

تلفیق و ترکیب توابع فازی مرتبط با پارامترهای بارندگی و تبخیر و تعرق جهت پایش خشکسالی

حسین انصاری

دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد. گروه مهندسی آب

E-mail: Ansari_hos@yahoo.com

چکیده: شیوه‌های قدیمی مواجهه با عدم قطعیت‌ها منجمله کاربرد تئوری آمار و احتمال در بسیاری از موارد با پیچیدگی‌های بسیاری روبرو هستند. لذا در کنار شیوه‌های فوق، منطق فازی در دنیای مبهمات و عدم قطعیت‌ها ابزاری مناسبی را برای کاربرد داده‌های نادقیق و کیفی بدست می‌دهد. در مقاله حاضر کاربرد مدل‌های فازی در پایش خشکسالی مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده که امکان توسعه مدل‌های فازی مناسب و قوی در بخش پایش خشکسالی میسر است. برای پایش خشکسالی با ترکیب دو تابع عضویت فازی مربوط به شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) و یک شاخص فرضی تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEI)، شاخص جدیدی با نام شاخص تبخیر و بارندگی استاندارد شده (SEPI) ارائه شد که در آن پارامترهای موثر بر وقوع خشکسالی یعنی بارندگی و درجه حرارت بخوبی مدنظر قرار گرفته است. ضمناً نتایج حاصل از شاخص جدید با شاخص SPI و با شاخص شدت خشکی پالم (PDSI) مورد مقایسه قرار گرفت.

کلید واژه: منطق فازی، پایش خشکسالی، شاخص شدت خشکی پالم (PDSI)، شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)، شاخص تبخیر و بارندگی استاندارد شده (SEPI).

این محققین در تحقیقات خود سعی کردند که از الگوهای چرخشی اتمسفری در مقیاس بزرگ (CPs) و پدیده‌های جوی النینو/ نوسانات جنوبی (ENSO) جهت پیشگویی شاخص خشکسالی اصلاح شده پالم (PMDI) در صحرای بزرگ گرمسیری آمریکا استفاده کنند.

۲- مواد و روشها

شاخص‌های مورد استفاده:

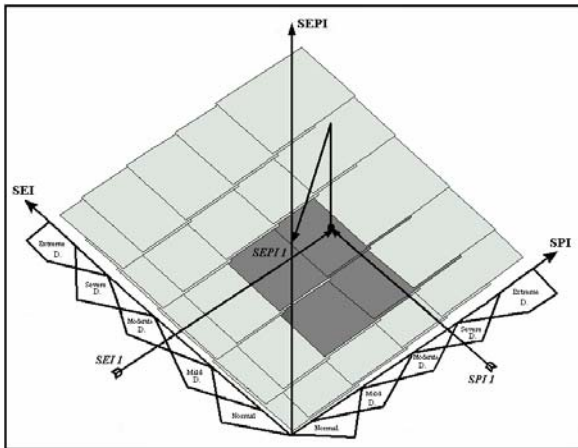
پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های بارندگی استاندارد شده (SPI) و شاخص شدت خشکی پالم (PDSI) در اکثر تحقیقات انجام شده در دنیا توصیه شده است. از آنجائیکه برای محاسبه شاخص PDSI نیاز به اطلاعات نسبتاً دقیق و زیادی است و از طرف دیگر هم محققین ایراداتی را به آن وارد دانسته‌اند. لذا شاخص SPI (با عنایت به سادگی آن و اینکه دارای مقیاس زمانی است) که از داده‌های بارندگی برای پایش خشکسالی استفاده می‌کند، بعنوان یک شاخص قابل قبول مدنظر قرار گرفته است. اما یکی از عمده‌ترین مشکلات این شاخص عدم استفاده از اطلاعات مربوط به درجه حرارت و به تبع آن تبخیر و تعرق (بعنوان یک پارامتر مهم در وقوع خشکسالی) در پایش خشکسالی است. لذا به جهت رفع مشکل فوق و با عنایت به خصوصیات خاص سیستم‌های فازی و حادثه خشکسالی از یک سو و از سوی دیگر عدم امکان تعریف و ترکیب توابع ریاضی معین برای تغییرات درجه حرارت و بارندگی با

۱- مقدمه

در دنیایی که ما در آن زندگی می‌کنیم، اکثر چیزهایی که درست به نظر می‌رسند، «نسبتاً» درست هستند و در مورد صحت و سقم پدیده‌های واقعی همواره درجاتی از «عدم قطعیت» صدق می‌کند. سالها اعتقاد بسیاری براین بود که با پیشرفت علم و دانش عدم قطعیت‌ها از بین خواهند رفت. اما در دهه‌های اخیر وجود عدم قطعیت‌ها و تناقض‌ها بصورت اجتناب ناپذیری بعنوان قسمت‌هایی از سیستم طبیعی مدنظر قرار گرفته‌اند. در این زمینه شیوه‌های قدیمی مواجهه با عدم قطعیت‌ها منجمله کاربرد تئوری آمار و احتمال در بسیاری از موارد با پیچیدگی‌های بسیاری مواجهه خواهند شد. در کنار شیوه‌های فوق منطق فازی بعنوان یک جهان بینی جدید جهان را آن طور که هست به تصویر می‌کشد و در دنیای مبهمات و عدم قطعیت‌ها ابزاری مناسبی را برای کاربرد داده‌های نادقیق و کیفی بدست می‌دهد. استفاده از منطق فازی در بعضی از علوم (علوم محض و سخت) که رفتار سیستم‌های فیزیکی را بوسیله یکسری قوانین بیان کنند، بسیار معمول شده بعنوان مثال در تحقیقی در نبراسکا محققین به بررسی تکنیک مدلینگ فازی جهت پیشگویی خشکسالی‌های منطقه‌ای پرداختند.

SEI \ SPI	Extreme D.	Severe D.	Moderate D.	Mild D.	Normal	Mild W.	Moderate W.	Severe W.	Extreme W.
Extreme D.	Extreme D [P]	Extreme D [P]	Extreme D [P]	Severe D [P]	Severe D [P]	Severe D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]
Severe D.	Extreme D [P]	Severe D [P]	Severe D [P]	Severe D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]
Moderate D.	Severe D [P]	Severe D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]	Normal
Mild D.	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Moderate D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]	Normal	Mild W [P]	Mild W [P]
Normal	Moderate D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]	Mild D [P]	Normal	Mild W [P]	Mild W [P]	Mild W [P]	Moderate W [P]
Mild W.	Mild D [P]	Mild D [P]	Normal	Mild W [P]	Mild W [P]	Mild W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]
Moderate W.	Normal	Mild W [P]	Mild W [P]	Mild W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Severe W [P]	Severe W [P]
Severe W.	Mild W [P]	Mild W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Severe W [P]	Severe W [P]	Severe W [P]	Extreme W [P]
Extreme W.	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Moderate W [P]	Severe W [P]	Severe W [P]	Severe W [P]	Extreme W [P]	Extreme W [P]	Extreme W [P]

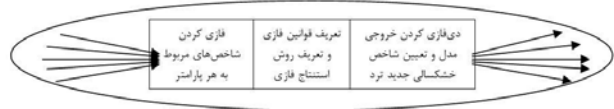
پس از تعریف شاخص جدید، طبقه‌بندی این شاخص براساس مجموعه قوانین فازی حاصل از ترکیب دو شاخص SPI و شاخص فرضی SEI مشخص شد. با توجه به نحو قرارگیری توابع عضویت فازی دو شاخص SPI و SEI در مقابل هم، نحوه ترکیب توابع ورودی و تعداد طبقات هر یک از این دو شاخص، ۸۱ (۹^۲) قانون فازی در مدل نهایی ارائه شد. از آنجائیکه تمام حالات ممکن برای وقوع دوره‌های خشک و مرطوب تحت مقادیر متفاوت شاخص SPI و شاخص فرضی SEI با طبقات مختلف شدت مدنظر قرار گرفته است، لذا وقوع این دوره‌ها تحت هر شرایطی در مجموعه قوانین فازی گنجانده شده و مدل پیش ارائه شده توانایی پیش هر شرایطی را داراست.



نحو قرارگیری توابع عضویت فازی در مقابل هم و چگونگی ترکیب آنها

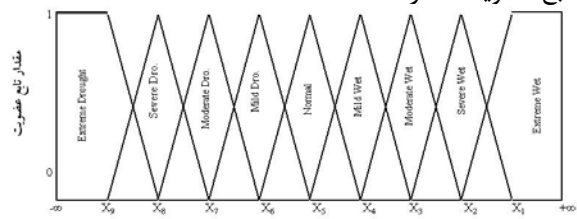
آستانه‌های مشخص، استفاده از منطق فازی بعنوان یک گزینه مناسب اولیه جهت پایش خشکسالی در محدوده استان خراسان بزرگ مدنظر قرار گرفت.
- معماری مدل و توابع فازی پایش:

با توجه به نحوه عملکرد کلی مدلها در ساختار سیستم‌های جهان واقعی، این مدلها همیشه با یک مجموعه‌ای از ورودی‌ها، انجام یکسری واکنش‌ها و خروج اطلاعات همراه می‌باشند. در مطالعه خشکسالی بعنوان یک پدیده ناشناخته و خزنده، از دو شاخص SPI (بارندگی استاندارد شده) و SEI (درجه حرارت و نهایتاً تبخیر و تعرق استاندارد شده) بعنوان توابع ورودی و شاخص جدید فازی SEPI بعنوان خروجی که قابلیت ارزیابی و پایش خشکسالی را دارد، استفاده شد.



پس از تعریف و تبیین معماری مدل فازی، توابع فازی ورودی بصورت زیر تعریف شدند.

$A = \{(x, \mu_{A(x)}) ; x \in X, \mu_{A(x)} \in [0,1]\}$
 که در آن، x : مقادیر دو شاخص SPI و SEI و $\mu_{A(x)}$: مقدار تابع عضویت x در A است.



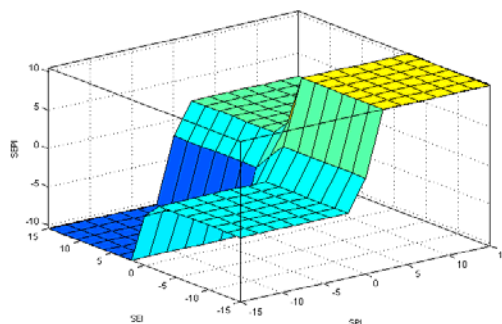
مقادیر شاخص و آستانه آنها به راحتی می‌تواند برای اهداف و مناطق مختلف مورد استفاده، تغییر کند. توابع فازی مورد استفاده نیز براساس روند تغییرات عضویت مقادیر آنها، خصوصیات فیزیکی مسئله مورد بررسی و نظرات کارشناسی می‌تواند از دارای اشکال مختلف با درجات همپوشانی متفاوتی باشد، که در تحقیق حاضر از توابع مثلثی و دوزنقه‌ای با همپوشانی جزئی استفاده شد.

- تعریف قوانین فازی و ترکیب توابع

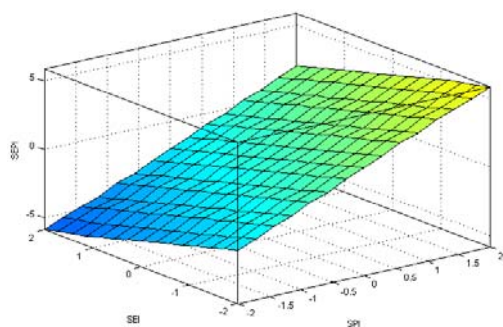
با عنایت به میزان و نحوه تأثیر پارامترهای ورودی بر خروجی و نیز با توجه به ساختار مدل فازی در ابتدا ترکیبات توابع فازی بصورت زیر مدنظر قرار گرفت. ترکیب توابع فازی باعث ایجاد شاخص جدید SEPI شد. مجموعه جدید دوره‌های خشک و تر حاصل از ترکیب دو شاخص SEI و SPI

۳- محاسبه خروجی مدل و نتایج و بحث:

با توجه به معماری مدل و نحوه محاسبه خروجی آن امکان استفاده از روشهای مختلف ترکیب و تجمیع قوانین، ترکیب عملگرها، استلزام و دی فازی کردن، وجود دارد. برای مدل فازی پایش از ترکیب Min برای عملگر AND بین گزاره‌های مقدم قوانین فازی، روش ترکیب Min برای استلزام فازی، روش استنتاج ممدانی برای استنتاج فازی و روش مرکز جرم برای دی فازی کردن خروجی مدل استفاده شد. لذا با توجه به روش ترکیب مورد استفاده در مدل فازی و نحو تغییرات شاخص پایش جدید با تغییر میزان بارندگی و درجه حرارت و نهایتاً مقادیر دو شاخص SPI و SEI، سطح تغییرات بین دو شاخص SPI و SEI با شاخص SEPI بصورت زیر بدست آمد. در شکل a روند تغییرات شاخص جدید در بازه ۱۵ تا ۱۵- ارائه شده است، این شکل نشان می‌دهد که با توجه به طبقه‌بندی ارائه شده برای شاخص‌های SPI، SEI و SEPI، و تغییرات دو شاخص ورودی، مقدار شاخص خروجی در مقادیر بالای این دو شاخص به سمت یک عدد ثابت میل کرد. در شکل b نیز جزئیات بیشتری از سطح تغییرات در حدها ۲ تا ۲- با توجه به طبقه‌بندی دو شاخص ورودی به تصویر کشیده شده است. این شکل نحوه تغییرات دقیق مقادیر شاخص جدید با دو شاخص SEI و SPI را بخوبی نشان می‌دهد. نحو تغییرات شاخص جدید نشان می‌دهد که شدت خشکسالی بوقوع پیوسته با شاخص جدید دقیقاً در محدوده شدت خشکسالی مشخص شده توسط شاخص SPI و SEI قرار گرفته و در خارج این محدود شدت خشکسالی و ترسالی، مشابه دو شاخص دیگر ثابت می‌باشد.



(a)

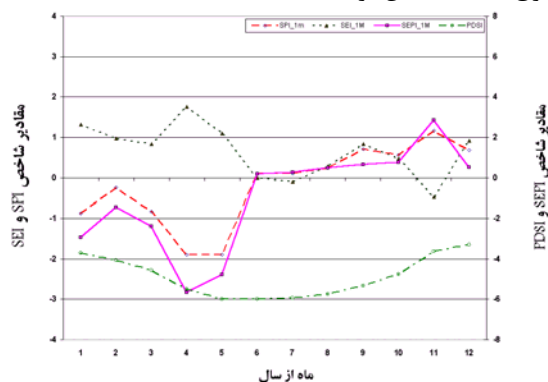


(b)

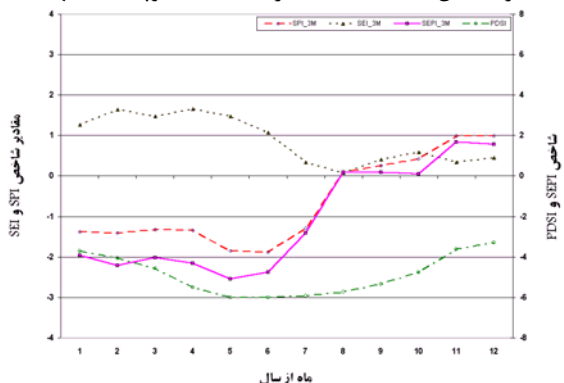
سطح بوجود آمده بین توابع فازی SPI و SEI با SEPI

پس از تعیین کلیه مراحل محاسباتی در مدل فازی، برنامه کامپیوتری مربوطه در محیط نرم افزار MATLAB طراحی شد، که با استفاده از این برنامه فایل‌های ورودی یعنی مقادیر شاخص SPI و شاخص SEI خوانده شده و مقادیر شاخص SEPI در فایل خروجی ارائه گردید. پس از محاسبه و تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از هر یک از دو شاخص SPI و SEPI بطور مجزا، شرایط و وضعیت هر یک از این شاخص‌ها نسبت به همدیگر و نسبت به شاخص شدت خشکی پالمر (PDSI) مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌های فوق نشان داد که: شدت خشکسالی محاسبه شده با شاخص جدید در برخی موارد و مقیاسهای زمانی متفاوت از شدت آن با شاخص SPI است. بعنوان مثال برای ماه دسامبر سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد در مقیاس زمانی یک ماهه، شاخص SPI و SEPI شرایط مرطوب ملایم را نشان می‌دهد در حالیکه در مقیاس زمانی ۲۴ ماهه برای ماه مورد نظر شاخص SPI شرایط خشک شدید را نشان می‌دهد در صورتیکه شاخص SEPI شرایط خشک متوسط را به تصویر می‌کشد. بررسی همبستگی بین شاخص‌ها نیز نشان داد که همبستگی بالایی بین دو شاخص SPI و SEPI وجود دارد، با افزایش مقدار شاخص SPI شاخص جدید افزایش و با کاهش مقدار شاخص SPI مقدار شاخص جدید کاهش می‌یابد لذا این شاخص، تغییرات شاخص SPI و به تبع آن تغییرات بارندگی را بدرستی به تصویر می‌کشد، این موضوع برای کلیه مقیاس‌های زمانی صادق است. بررسی‌ها همچنین نشان داد که با افزایش مقدار شاخص SEI شاخص جدید کاهش و با کاهش مقدار شاخص SEI مقدار شاخص جدید افزایش می‌یابد، لذا این شاخص، تغییرات شاخص SEI و به تبع آن تغییرات درجه حرارت و تبخیر و تعرق را نیز

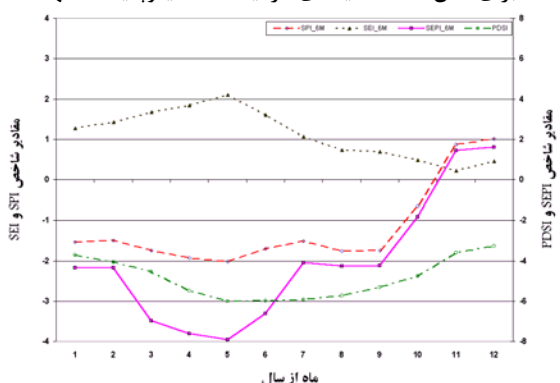
۱۱ تا ۲۴ این روند معکوس می‌شود، این روند در همبستگی شاخص SPI با شاخص PDSI هم قابل مشاهده است. مقایسه خشکسالی پایش شده با شاخص SEPI و شاخص PDSI نیز موارد مطروحه در فوق را تأیید می‌کند. بعنوان مثال در مقیاس‌های زمانی بالا برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه مشهد، نتایج پایش خشکسالی برای هر دو شاخص فوق نسبتاً یکسان بوده است.



مقایسه مقادیر شاخص‌های SEPI, SPI, SEI یک ماهه و PDSI برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد



مقایسه مقادیر شاخص‌های SEPI, SPI, SEI سه ماهه و PDSI برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد



مقایسه مقادیر شاخص‌های SEPI, SPI, SEI شش ماهه و PDSI برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد

بخوبی در محاسبات لحاظ می‌کند. بنابراین تحلیل شدت خشکسالی و پایش آنها برای مناطق خشکی مانند خراسان که تغییرات درجه حرارت و تبخیر و تعرق برای آن بالاست، با استفاده از این شاخص نتایج مناسب‌تری را نسبت به شاخص SPI که تنها از داده بارندگی برای پایش خشکسالی استفاده می‌کند، بدست خواهد داد. این امر می‌تواند منجر به پایش دقت‌تر و مناسب‌تر خشکسالی و نتایج حاصل از مقایسات مقادیر شاخص در سطح کشور شود.

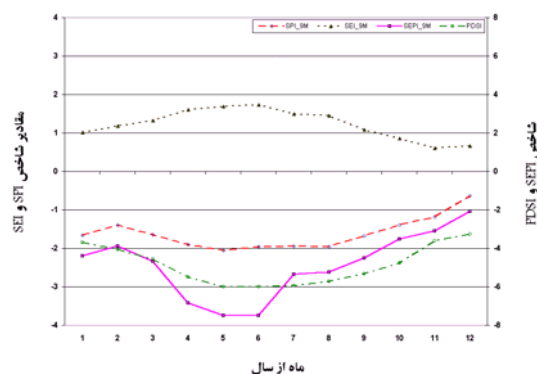
ارزیابی‌های انجام شده بر روی مدل ارائه شده، نشان داد که شاخص جدید بطور همزمان نسبت به دو پارامتر بارندگی و درجه حرارت عکس‌العمل نشان می‌دهد. بعلاوه حساسیت این شاخص نسبت به شاخص SPI بیشتر و نسبت به شاخص SEI کمتر است پس این شاخص بیشتر تحت تاثیر بارندگی که کاهش آن نسبت به نرمال، مهمترین عامل بروز خشکسالی است، بوده و کمتر تحت تاثیر تبخیر و تعرق و درجه حرارت که در درجه دوم اهمیت قرار دارد، می‌باشد. در شاخص جدید همچنین مشکلات مربوط به پایش خشکسالی برای مناطقی که متوسط بارندگی کم دارند، نیز رفع شده است. زیرا در این مناطق با وقوع میزان بسیار کم بارش در ماه‌های بدون بارندگی، شاخص SPI شرایط ترسالی را نشان می‌دهد، در صورتیکه شاخص جدید تحت تاثیر تبخیر و تعرق است.

تجزیه و تحلیل همبستگی شاخص جدید با شاخص پالمر و بررسی نتایج نهائی مربوط به ضریب همبستگی شاخص‌ها، نیز تناسب تغییرات شاخص SEPI با شاخص پالمر را نشان می‌دهد. این امر در مقیاس‌های زمانی میانی (مثلاً ۹ ماهه) نمود بیشتری دارد. بر همین اساس می‌توان اظهار داشت که تا حدودی خصوصیات این شاخص هم در شاخص جدید مستتر است.

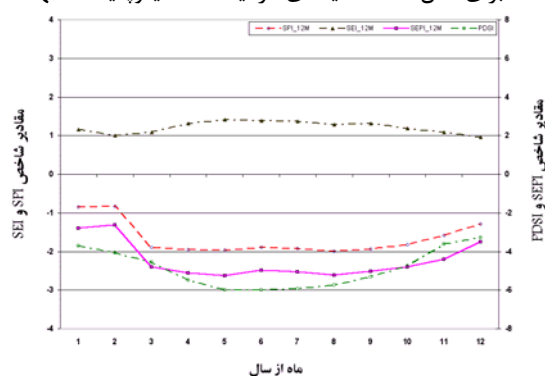
نتایج ارائه شده حاکی از آن است که همبستگی دو شاخص PDSI و شاخص SEPI، مشابه همبستگی شاخص SPI با شاخص PDSI بوده و حتی همبستگی آنها در حالت اول در کلیه مقیاس‌های زمانی بیشتر از حالت دوم است. در مقیاس‌های زمانی کوتاه همبستگی شاخص SEPI با شاخص PDSI کم و با افزایش مقیاس زمانی این روند افزایش می‌یابد که در مقیاس‌های زمانی ۷ تا ۱۰ ماه به حدکثر خود رسیده و مجدداً در مقیاس‌های زمانی بالا یعنی

منابع:

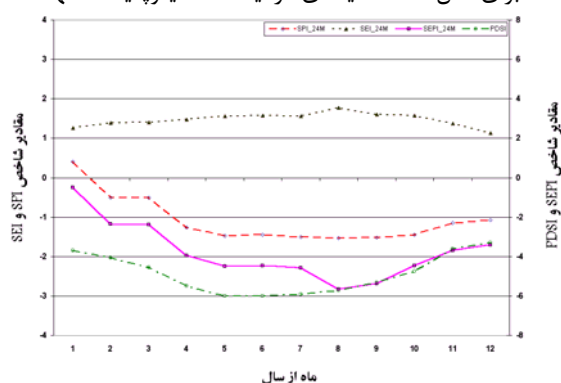
- 1- **Agnew, C.T.** (2000). "Using the SPI to Identify Drought". Issue of Drought Network News [Online], 12. Available on the WWW: <http://enso.unl.edu/ndmc>.
- 2- **Alley, W.M.** (1984). "The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **23**:1100 - 1109.
- 3- **Ambuel, J.R., Colvin, T.s. and Karlen, D.L.** (1994). "A Fuzzy Logic Yield Simulation for Prescription Farming". *Transaction of the ASAE*, **7**:1999-2009.
- 4- **Bankert R., Hadjimichael M. and Hansen B.** (2001). "Fuzzy Logic in Environmental Sciences". WWW: <http://salinas.net/~jpeak/airies/airies.html>
- 5- **Carpa, A., Nicosia, O.L.D. and Scicolone, B.** (1994). "Application of Fuzzy Sets to Drought Assessment". *Adv. In Wat. Resour. Tech. and Management, Tsakiris and Santos (eds), Balkema*, **15**: 479-483.
- 6- **Coa, Z., and Kandel, A., (1989)** "Applicability of Some Fuzzy Implication Operators". *FSS.*, **31**:42-52.
- 7- **Guttman, N.B.** (1991). "A Sensivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index". *Water Resources Bulletin*, **27**:797-807.
- 8- **Guttman, N.B.** (1998). "Comparing the Palmer Drought Index and Standardized Precipitation Index". *J. American Water Resour. Assoc.*, **34**:113-121.
- 9- **Guttman, N.B., Wallis, J.R. and Hosking, J.R.M.** (1992). "Spatial Comparability of the Palmer Drought Severity Index". *Water Resources Bulletin*, **28**:111-119.
- 10- **Karl, T.R.** (1986). "The Sensivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z_Index to their Calibration Coefficients including Potential Evapotranspiration". *Journal of Climate and Applied Meteorology*, **25**:77-86.
- 11- **Karl, T.R. and Knight, R.W.** (1985). "Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices(1931-1983) for the Contiguous United State". *Historical Climatology Series 3-7*, National Climate Data Center, Asheville, Nc.
- 12- **Mc Guire, J.K. and Palmer, W.C.** (1957). "The 1957 Drought in the Eastern United States". *Monthly Weather Review*, **85**:305-314.
- 13- **McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J.** (1993). "The Relationship of Drought Frequency



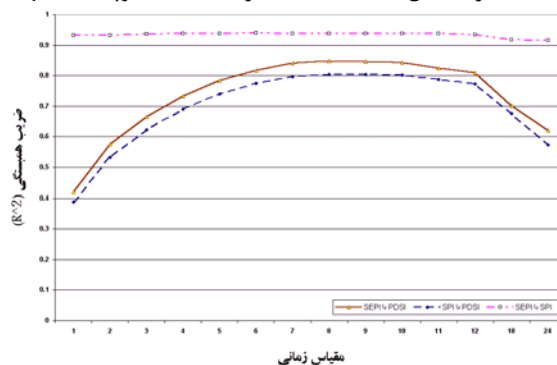
مقایسه مقادیر شاخص‌های SEI, SPI, SEPI, نه ماهه و PDSI برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد



مقایسه مقادیر شاخص‌های SEI, SPI, SEPI, دوازده ماهه و PDSI برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد



مقایسه مقادیر شاخص‌های SEI, SPI, SEPI, بیست و چهار ماهه و PDSI برای سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاه سینوپتیک مشهد



مقایسه ضریب همبستگی (R^2) شاخص‌های SEI, SPI و PDSI در مقیاس‌های زمانی متفاوت

and Duration to Time Scales". In: *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology*, January 17 – 22, 1993. American Meteorological Society, Massachusetts, p. 179 - 184.

- 14- McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J.** (1995). "Drought Monitoring with Multiple Time Scales". In: *Proc. 9th Conf. on Applied Climatology*, January 15 – 20, 1995. American Meteorological Society, Massachusetts, p. 233 - 236.
- 15- McQuigg, J.** (1954). "A Simple Index of Drought Conditions". *Weatherwise*, **7**:64-67.
- 16- Moroton, F.I.** (1983). "Operational Estimates of Areal Evapotranspiration and their Significance to the Science and Practice of Hydrology". *J. Hydrol.*, **66**:61-76.
- 17- Palmer, W.C.** (1965). "Meteorological Drought". *Research. Paper No. 45*, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
- 18- Palmer, W.C.** (1968). "Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index". *Weatherwise*, **21**:156-161.
- 19- Pongracz, R., Bogardi, L. and Duckstein, L.** (1999). "Application of Fuzzy Rule-Based Modeling to Regional Drought". *Journal of Hydrology*, **224**:100-114.
- 20- Rashton, K. R., and Ward, C.** (1979). "The Estimation of Groundwater Recharge". *J. Hydrol.*, **41**:345-361.
- 21- Soule, P.T.** (1990). "Spatial Patterns of Multiple Drought Types on the Contiguous United States: A Seasonal Comparison". *Clim. Res.*, **1**:13-21.
- 22- Soule, P.T.** (1992). "Spatial Patterns of Droughts Frequency and Duration in the Contiguous USA Based on Multiple Drought Event Definitions". *Int. J. Climatol.*, **12**:11-24.
- 23- Szalai, S., Szinell, Cs., Bussay, A., and Szentimrey, T.** (1998). "Drought Tendencies in Hungary". *J. Climatol.*, **18**:1479-1491.
- 24- Thornthwaite, C.W.** (1948). "An Approach toward a Rational Classification of Climate". *Geogr. Rev.*, **38**:55-94.