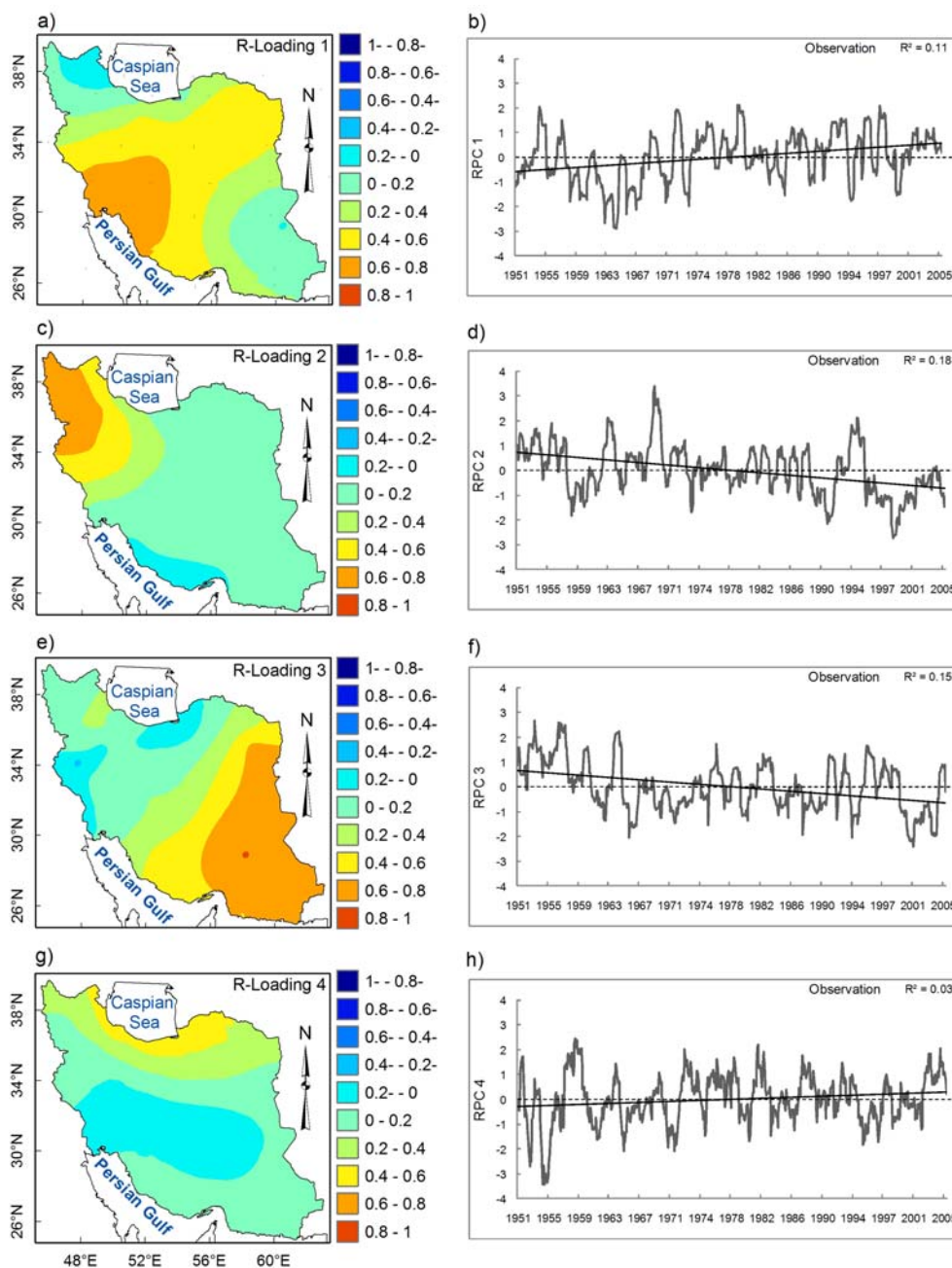
شکل ۳ نقشه توزیع مکانی بارگویه‌های چرخش یافته SPI-12 و سری‌های زمانی نمره استاندارد وابسته به آنها را که براساس داده‌های مشاهده‌ای محاسبه شدند، نمایش می‌دهد. این نقشه‌ها در واقع گستره مکانی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI-12 در سطح ایران را نمایش می‌دهند. نخستین مولفه چرخش یافته SPI-12 که ۲۰/۴ درصد از واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهد گستره‌ای بزرگ از جنوب غرب، مرکز و شرق ایران را در بر می‌گیرد (شکل ۳a). هسته اصلی این مولفه در جنوب غرب ایران قرار گرفته است که با مقدار بارگویه ۰/۸-۰/۶ نشان داده شده است. شکل ۳b سری زمانی نمره استاندارد این مولفه را نشان می‌دهد که دارای روند افزایشی ضعیفی است. دومین مولفه چرخش یافته با توضیح ۱۶/۶ درصد شمال غرب ایران را به‌منزله منطقه‌ای مستقل از نظر تغییرپذیری SPI-12 از دیگر بخش‌های کشور جدا می‌کند (شکل ۳c). سری زمانی نمره استاندارد این مولفه نیز با روند کاهشی قابل توجه، بیانگر گرایش این منطقه به دوره‌های خشک‌تر است (شکل ۳d). سومین منطقه از نظر تغییرپذیری SPI-12 در سطح کشور منطقه جنوب شرق ایران است که با بارگویه بالا در مولفه چرخش یافته سوم خود را نشان داده شده است (شکل ۳e). روند تغییرات نمره استاندارد این مولفه نیز نشان‌دهنده وجود روند کاهشی و گرایش منطقه به سوی دوره‌های خشک‌تر است (شکل ۳f). چهارمین مولفه چرخش یافته نیز شمال ایران را درحکم یک منطقه مشخص از دیگر بخش‌های کشور جدا می‌کند (شکل ۳g). البته مقدار بارگویه مولفه چهارم به اندازه دیگر مولفه‌ها بزرگ نیست (بین ۰/۲ تا ۰/۶) که این امر نشان از همبستگی ضعیف سری زمانی ایستگاه‌های منطقه با نمره استاندارد وابسته به این مولفه دارد. شکل ۳h نیز نشان می‌دهد که تغییرات زمانی نمره استاندارد این

مولفه پیرامون میانگین سری قرار دارد و روند خاصی را دنبال نمی‌کند.

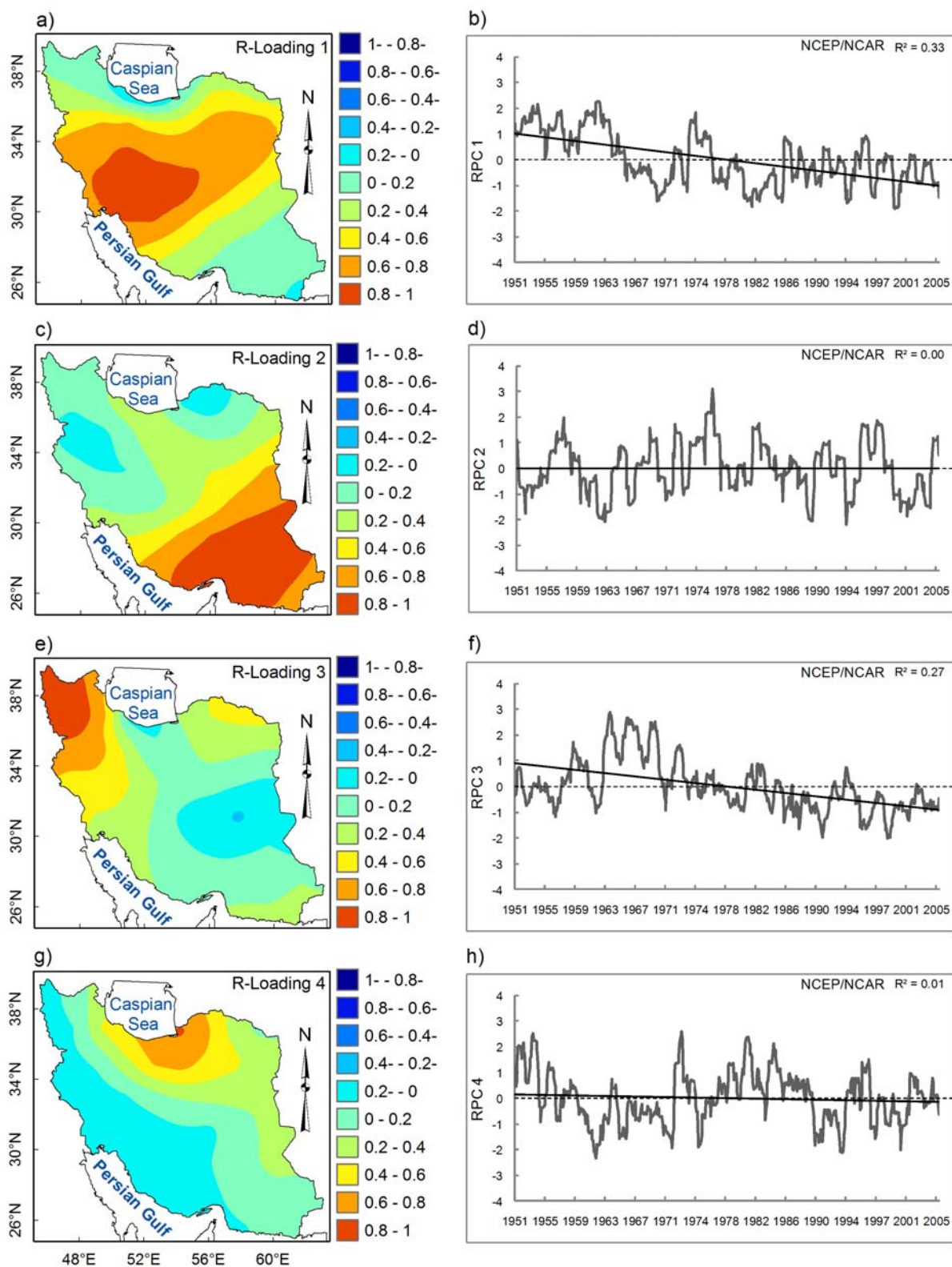
با انجام تحلیل مولفه‌های اصلی روی سری زمانی SPI دوازده ماهه ۵۲ یاخته از داده‌های NCEP/NCAR که در درون مرزهای ایران توزیع شده‌اند (شکل ۱b) نتایجی همانند شکل ۳ به‌دست آمد که در شکل ۴ آورده شده است. همان‌گونه که در شکل ۴a دیده می‌شود مولفه اول به‌دست آمده از داده‌های NCEP/NCAR از نظر مکانی با مولفه اول به‌دست آمده از داده‌های مشاهداتی، کاملاً همخوانی دارد و هسته اصلی آن در جنوب غرب ایران قرار گرفته است و بخش‌های مرکزی و شرقی ایران را نیز با بارگویه بالا پوشش می‌دهد. اگر چه الگوی توزیع مکانی مولفه اول داده‌های NCEP/NCAR که ۲۸/۱ درصد کل واریانس داده‌ها را توضیح می‌دهد (جدول ۲) با الگوی مکانی مولفه اول داده‌های مشاهداتی همخوانی بسیار خوبی را نشان می‌دهند ولی سری زمانی نمره استاندارد مربوط به آنها دارای دو روند متفاوت است که شناسایی دلیل این تفاوت نیازمند بررسی‌های بیشتری است. با توجه به شکل ۴b ملاحظه می‌شود که نمره استاندارد مولفه اول NCEP/NCAR دارای یک روند کاهشی شدید است که ۳۳ درصد تغییرات زمانی سری را توضیح می‌دهد؛ درحالی‌که سری زمانی نمره استاندارد مولفه اول داده‌های مشاهداتی (شکل ۳b) دارای روند افزایشی است. مولفه دوم داده‌های NCEP/NCAR با توضیح ۲۶/۱ درصد از کل واریانس داده‌ها جنوب شرق ایران را درحکم منطقه‌ای مشخص از دیگر نقاط کشور جدا ساخته است (شکل ۴c). تغییرات نمره استاندارد وابسته به این مولفه هیچ‌گونه روندی را نشان نمی‌دهد و تغییرات آن پیرامون میانگین سری قرار گرفته است (شکل ۴d)، درحالی‌که سری زمانی نمره استاندارد مولفه متناظر با آن در داده‌های مشاهداتی دارای روندی کاهشی است (شکل ۳f). مولفه سوم داده‌های NCEP/NCAR نیز با توضیح

داده‌های NCEP/NCAR خود را به وسیله مولفه چهارم نمایش داده است. سری زمانی نمره استاندارد این مولفه (شکل ۴h) همانند سری متناظر با آن در داده‌های مشاهده‌ای (شکل ۳h) روندی را دنبال نمی‌کند.

۱۴/۵ درصد از کل واریانس داده‌ها شمال غرب ایران را در حکم یک منطقه کاملاً مستقل معرفی کرده است. روند تغییرات سری زمانی وابسته به این مولفه (شکل ۴f) همانند سری متناظر با آن در داده‌های مشاهده‌ای (شکل ۳d) دارای روند کاهشی شدید و معنی‌دار می‌باشد. بخش شمالی کشور، هم در داده‌های مشاهده‌ای و هم در



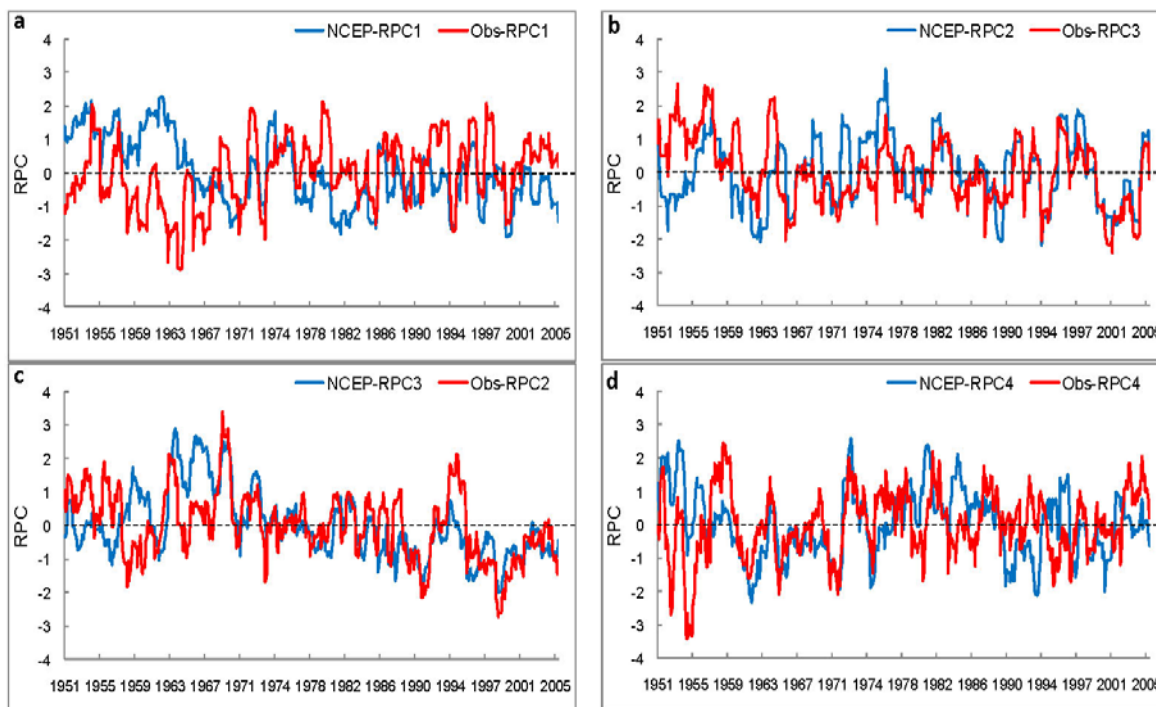
شکل ۳. گستره مکانی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI-12 در سطح ایران براساس داده‌های مشاهده‌ای.



شکل ۴. گستره مکانی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI-12 در سطح ایران براساس داده‌های NCE/NCAR.

منبع اطلاعاتی بسیار هماهنگ است ولی هم‌روندی سری‌های زمانی نمره استاندارد وابسته به آنها ضعیف و ضریب همبستگی میان آنها نیز بسیار کم است (جدول ۳). با توجه به شکل ۵ می‌توان گفت که به غیر از شکل ۵a در بقیه مدهای تغییرپذیری SPI-12 همخوانی خوبی میان داده‌های مشاهده‌ای و NCEP/NCAR وجود دارد. شکل ۵b نشان می‌دهد که تغییرات SPI-12 داده‌های مشاهداتی و NCEP/NCAR در جنوب شرق کشور بسیار هماهنگ و ضریب همبستگی میان آنها ۰/۴۹ است (جدول ۳). در شمال غرب کشور نیز هماهنگی خوبی بین سری زمانی نمره استاندارد مولفه‌های مربوط در هر دو منبع اطلاعاتی دیده می‌شود (شکل ۵c) که با ضریب همبستگی ۰/۵۴ در جدول ۳ نمایش داده شده است. شکل ۵d نیز نشان می‌دهد که هماهنگی میان نمره استاندارد مولفه چهارم در هر دو منبع اطلاعاتی خوب است و ضریب همبستگی معنی‌دار ۰/۳۰ را نیز دارد.

به‌طور کلی می‌توان گفت که نتیجه تحلیل مولفه‌های اصلی روی سری‌های زمانی SPI-12 داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR به پیدایش یک منطقه‌بندی یکسان در هر دو منبع اطلاعاتی منجر شد. تنها تفاوت قابل توجه در این فرایند را می‌توان جابه‌جایی مولفه‌های دوم و سوم در شکل‌های ۳ و ۴ و نیز تفاوت در روند تغییرات سری زمانی نمره استاندارد برخی از مولفه‌های متناظر عنوان کرد (شکل ۳b و ۴b). شکل ۵ میزان هم‌روندی و همخوانی سری زمانی نمره استاندارد مولفه‌های متناظر در هر دو منبع اطلاعاتی و جدول ۳ نیز ضریب همبستگی میان آنها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۵a ملاحظه می‌شود که تغییرات زمانی نمره استاندارد مولفه اول داده‌های مشاهده‌ای و مولفه اول داده‌های NCEP/NCAR به‌ویژه در دوره ۱۹۵۱-۱۹۷۰ هماهنگی خوبی ندارند، اما هم‌روندی آنها از ۱۹۷۱ به بعد بهتر شده است. اگرچه الگوی مکانی مولفه اول در هر دو



شکل ۵. مقایسه هم‌وردایی سری‌های زمانی نمره استاندارد چرخش یافته SPI-12 به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR.

۴-۱-۲ SPI-6

شکل‌های ۶ و ۷ الگوی مکانی تغییرات SPI-6 را در سطح ایران نشان می‌دهند که به ترتیب براساس داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR به دست آمده‌اند. با توجه به جدول ۱ ملاحظه می‌شود که اگرچه مقدار واریانس توضیح داده شده مولفه‌ها در SPI-6 در مقایسه با SPI-12 کمی تغییر پیدا کرده‌اند ولی الگوی مکانی تغییرات SPI-6 در سطح ایران در هر دو منبع اطلاعاتی همانند الگوی مکانی تغییرات SPI-12 (شکل‌های ۳ و ۴) است. با توجه به شکل ۶ ملاحظه می‌شود که تحلیل مولفه اصلی روی سری‌های زمانی SPI-6 ایستگاه‌های سینوپتیک کشور منجر به پیدایش چهار منطقه مجزا شده که با مناطق چهارگانه به دست آمده از SPI-12 در هر دو منبع اطلاعاتی (شکل‌های ۳ و ۴) هماهنگ است. از این رو گستره ایران را نیز می‌توان براساس تغییرپذیری زمانی SPI-6 به چهار منطقه جنوب غربی-مرکز، شمال غربی، شمالی و منطقه جنوب شرقی تقسیم کرد. شکل ۷ نیز نشان می‌دهد که مدهای مکانی و زمانی تغییرپذیری SPI-6 در سطح ایران که براساس داده‌های NCEP/NCAR به دست آمده‌اند کاملاً با نتایج داده‌های مشاهده‌ای (شکل ۶) هماهنگ‌اند. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که هماهنگی میان داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR در ایجاد چهار منطقه تغییرپذیری SPI در SPI-6 و SPI-12 همانند است، با این تفاوت که مکان برخی از مولفه در SPI-6 نسبت به SPI-12 تغییر کرده است. برای مثال مولفه‌های سوم و چهارم داده‌های مشاهده‌ای در شکل ۶ جای خود را در مقایسه با شکل ۳ (SPI-12) با یکدیگر عوض کرده‌اند. با توجه به شکل ۶c ملاحظه می‌شود که منطقه شمال غرب کشور در حکم منطقه‌ای کاملاً مشخص نمایان شده است که مولفه متناظر با آن در داده‌های NCEP/NCAR مولفه سوم است (شکل ۷e). روند تغییرات سری زمانی نمره استاندارد این مولفه

در هر دو منبع اطلاعاتی کاهشی است و در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد واریانس تغییرات سری را توضیح می‌دهد (شکل‌های ۶c و ۷e). بخش شمالی کشور در حکم بخشی مستقل و متمایز از دیگر نقاط کشور در داده‌های مشاهداتی با مولفه سوم (شکل ۶e) و در داده‌های NCEP/NCAR با مولفه چهارم معرفی شده است (شکل ۷g). در سری زمانی نمره استاندارد آنها هیچ گونه روندی دیده نمی‌شود و تغییرات سری پیرامون میانگین سری روی داده است. منطقه جنوب شرقی ایران در داده‌های مشاهداتی با مولفه چهارم (شکل ۶g) و در داده‌های NCEP/NCAR با مولفه دوم (شکل ۷c) نمایان شده است. سری زمانی وابسته به این مولفه در داده‌های مشاهداتی روندی کاهشی دارد در حالی که در داده‌های NCEP/NCAR هیچ روندی دنبال نمی‌شود.

شکل ۸ میزان هماهنگی و هم‌وردایی مولفه‌های متناظر را در داده‌های مشاهداتی و NCEP/NCAR نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که مولفه‌های متناظر با یکدیگر هماهنگی خوبی را نشان می‌دهند و میزان همبستگی میان آنها زیاد و معنی‌دار است (جدول ۳). برخلاف مورد SPI-12 که میان سری زمانی مولفه اول هر دو منبع اطلاعاتی هماهنگی ضعیفی وجود دارد در مورد SPI-6 این هماهنگی بسیار خوب است و ضریب همبستگی زیاد (۰/۳۳) را نیز دارد (شکل ۷a). مولفه دوم NCEP/NCAR و مولفه چهارم داده‌های مشاهداتی که تغییرات سری زمانی SPI-6 را در بخش جنوب شرقی کشور عرضه می‌کنند با ضریب همبستگی ۰/۵۲ هماهنگی بسیار خوبی دارند (شکل ۷b). هماهنگی بین سری‌های زمانی نمره استاندارد مولفه سوم NCEP/NCAR و مولفه دوم داده‌های مشاهداتی که تغییرات زمانی SPI-6 را در منطقه شمال غرب کشور به نمایش می‌گذارد (شکل ۷c) نیز با ضریب همبستگی ۰/۵۳ به خوبی قابل شناسایی است. بخش شمالی کشور نیز که در

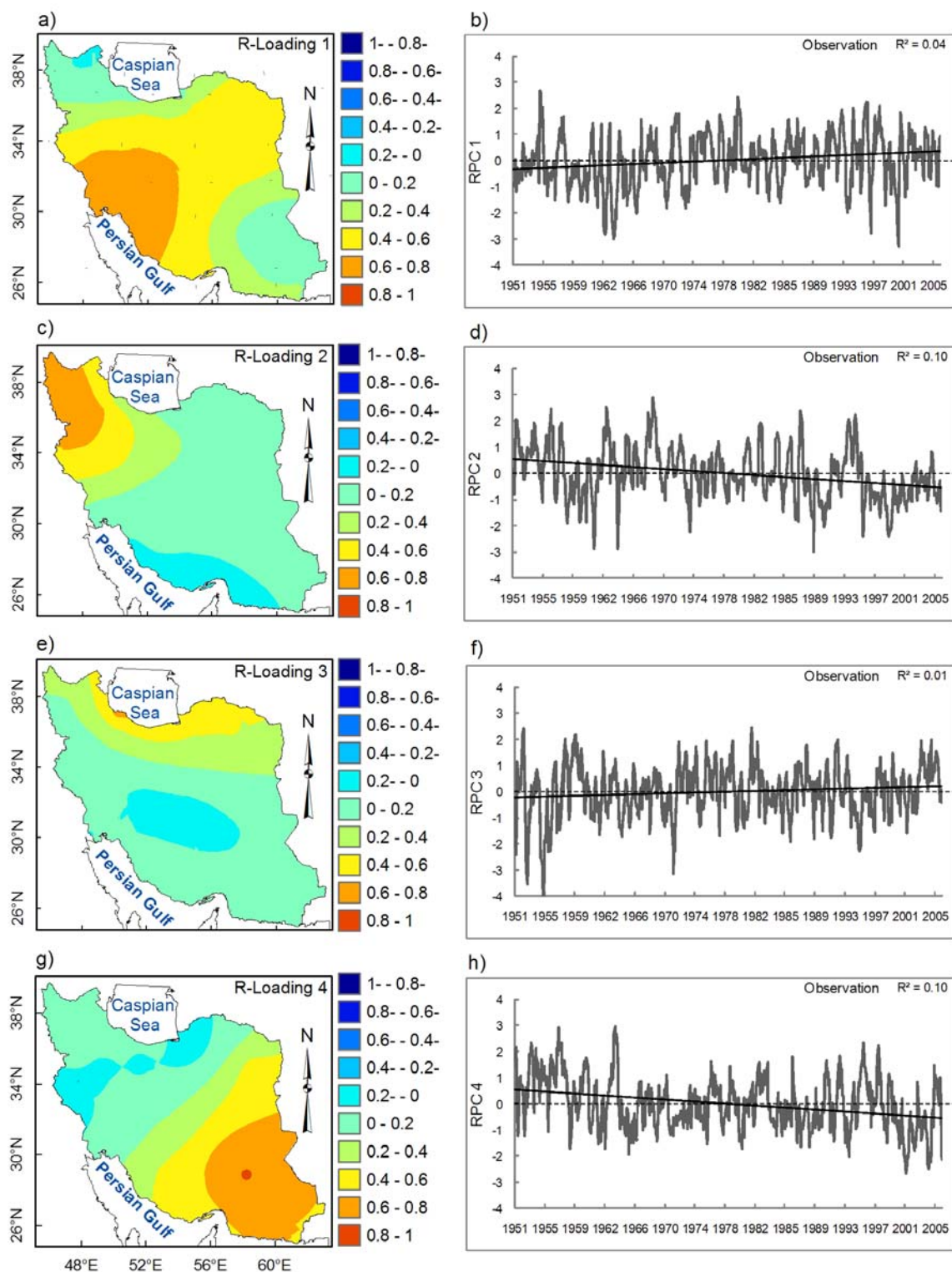
داده‌های مشاهداتی با مولفه سوم و در داده‌های NCEP/NCAR با مولفه چهارم نمایان شده است، هماهنگی خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۸d) و ضریب همبستگی ۰/۴۳ است.

با نگاهی ژرف به نمودارهای عرضه شده در شکل‌های ۵ و ۸ می‌توان دریافت که هماهنگی میان داده‌های مشاهده‌ای و NCEP/NCAR در دوره ۱۹۵۱ تا ۱۹۷۰ ضعیف است و از این دوره به بعد بر میزان هماهنگی آنها افزوده شده است. برای بررسی بیشتر این موضوع SPI-12 داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای (۳۲) ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در این تحقیق) در دو دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵ و ۱۹۷۰-۲۰۰۵ محاسبه و نتایج به‌دست آمده با استفاده از روش کریجینگ به نقشه‌هایی با فاصله یک درجه جغرافیایی (در طول و عرض) شبکه‌بندی شد. سپس ضریب همبستگی بین سری‌های زمانی SPI-12 نقاط شبکه‌بندی شده هر دو منبع اطلاعاتی برای هر دو دوره محاسبه و به صورت نقشه در شکل ۹ آورده شد. با توجه به شکل ۹a ملاحظه می‌شود که در صورتی که ضریب همبستگی میان نقاط نقشه‌های شبکه‌بندی شده هر دو منبع اطلاعاتی برای دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵ محاسبه شود،

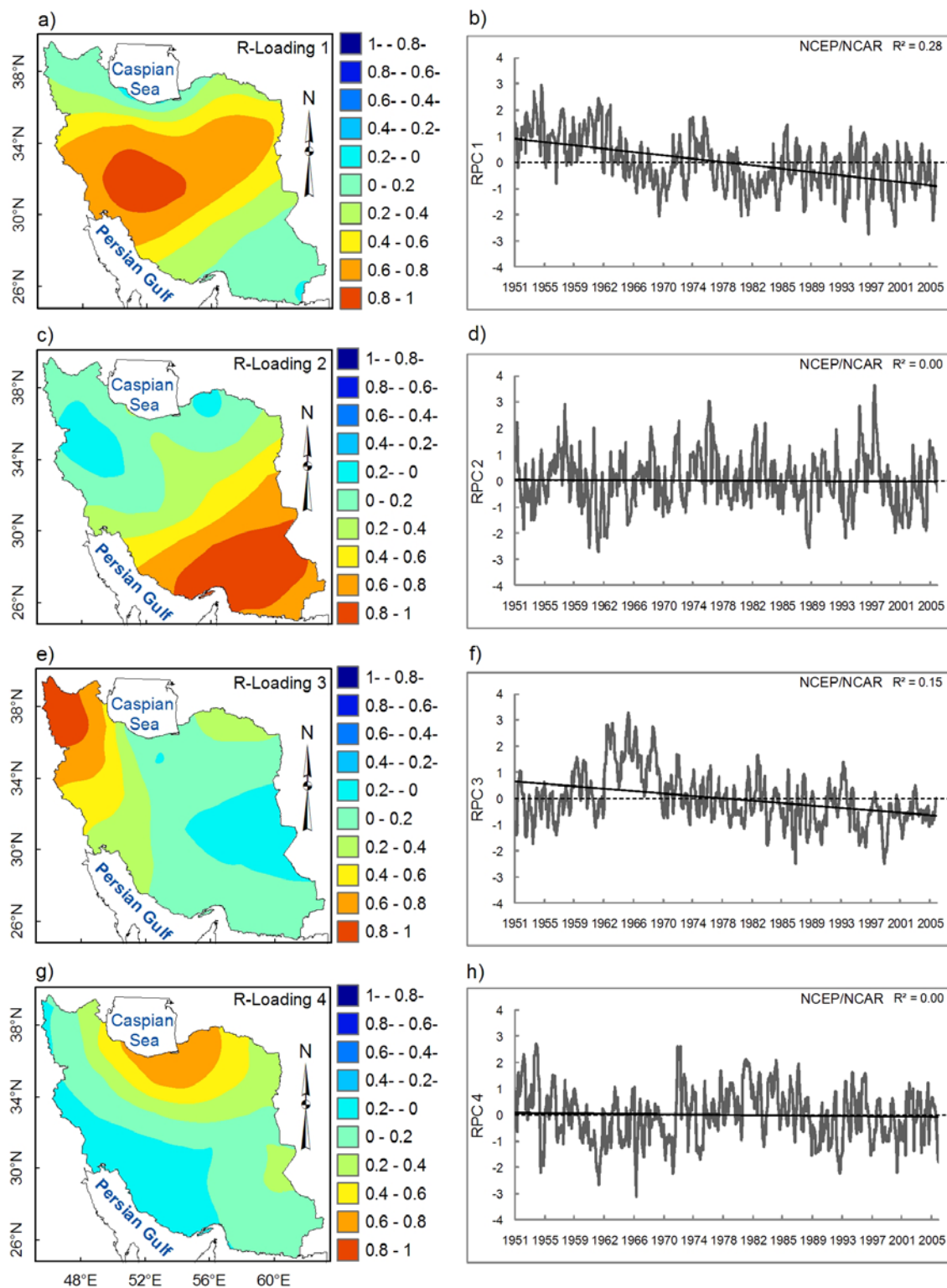
میزان این همبستگی برای منطقه شمال غربی و نیمه شرقی و جنوبی کشور قابل توجه و از نظر آماری معنی‌دار است؛ درحالی‌که میزان همبستگی در نواری از جنوب غرب تا شمال شرق که دربرگیرنده بخش‌های مرکزی و شمال شرقی کشور است بسیار کم است و به کمتر از ۰/۲ می‌رسد. در مقابل محاسبه ضریب همبستگی میان این دو منبع اطلاعاتی برای دوره ۱۹۷۰-۲۰۰۵ نشان داد که میزان همبستگی میان آنها در سرتاسر کشور به‌طور چشمگیری افزایش یافته است (شکل ۹b). با توجه به شکل ۹b ملاحظه می‌شود که ضریب همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای و NCEP/NCAR در همه بخش‌های کشور بین ۰/۴ تا ۰/۸ است و فقط در منطقه شمال شرقی کشور این مقدار به رقمی بین ۰/۴ تا ۰/۲ کاهش می‌یابد. مقایسه این دو نقشه نشان می‌دهد که میزان همبستگی داده‌های NCEP/NCAR با داده‌های مشاهده‌ای در دوره ۱۹۵۱-۱۹۷۰ در مقایسه با ۱۹۷۰-۲۰۰۵ بسیار کمتر است شاید امکان استفاده از داده‌های سنجش از دور و نیز استفاده از داده‌های مشاهده‌ای بیشتر در مدل جوئی NCEP/NCAR از ۱۹۷۰ به بعد را بتوان به‌مثابه دلیلی برای این تفاوت عنوان کرد.

جدول ۳. ضریب همبستگی میان نمره‌های استاندارد چرخش یافته به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR.

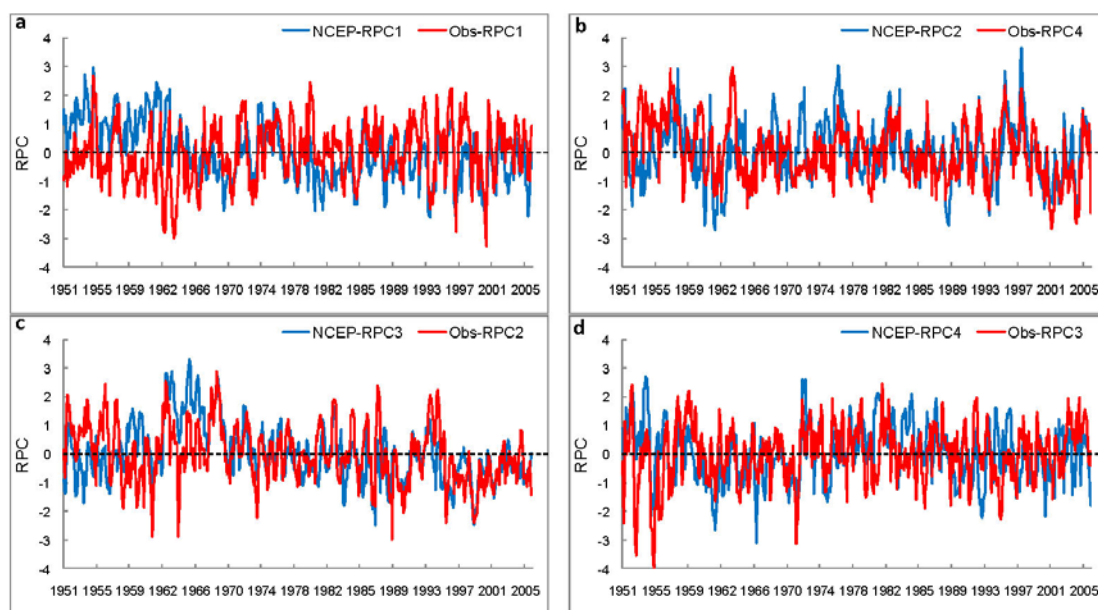
		داده‌های مشاهده‌ای				
		RPC	RPC1	RPC2	RPC3	RPC4
NCEP/NCAR	(SPI-12)	RPC1	0.08	0.14	0.43	-0.21
		RPC2	0.43	-0.09	0.49	0.20
		RPC3	-0.36	0.54	-0.03	0.19
		RPC4	0.06	0.27	0.20	0.30
	(SPI-6)	RPC1	0.33	0.14	-0.12	0.28
		RPC2	0.37	-0.14	0.13	0.52
		RPC3	-0.15	0.53	0.12	-0.00
		RPC4	0.07	0.34	0.43	0.09



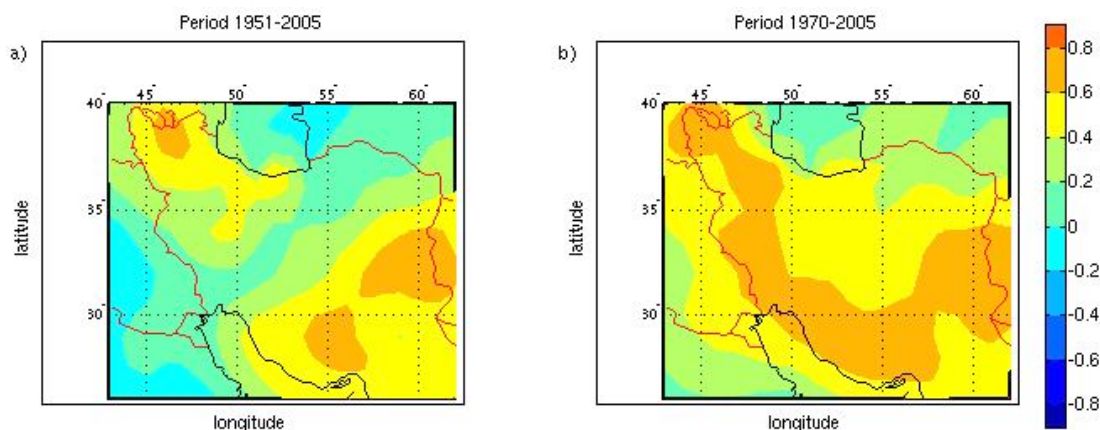
شکل ۶. گستره مکانی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI-6 در سطح ایران براساس داده‌های مشاهده‌ای.



شکل ۷. گستره مکانی مدهای اصلی تغییرپذیری SPI-6 در سطح ایران براساس داده‌های NCEP/NCAR.



شکل ۸. مقایسه هم‌وردایی سری‌های زمانی نمره استاندارد چرخش یافته SPI-6 به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR.



شکل ۹. ضریب همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR برای دوره (a) ۱۹۵۱-۲۰۰۵ و (b) ۱۹۷۰-۲۰۰۵.

روی داده است که مقدار SPI در طی این دوره ده‌ساله پیوسته کوچک‌تر از صفر (نرمال) و در برخی از سال‌ها کمتر از ۲- بوده است. شدت و تداوم بسیار زیاد این خشک‌سالی نشان از اهمیت آن در منطقه موردنظر دارد. خشک‌سالی‌های ۱۹۷۱، ۱۹۷۳، ۱۹۸۶، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۰ نیز از دیگر رویدادهای مهم خشک‌سالی در این منطقه به شمار می‌روند که اگرچه تداوم بسیار کمتری داشته‌اند ولی از نظر شدت بسیار قابل توجه‌اند (شکل ۳b). در منطقه

۲-۴ خشک‌سالی‌های تاریخی در ایران

رویدادهای مهم خشک‌سالی ایران در چهار منطقه شناسایی شده در این پژوهش براساس روند تغییرات زمانی نمره استاندارد مولفه‌های انتخابی SPI-12 داده‌های مشاهده‌ای (شکل ۳) مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس در منطقه مولفه اول (شکل ۳a) که دربرگیرنده گستره بزرگی از جنوب غرب تا مرکز کشور است یک دوره بلندمدت خشک‌سالی در طی سال‌های ۱۹۵۸-۱۹۶۸

مؤلفه دوم (شمال غرب ایران) نیز همانند منطقه مؤلفه اول یک دوره بلندمدت خشک سالی در طی سال‌های ۱۹۵۸-۱۹۶۲ روی داده است که شدت و تداوم قابل توجهی داشته است. اما مهم‌ترین و شدیدترین خشک سالی‌های روی داده در منطقه شمال غرب ایران در طی سال‌های ۱۹۸۸-۱۹۹۲ و ۱۹۹۶-۲۰۰۰ روی داده است که مورد آخر در مقایسه با دو رویداد دیگر، هم از نظر شدت و هم از نظر تداوم از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است (شکل ۳d).

در منطقه جنوب شرق کشور (شکل ۳e) یک دوره بلندمدت خشک سالی در طی سال‌های ۱۹۶۱-۱۹۷۳ روی داده است که به مدت ۱۳ سال تداوم داشته و مطمئناً تأثیرات منفی بسیار شگرفی بر محیط زیست و کشاورزی منطقه گذاشته است. پیوستگی این دوره بلندمدت خشک سالی فقط در ۱۹۶۴ با یک ترسالی کوتاه مدت، از هم گسیخته شده است (شکل ۳f). دومین رویداد خشک سالی مهم در منطقه مؤلفه سوم در طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۵ روی داده است که از نظر شدت در گروه خشک سالی‌های بسیار شدید قرار می‌گیرد و با توجه به تداوم ۵ ساله آن می‌توان گفت که این رویداد خشک سالی نیز تأثیرات منفی بسیاری در منطقه برجای گذاشته است. همانند منطقه مؤلفه اول (جنوب غرب و مرکز ایران) سال ۱۹۹۴ در جنوب شرق ایران نیز یک سال بسیار خشک بوده که شدت آن به ۲- رسیده است.

بررسی روند تغییرات نمودار نمره استاندارد مؤلفه چهارم (شکل ۳h) نشان می‌دهد که در نیمه شمالی کشور (شکل ۳g) دوره‌های خشک و تر به صورت متناوب جای خود را با یکدیگر عوض کرده‌اند و به همین علت در مقایسه با سه منطقه دیگر از تداوم کوتاه‌تری برخوردار هستند. طولانی‌ترین و شدیدترین دوره خشک سالی در این منطقه در طی دوره ۱۹۵۲-۱۹۵۶ روی داده که با توجه به مقدار SPI در این دوره که اغلب کمتر از ۲- بوده است

این خشک سالی در گروه خشک سالی‌های بسیار شدید منطقه قرار می‌گیرد. سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۷۲ و ۱۹۹۴-۱۹۹۷ از دیگر دوره‌های مهم خشک سالی هستند که در جنوب شرق ایران روی داده، از شدت قابل توجهی نیز برخوردار بوده و در گروه خشک سالی‌های شدید قرار می‌گیرند. با توجه به وجود دوره‌های خشک مشترک (مانند خشک سالی ۱۹۹۴-۱۹۹۵ و ۱۹۵۸-۱۹۶۸) در همه و یا تعدادی از مناطق همگن شناسایی شده در این پژوهش می‌توان گفت که بسیاری از خشک سالی‌های روی داده در گستره ایران زمین به صورت فراگیر همه کشور و یا بخش بزرگی از آن را دربر می‌گیرد و تأثیرات منفی خود را بر بخش بزرگی از کشور برجای می‌گذارد که این موضوع امکان تامین آب، علوفه و دیگر محصولات کشاورزی را برای مناطق تحت تأثیر خشک سالی، محدود و نیاز کشور را به تامین آن از خارج از کشور افزونتر می‌کند.

۴-۳ خشک سالی ۲۰۰۸ در ایران

در زمان نگارش این مقاله (مرداد ۱۳۸۷) پیامدهای ناشی از کمبود بارش و خشک سالی سال ۲۰۰۸ خود را به شکل خشک شدن بسیاری از رودخانه‌ها، چاه‌های آب و در پی آن از بین رفتن بسیاری از محصولات کشاورزی و به ویژه کشاورزی دیم در سطح کشور نشان داد. در اثر این خشک سالی درصد بسیار زیادی از دیم‌زارهای کشور به زیرکشت نرفت و یا محصولات آنها در انتظاری بی‌پایان برای دریافت باران از بین رفت. کاهش علوفه بسیاری از دامداران را وادار کرد تا بخش قابل توجهی از دام‌هایشان را به کشتارگاه‌ها بفرستند. کاهش حجم آب در مخازن آب کشور به خاموشی‌های گسترده برق و در پاره‌ای از موارد به قطع گاه به گاه آب در برخی نقاط کشور منجر شد.

در این بخش از تحقیق به منظور ارزیابی بیشتر

نقشه‌های عرضه شده در شکل ۱۰ همچنین می‌توان دریافت که داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR در نشان دادن شرایط نرمال و یا خشک‌سالی ضعیف برای بخش شمالی کشور شامل دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز در ۲۰۰۸ با یکدیگر کاملاً هماهنگ هستند.

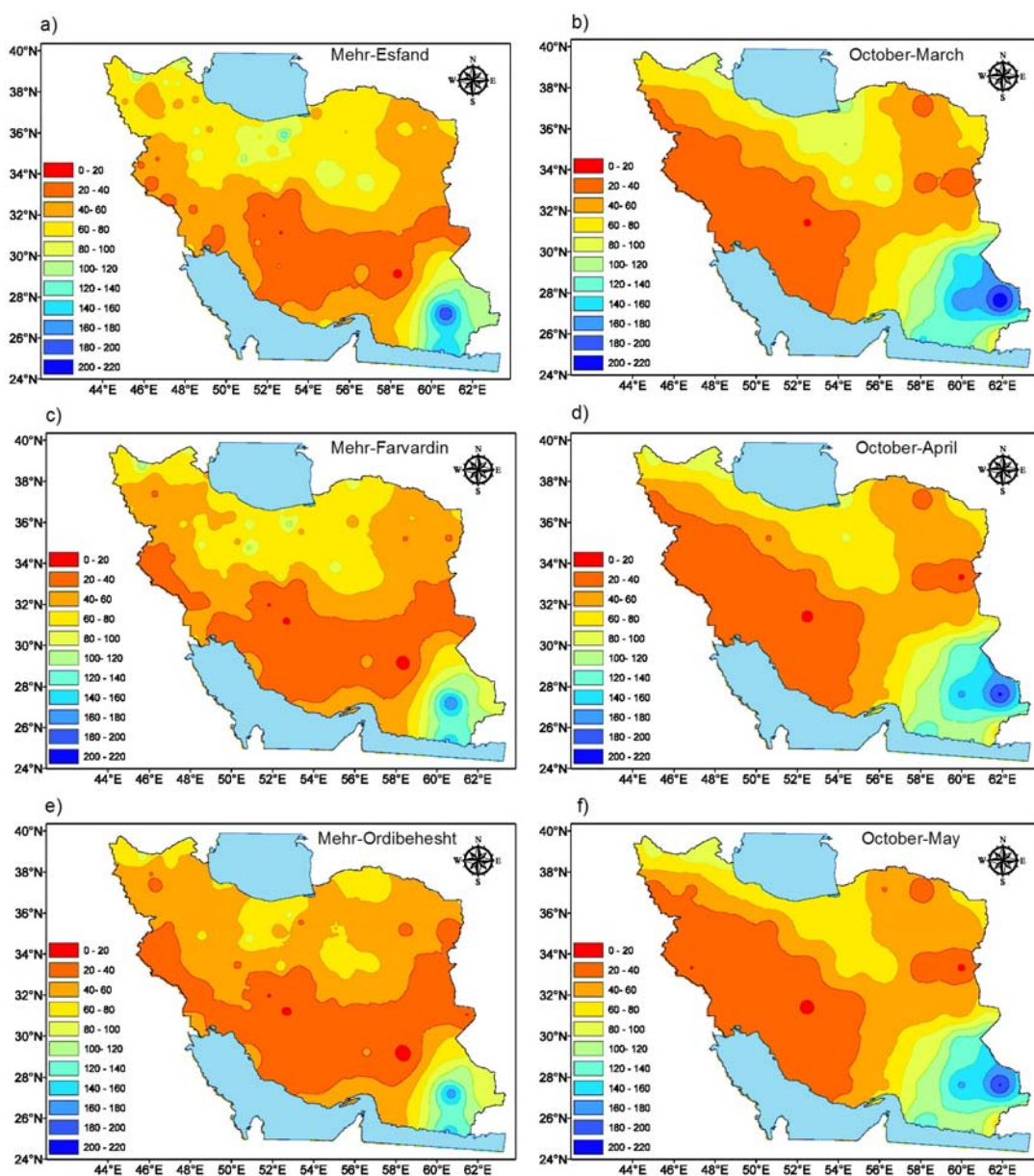
براساس نقشه‌های ناهنجاری به‌دست آمده از هر دو منبع اطلاعاتی می‌توان گفت که شدت خشک‌سالی ۲۰۰۸ در نوار کمانی‌شکلی که از شمال غرب به جنوب و سپس به شمال شرق کشیده شده است به بیشترین میزان خود می‌رسد. بر این اساس هر دو منبع اطلاعاتی نشان می‌دهند که خشک‌سالی ۲۰۰۸ در نیمه غربی، مرکزی، جنوب و شرق کشور بسیار شدید و در بخش‌های شمالی کشور ضعیف بوده است. در همه نقشه‌های شکل ۱۰ همچنین ملاحظه می‌شود که هم در داده‌های مشاهده‌ای و هم در داده‌های NCEP/NCAR، منطقه جنوب شرق ایران در این سال دارای بارش بیش از نرمال بوده است. نکته قابل‌توجه دیگر در نقشه‌های شکل ۱۰ این است که در همه نقشه‌های وابسته به داده‌های NCEP/NCAR، شدت خشک‌سالی در غرب ایران شدیدتر است درحالی‌که در نقشه‌های وابسته به داده‌های مشاهده‌ای شدت خشک‌سالی اغلب در جنوب کشور بیشتر بوده است.

اگرچه الگوی تغییرات مکانی بارش هر دو سری از داده‌ها از هماهنگی خوبی برخوردارند، ولی مقدار یا شدت ناهنجاری بارش در برخی از مناطق با یکدیگر متفاوت است که این امر را نیز می‌توان به تفاوت طول دوره آماری داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای در محاسبه و تهیه نقشه‌های ناهنجاری بارش نسبت داد. همچنین با توجه به این نکته که در تهیه نقشه‌های ناهنجاری بارش ۲۰۰۸ براساس داده‌های مشاهده‌ای، از ایستگاه‌های با طول دوره آماری متفاوت استفاده شده است، می‌توان بخشی از این ناهماهنگی‌ها را

داده‌های NCEP/NCAR در مقایسه با داده‌های مشاهده‌ای برای استفاده در پایش خشک‌سالی، ناهنجاری مجموع بارش دوره سرد (مهر تا اسفند، مهر تا فروردین و مهر تا اردیبهشت) ۲۰۰۸ نسبت به میانگین درازمدت دوره مشابه برای داده‌های مشاهده‌ای و NCEP/NCAR محاسبه و نقشه‌های مربوط تهیه و در شکل ۱۰ آورده شده است. چون داده‌های بارش ۲۰۰۸ از سازمان هواشناسی کشور به تقویم هجری خورشیدی دریافت شده است بنابر داده‌های مشاهده‌ای یک دوره از تقویم هجری خورشیدی (مانند مهر تا اسفند) برابر با دوره میلادی هم‌زمان با آن (اکتبر تا مارس) در داده‌های NCEP/NCAR در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود که نقشه‌های ناهنجاری بارش به‌دست آمده از داده‌های مشاهده‌ای (سمت چپ) و نقشه‌های دوره معادل آن که براساس داده‌های NCEP/NCAR به‌دست آمده‌اند، نشان می‌دهند که در همه موارد، هماهنگی خوبی میان نتایج به‌دست آمده از این دو منبع اطلاعاتی وجود دارد و گستره‌های دارای ناهنجاری تقریباً همانند، با یکدیگر منطبق هستند. با توجه به شکل ۱۰ مشخص می‌شود که در سال ۲۰۰۸ گستره بزرگی از غرب، جنوب غرب و مرکز کشور با کمبود شدید بارش روبه‌رو شده است، به‌طوری‌که در بخش‌هایی از این منطقه، مقدار بارش حتی به کمتر از ۲۰ درصد نرمال منطقه کاهش یافته است. در این شکل همچنین ملاحظه می‌شود که بخش جنوب شرق کشور از بارندگی نرمال و یا بیشتر برخوردار بوده است که داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR در نمایش این موضوع کاملاً با یکدیگر هماهنگ‌اند. شدت خشک‌سالی سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ در منطقه شمال غرب ایران نیز بسیار زیاد بوده است و مقدار بارش در این منطقه حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد نسبت به نرمال منطقه کاهش داشته است. مقدار بارش منطقه شمال شرق ایران در ۲۰۰۸ در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد میانگین درازمدت بوده است. با نگاهی به

مشاهده‌ای براساس داده‌های ایستگاه‌های با طول دوره آماری یکسان و به تقویم میلادی تهیه شود مقایسه این دو سری از داده‌ها امکان‌پذیرتر و هماهنگی نتایج احتمالاً بیشتر خواهد شد. همچنین در صورت توجه به تفاوت میان منبع این دو سری از داده‌ها و تفاوت در پراکنش مکانی نقاط آنها (شکل ۱) می‌توان از تفاوت‌های ناچیز بینشان چشم‌پوشی کرد.

در این موضوع جست‌وجو کرد. از سوی دیگر نقشه ناهنجاری بارش ۲۰۰۸ برای داده‌های NCEP/NCAR براساس تقویم میلادی و برای داده‌های مشاهداتی براساس تقویم هجری خورشیدی محاسبه شده است که این موضوع نیز می‌تواند بخشی از هماهنگی‌های موجود میان الگوی مکانی بارش این دو سری از داده‌ها را توجیه کند. بنابراین، در صورتی که نقشه ناهنجاری بارش داده‌های



شکل ۱۰. ناهنجاری مجموع بارش سال ۲۰۰۸ براساس داده‌های ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور (چپ) و NCEP/NCAR (راست).

۵ بحث و نتیجه‌گیری

با به‌انجام رساندن تحلیل مولفه‌های اصلی روی سری‌های زمانی SPI شش و دوازده ماهه داده‌های مشاهده‌ای و NCEP/NCAR گستره ایران از نظر تغییرپذیری دوره‌های خشک و تر به چهار منطقه مشخص تقسیم شد. با تهیه و عرضه نقشه بارگویه مولفه‌های انتخابی که معرف الگوهای مکانی تغییرپذیری دوره‌های خشک و تر در گستره ایران هستند، مشخص شد که داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR در عرضه الگوهای مکانی دوره‌های خشک و تر کاملاً با یکدیگر هماهنگ‌اند. سپس سری زمانی نمره استاندارد مولفه‌های انتخابی وابسته به داده‌های NCEP/NCAR با سری زمانی نمره استاندارد مولفه متناظر با آن در داده‌های مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت. نتیجه این بررسی نیز نشان داد که الگوی تغییرات زمانی داده‌های NCEP/NCAR با داده‌های مشاهده‌ای، هماهنگی بسیار خوبی دارد. بررسی‌های بیشتر روشن ساخت که اندک ناهماهنگی‌های موجود که در نتایج سری‌های زمانی SPI-12 بیشتر نمایان است، مربوط به داده‌های NCEP/NCAR پیش از ۱۹۷۰ است. با محاسبه SPI-12 برای داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای براساس دو دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵ و ۱۹۷۰-۲۰۰۵ و تهیه نقشه‌های شبکه‌بندی شده با بهره‌گیری از روش کریجینگ، و سپس تهیه نقشه ضریب همبستگی میان سری‌های زمانی SPI-12 نقاط شبکه‌بندی شده در هر دو منبع اطلاعاتی، مشخص شد که ضریب همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های NCEP/NCAR در دوره ۱۹۷۰-۲۰۰۵ در مقایسه با دوره ۱۹۵۱-۲۰۰۵ بسیار بیشتر است؛ که شاید دلیل آن را بتوان در امکان استفاده از داده‌های سنجش از دور و نیز داده‌های مشاهده‌ای بیشتر در مدل جوئی NCEP/NCAR از ۱۹۷۰ به بعد جست‌وجو کرد. همچنین، بررسی نقشه‌های ناهنجاری بارش ۲۰۰۸ که براساس داده‌های بارش ایستگاه‌های هواشناسی کشور و

داده‌های NCEP/NCAR تهیه شدند، نشان داد که روند تغییرات مکانی بارش در هر دو سری از داده‌ها، به‌ویژه در برخی از مناطق کشور با یکدیگر بسیار هماهنگ‌اند. ازاین‌رو، با توجه به تأخیر در انتشار داده‌های پالایش شده بارش در ایران، می‌توان چنین نتیجه گرفت که داده‌های بارش NCEP/NCAR می‌تواند در کنار داده‌های زمینی برای پایش بهنگام خشک‌سالی در کشور مورد استفاده قرار گیرد.

تأثیرات منفی خشک‌سالی ۲۰۰۸ بر فعالیت‌های گوناگون اقتصادی کشور، به‌ویژه در بخش کشاورزی، باعث شد که این خشک‌سالی بیشتر مورد توجه قرار گیرد. نتیجه این بررسی نشان داد که گستره این خشک‌سالی بسیار بزرگ بوده و تقریباً تمامی کشور را دربر گرفته است. شدت این خشک‌سالی در بخش‌های غربی، جنوبی و مرکزی کشور بسیار شدید بوده است، به‌طوری‌که آن را می‌توان به‌منزله یکی از شدیدترین خشک‌سالی‌های کشور به‌شمار آورد. این خشک‌سالی به‌ویژه در جنوب غرب و مرکز ایران بسیار شدید بوده است، به‌طوری‌که میزان بارش در این مناطق حتی کمتر از ۴۰ و یا ۲۰ درصد بارش درازمدت بوده است. در این سال فقط نیمه جنوب شرقی کشور بارشی در حد نرمال و کمی‌بالاتر دریافت کرد. شدت خشک‌سالی ۲۰۰۸ در نیمه شمالی کشور چندان زیاد نبود و می‌توان گفت که در این بخش از کشور مقدار بارش در حد نرمال و یا ۲۰ درصد کمتر از نرمال بوده است. شدت زیاد خشک‌سالی ۲۰۰۸ در منطقه کوهستانی زاگرس که سرچشمه بسیاری از رودهای بزرگی است که آب مناطق جنوبی و مرکزی کشور را تأمین می‌کنند، باعث انتقال اثر خشک‌سالی این منطقه به مناطق پیرامون آن شد.

هریک از مناطق شناسایی شده در این پژوهش در طی دوره مورد بررسی، رویدادهای خشک‌سالی گوناگونی را تجربه کرده‌اند که برخی از آنها از نظر شدت، برخی از

استفاده از داده‌های بهنگام و ساعتی NCEP/NCAR در کنار داده‌های مشاهده‌ای می‌تواند در این زمینه بسیار مفید باشد. اگرچه نتیجه این پژوهش بیانگر هماهنگی میان روند تغییرات زمانی داده‌های NCEP/NCAR و داده‌های مشاهده‌ای ایران است اما بررسی میزان همخوانی و هماهنگی این دو منبع اطلاعاتی از نظر مقدار بارش و نیز تفاوت‌های فصلی می‌تواند موضوع پژوهش‌های بعدی پژوهشگران علاقه مند باشد.

منابع

رضیئی، ط.، دانش کار آراسته، پ.، اختری، ر. و ثقیان، ب.، ۱۳۸۶، بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نمایه SPI و مدل زنجیره مارکف، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۱، ۲۵-۳۵.

- Bordi, I. and Sutera, A., 2001, Fifty years of precipitation: Some spatially remote teleconnections, *Water Resour Manage.* **15**, 247-280.
- Bordi, I. and Sutera, A., 2002, An analysis of drought in Italy in the last fifty years, *Nuovo Cimento.* **25 C**, 185-206.
- Bordi, I., Fraedrich, K., Jiang, J.-M. and Sutera, A., 2004, Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China, *Theor. Appl. Climatol.*, **79**, 81-91.
- Bordi, I., Fraedrich, K., Petitta, M. and Sutera, A., 2006, Large-scale assessment of drought variability based on NCEP/NCAR and ERA-40 Re-Analyses, *Water Resour Manage.* **20**, 899-915.
- Bordi, I., Frigio, S., Parenti, P., Speranza, A. and Sutera, A., 2001, The analysis of the Standardized Precipitation Index in the Mediterranean area: large scale patterns, *Annali Di Geofisica*, **44**, No. 5/6: 965-978.
- Dinku, T., Connor, S. J., Ceccato, P. and Ropelewski, C. F., 2008, Comparison of global gridded precipitation products over a mountainous region of Africa, *Int. J. Climatol.*, **28**, 1627-1638.
- Diro, G. T., Grimes, D. I. F., Black, E., O'Neill, A., and Pardo-Iguezquiza, E., 2009, Evaluation of reanalysis rainfall estimates over Ethiopia, *Int. J. Climatol.*, **29**, 67-78.

نظر تداوم و برخی دیگر هم از نظر شدت و هم از نظر تداوم دارای اهمیت‌اند و پیامدهای منفی زیادی را برجای گذاشته‌اند. در این بررسی همچنین مشخص شد که برخی از دوره‌های خشک‌سالی مانند خشک‌سالی ۱۹۹۴-۱۹۹۵ و ۱۹۵۸-۱۹۶۸ به صورت فراگیر در همه و یا تعدادی از مناطق همگن شناسایی شده، به صورت هم‌زمان روی داده و تأثیرات منفی خود را بر بخش بزرگی از کشور برجای می‌گذارند. این موضوع امکان تامین آب، علوفه و دیگر محصولات کشاورزی را برای مناطق تحت تأثیر خشک‌سالی محدود و نیاز کشور را به تامین آن از خارج از کشور افزون‌تر می‌کند. همچنین مشخص شد که روند تغییرات سری‌های زمانی SPI در نیمه شمال غربی کشور به سمت اقلیمی خشک‌تر گرایش دارد. از این‌رو، این منطقه که در گذشته از بارش خوبی برخوردار بود و در گروه مناطق نیمه‌مرطوب کشور به شمار می‌رفت در آینده اقلیمی خشک‌تر خواهد داشت و این موضوع می‌باید در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای به‌ویژه در بارگذاری‌های اقتصادی و فعالیتهای وابسته به آب در این منطقه مورد توجه قرار گیرد. افت شدید آب دریاچه ارومیه که همه طرف‌داران محیط زیست کشور را نگران کرده است از نشانه‌های روشن کاهش بارش در شمال غرب کشور در دهه گذشته است. خشک‌سالی‌های پیوسته و شدت یافتن آن در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ کاهش شدید آب دریاچه‌های بختگان و پریشان در جنوب غرب کشور را نیز در پی داشته است. افت شدید آب این دریاچه‌ها و خشک شدن آنها می‌تواند نشانه‌ای از شدت یافتن خشک‌سالی‌ها در کشور و یا برداشت بیش از اندازه آب از رودخانه‌ها و جلوگیری از ورود آب آنها به دریاچه‌ها باشد. از این‌رو لازم است سازمان‌ها و وزارتخانه‌های مسئول در این زمینه امکان پایش و پیش‌آگاهی خشک‌سالی را برای کل کشور فراهم و تدابیر لازم را برای خشک‌سالی‌های از پیش تعیین شده بیاورند.

- Iran, Water Resour Manage., **23**, 439-455.
- Tsakiris, G. and Vangelis, H., 2004, Towards a drought watch system based on spatial SPI, Water Resour Manage., **18**, 1-12.
- Vicente-Serrano, S. M, González-Hidalgo, J. C, De Luis, M. and Raventós, J., 2004, Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain). Clim Res., **26**, 5-15.
- Von Storch, H. and Zwiers, F. W., 1999, Statistical Analysis in Climate Research: Cambridge University Press, UK.
- Wilks, D. S., 1995, Statistical Methods in the Atmospheric Sciences; An Introduction: Academic Press, San Diego, California, USA.
- Edwards, D. C. and McKee, T. B., 1997, Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Atmospheric Science Paper no. 634, Colorado State Univ., Fort Collins, Colorado, USA.
- Guttman, N. B, 1999, Accepting the Standardized Precipitation Index: a calculation algorithm, J. of Amer. Water Resources Assn., **35**, 311-322.
- Hayes, M. J., Svodoba, M. D., Wilhite, D. A. and Vanyarkho, O. V., 1999, Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index, Bull. Amer. Meteor. Soc., **80**, 429-438.
- Janowiak J, Gruber A, Kondragunta C, Livezey R, Huffman G. 1998, A comparison of the NCEP-NCAR reanalysis precipitation and the GPCP rain gauge-satellite combined dataset with observational error consideration. Journal of Climate, **11**, 2960-2979.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., Iredell, M., Saha, S., White, G., Woollen, J., Zhu, Y., Leetmaa, A., Reynolds, R., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Higgins, W., Janowiak, J., Mo, K.C., Ropelewski, C., Wang, J., Jenne, R. and Joseph, D., 1996, The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, Bull. Amer. Meteor. Soc., **77**, 437-471.
- Keyantash, J. and Dracup, J. A., 2002, The quantification of drought: An evaluation of drought indices, Bull. Amer. Meteor. Soc., **83**, 1167-1180.
- Lloyd-Hughes, B., and Saunders, M. A., 2002, A drought climatology for Europe, Int. J. Climatol., **22**, 1571-1592.
- Loukas, A. and Vasiliades, L., 2004, Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece, Natural Hazards and Earth System Sciences., **4**, 719-731.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales, Preprints, **8th** Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, 179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. and Kleist, J., 1995, Drought monitoring with multiple time scales, Proceedings of the **9th** Conference on Applied Climatology, Dallas, TX, USA, 233-236.
- North, G. R., Bell, T. L., Cahalan, R. F., 1982, Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions. Mon. Wea. Rev. **110**, 699-706.
- Raziei, T., Saghafian, B., Paulo, A. A., Pereira, L. S. and Bordi, I., 2009, Spatial patterns and temporal variability of drought in western