

Effects of Kernel Functions on SPEI and Drought Characteristics (Case Study: Zayandeh Roud Basin)

S.M. Mousavi¹ and A.R. Shokoohi^{2*}

Abstract

Drought management and planning are based on recognizing drought characteristics and its spatial and temporal extent. In the present research, SPEI₁₂ was calculated using 4 kernels including rectangular, triangular, circular and Gaussian at 12 climatological stations in Zayandeh Roud watershed. Four important characteristics of drought including the time of occurrence, duration, magnitude and severity were evaluated by applying the highest weight to the 5th month. It was revealed that other kernels were more sensitive in recognizing the four drought characteristics compared to rectangular. While the rectangular kernel showed the highest coefficient of variation (CV) in drought duration, the Gaussian kernel had the least CV in duration and magnitude and the circular kernel the least CV in severity. Moreover, it was found that the Gaussian kernel was more successful in detecting the occurrence of drought in comparison with others. Finally, the results of this research indicated that rectangular kernel i.e. using equal weights for all months in deriving SPEI, may lead to overestimate or underestimate drought characteristics.

Keywords: SPEI, Kernel Function, Drought Duration, Drought Magnitude, Drought Severity.

Received: December 10, 2018

Accepted: February 7, 2019

تأثیر توابع کرنل بر شاخص خشکسالی SPEI و مشخصه‌های خشکسالی (مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود)

سید مجتبی موسوی^۱ و علیرضا شکوهی^{۲*}

چکیده

برنامه‌ریزی و مدیریت خشکسالی مبتنی بر شناخت خشکسالی، مشخصه‌های آن و گستردگی مکانی و زمانی آن است. در تحقیق حاضر شاخص بارش و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) دوازده ماهه در دوازده ایستگاه قدیمی حوضه زاینده‌رود با اعمال چهار کرنل شامل مستطیلی، مثلثی، دایره‌ای و گوسی با حداکثر وزن ماه پنجم برآورد گردید و تأثیر کرنل‌ها بر مشخصه‌های خشکسالی ارزیابی شد. نتایج بررسی سری زمانی شاخص SPEI در ارتباط با چهار مشخصه خشکسالی یعنی زمان رخداد، تداوم، بزرگی و شدت خشکسالی حاکی از حساسیت بالاتر سایر کرنل‌ها نسبت به کرنل مستطیلی در شناسایی خشکسالی بود. کرنل مستطیلی دارای حداکثر ضریب تغییرات در هر تداوم خشکسالی است. کرنل گوسی در تداوم و بزرگی خشکسالی و کرنل دایره‌ای در شدت خشکسالی کمترین ضریب تغییرات را بخود اختصاص دادند. همچنین کرنل گوسی در مقایسه با سایر توابع از حساسیت بیشتری در آشکارسازی نوسانات خشکسالی برخوردار است و زودتر از سایر توابع علائم مواجهه با خشکسالی را آشکار می‌سازد. در مجموع نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد استفاده از اوزان یکسان و در واقع کرنل مستطیلی برای کلیه ماههای مورد استفاده در تحلیل خشکسالی می‌تواند منجر به بیش یا کم برآوردی پارامترهای مختلف خشکسالی گردد.

کلمات کلیدی: شاخص SPEI، تابع کرنل، تداوم خشکسالی، بزرگی خشکسالی، شدت خشکسالی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۹/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۱/۱۸

1- Ph.D. Student of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Zip code:3414896818

2- Professor, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Zip code:3414896818. Email: shokoohi@eng.ikiu.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. کدپستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸

۲- استاد گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. کدپستی: ۳۴۱۴۸۹۶۸۱۸

*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

حوضه زاینده‌رود از دیر باز به دلیل قرارگیری مصرف‌کنندگان عمده آن در اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی و بالتبع پایین بودن نزولات جوی و نیز تنوع مصارف با مشکل کم آبی مواجه بوده است. شاهد این مدعا، وجود مستندات تاریخی مبنی بر وقوع خشکسالی‌های حاد و حتی قحطی در حوضه است (Hoseini Abari, 2001). به عنوان یک نمونه‌ی تاریخی می‌توان از تلاش‌های به عمل آمده برای حفاری در کوه‌رنگ به منظور انتقال آب از حوضه کارون در چندین مقطع از دوره صفوی نام برد. از سویی اصفهان در گذر تاریخ به دلیل موقعیت خاص خود و شرایط مساعد آب و هوایی همواره مورد توجه حکام بوده است. منازعات بر سر آب در چند سال اخیر و در پی وقوع خشکسالی شدید فعلی در حوضه و بدلیل افزایش اهمیت و حساسیت آن نمود بیشتری یافته است. رودخانه زاینده‌رود را می‌توان نقطه اتکای ایران مرکزی و حتی بخش‌هایی از شرق حوضه کارون در استان چهارمحال و بختیاری در تأمین آب شرب دانست. این رودخانه با طرح‌های اجرا شده‌ی آبرسانی یزد، کاشان و اصفهان بزرگ و نیز طرح‌های در حال اجرای بن-بروجن، وظیفه تأمین آب شرب منطقه‌ای با جمعیت بیش از پنج میلیون نفر در چهار استان اصفهان، یزد، چهارمحال و بختیاری و مرکزی را بر عهده دارد. همچنین زاینده‌رود منبع تأمین آب صنایع بزرگی همچون فولاد مبارکه، ذوب آهن اصفهان، پلی‌اکریل ایران، سیمان سپاهان، سیمان اصفهان، پالایشگاه اصفهان، فولاد آلیاژی نطنز، فولاد اردکان و نیز نیروگاه‌های واقع در حوضه است.

خشکسالی به دلیل مشخصه‌ها و تأثیرات خود می‌تواند جمعیت زیادی را بخصوص در مناطق آسیب‌پذیر تحت تأثیر قرار دهد. میزان این جمعیت تا حدود ۳۰۰ میلیون نفر در هر خشکسالی برآورد گردیده است (CRED, 2011). Van Loon (2013) از روند رو به افزایش وسعت و جمعیت مناطق تحت اثر خشکسالی که تحقیقات اخیر آن را آشکار ساخته‌اند، نتیجه گرفته است که مطالعه و مدیریت بر موضوع خشکسالی به نیازی مبرم برای جوامع تبدیل شده است. این محقق همانند Smakhtin (2001) و Mishra and Singh (2010) خشکسالی را در مقایسه با سایر فجایع طبیعی، ناشناخته‌تر و دارای کمبودهای علمی می‌داند.

خشکسالی را به انواع مختلفی نظیر خشکسالی هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اقتصادی-اجتماعی تقسیم‌بندی کرده‌اند (Wilhite and Glantz, 1985; American Meteorological Society, 2004). شاخص‌های خشکسالی هواشناسی از بارش و دما برای نشان دادن خشکسالی و مشخصه‌های آن استفاده می‌کنند.

شناخته شده‌ترین این شاخصها بارش استاندارد شده^۱ (SPI)، شاخص پالم^۲ (PDSI)، شاخص نمره‌ی Z (Z-Score)، شاخص خشکسالی مؤثر^۳ (EDI)، شاخص احیای خشکسالی^۴ (RDI)، شاخص دهک‌ها (Deciles)، شاخص درصد نرمال^۵ (PN) و شاخص بارش و تبخیر و تعرق استاندارد شده^۶ (SPEI) می‌باشند. اغلب این شاخص‌ها تنها از بارش در محاسبات خود بهره می‌گیرند و همین موضوع بعنوان نقطه ضعفی برای این شاخص‌ها شناخته شده است. در این میان هرچند شاخصی نظیر پالم با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی بارش و تبخیر و تغییرات رطوبت خاک به شناسایی خشکسالی می‌پردازد، اما مشکلی که وجود دارد این است که داده‌ی رطوبت خاک در قریب به اتفاق ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری نمی‌شود و لذا استفاده از این شاخص با محدودیت مواجه می‌گردد. شاخص SPEI توسط Vicente-Serrano et al. (2010) ارائه شده است. شاخص بارش و تبخیر و تعرق استاندارد شده شباهت زیادی به SPI دارد و تنها تفاوت و به عبارتی مزیت آن استفاده از داده‌های تبخیر و تعرق است. در مناطقی که روند در تغییرات زمانی دما وجود نداشته باشد، انتظار می‌رود نتایج SPEI هماهنگی نسبتاً کاملی با SPI داشته باشد و در غیر این صورت و بخصوص در ایستگاه‌هایی که شواهدی از تغییر اقلیم وجود داشته باشد، یا عامل دمایی نقش بارزی در خشکسالی داشته باشد، انتظار نمی‌رود نتایج یکسانی از دو روش بدست آید. در حقیقت مهمترین مزیت این روش، امکان بررسی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی است و به همین دلیل این شاخص به عنوان معرف خوبی برای ارتباط دو نوع خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی شناخته شده است (Nosrati, 2015). با توجه به در دسترس بودن داده‌های دما و بارش، امکان استفاده از شاخص SPEI برای بیشتر مناطق فراهم است و این موضوع در استقبال از این شاخص در چند ساله‌ی اخیر مؤثر بوده است، چنانکه سازمان هواشناسی کشور هر روزه نقشه‌ی مقدار شاخص مزبور را برای کل کشور بروزرسانی می‌نماید.

در تحقیقات مختلف نقش عامل دما در خشکسالی مورد تأکید قرار گرفته است. از میان مطالعات موجود می‌توان از تحقیق Nicholls (2004) در انتساب خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ استرالیا به تعداد روزهای با درجه حرارت بالا و تأثیر آن بر شدت این پدیده و نیز تحقیق Rebetez et al. (2006) مبنی بر تأثیر زیاد عامل دما در خسارت خشکسالی تابستان ۲۰۰۳ در اروپا نام برد. با چنین زمینه‌ای Vicente-Serrano et al. (2010) به معرفی شاخص SPEI پرداختند.

Begueria et al. (2014) با بررسی توزیع‌های آماری متفاوت، نهایتاً دو توزیع پیرسون نوع ۳ و لوگ لجستیک را برای محاسبه‌ی این

شاخص معرفی نمودند و بیان داشتند که توزیع لوگ لجستیک در تمامی دوره‌ها بخوبی سری کمبود بارش نسبت به تبخیر و تعرق را تصویر می‌نماید.

Potop (2011) در جمهوری چک به بررسی کارایی شاخص SPEI پرداخت. او این شاخص را فارغ از دوره ارزیابی در تشخیص شدت خشکسالی دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ که ناشی از افزایش دما بود، توانمند دانست. (Ahmadi et al. (2013) مشخصه‌های خشکسالی بر مبنای دو شاخص SPI و SPEI را برای ایستگاه کبوترآباد اصفهان در دوره زمانی ۲۰۰۷-۱۹۸۷ با همدیگر مقایسه کردند و به میانگین بیشتر تداوم خشکسالی‌ها بر مبنای SPEI نسبت به SPI دست یافتند. حداکثر شدت خشکسالی در این دوره زمانی در سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۲ بوقوع پیوسته است که این موضوع به افزایش دما نسبت داده شد. (Nosrati et al. (2014) برای دوره‌ی سی ساله‌ی (۱۹۷۸-۲۰۰۸) در ۶ ایستگاه آب‌سنجی استان تهران متعلق به وزارت نیرو به مقایسه‌ی شاخص‌های SPI و SPEI پرداختند. هرچند نتایج، همبستگی معنی‌دار دو شاخص را نشان داد اما واکنش سریع‌تر شاخص SPEI به خشکسالی نیز از یافته‌های این پژوهش است که در پایان محقق را به معرفی این شاخص به عنوان شاخص حساس به خشکسالی هیدرولوژیک متقاعد نموده است. در تحقیق دیگری (Nosrati (2015) از ده ایستگاه سینوپتیک کشور که عمدتاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار داشتند، برای یک دوره ۳۳ ساله (۱۹۷۵-۲۰۰۷) استفاده نمود و نتایج محاسبه شاخص‌های SPI و SPEI را در بازه‌های زمانی ۳ تا ۴۸ ماهه با همدیگر مقایسه نمود. نتایج نشان‌دهنده فراوانی نسبی بیشتر کلاس نرمال در اغلب ایستگاه‌ها برای شاخص SPI و در مقابل، افزایش فراوانی نسبی دیگر کلاس‌های خشکسالی برای شاخص SPEI بود که این تفاوت به تأثیر تغییرات درجه حرارت بر تبخیر و تعرق و شاخص SPEI نسبت داده شد. (Eslahi et al. (2014) نیز ضمن معرفی شاخص جدید SPEI، از داده‌های ۶۰ ساله ایستگاه هواشناسی تبریز در دوره آماری ۱۳۳۰-۹۰ استفاده نمودند. نتایج حاکی از برتری این شاخص در مقایسه با شاخص SPI بود و روند تغییرات بارش و دما با مقادیر شاخص SPEI تطابق خوبی را نشان داده‌اند. (Ghabaei (2017) با استفاده از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی شاخص تجمیعی^۷ (ADI) را بدست آوردند و در نواحی مرطوب و ماههای آذر تا اسفند همبستگی خوبی میان SPEI و ADI بدست آوردند. (Begueria et al. (2014) اخیراً به بازنگری برخی مبنای محاسبه‌ی شاخص SPEI پرداخته‌اند که در ویرایش جدید که همراه با معرفی داده‌های مرجع جهانی و بسته‌ی نرم‌افزاری در R است، امکان انتخاب بین دو نوع توزیع آماری، تغییر در دوره‌ی ارزیابی پارامترهای آماری توزیع‌ها، انتخاب روش محاسبه‌ی تبخیر و تعرق و اصلاح

الگوریتم محاسبه پارامترها از الگوریتم گشتاورهای وزنی به الگوریتم غیر اریب گشتاورهای وزنی مد نظر قرار گرفته است. Zare Abyaneh et al. (2015) با استفاده از شبیه‌سازی و تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای به بررسی و مقایسه نتایج شاخص‌های SPI، RDI و SPEI برای دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ و دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ در ایستگاه سینوپتیک همدان پرداختند. کمترین همبستگی در هر سه سناریو بین شاخص‌های RDI و SPEI دیده شد و در مقیاس‌های زمانی میان مدت و بلند مدت بیشترین همبستگی بین شاخص‌های SPI و SPEI وجود داشت. (Yousefi et al. (2016) با پایش خشکسالی بر اساس سه شاخص خشکسالی SPI، RDI، SPEI به همبستگی بالایی مقادیر ET0 و SPEI دست یافتند و نشان دادند که این همبستگی بویژه در مناطق کم باران و خشک بیشتر مشهود بوده است. بر همین اساس پیشنهاد استفاده از شاخص‌های مبتنی بر بارش و تبخیر و تعرق را در مناطق کم باران و خشک مانند اکثر مناطق ایران، برای پایش خشکسالی مطرح نمودند. (Mostafazadeh and Zabih (2016) الگوی خشکسالی را با شاخص‌های SPI و SPEI در هفت ایستگاه سینوپتیک استان کردستان با استفاده از نرم‌افزار R مقایسه نمودند. پایین بودن میزان همبستگی شاخص در ایستگاه سقر به افزایش تبخیر و تعرق در فصول بهار و تابستان نسبت داده شده است. همچنین نتایج این تحقیق تغییرپذیری بیشتر شدت خشکسالی و ترسالی در این شاخص نسبت به SPI و نیز افزایش تعداد وقایع خشکسالی را نشان داد. (Zabih et al. (2017) در ۷ ایستگاه استان کردستان به مقایسه‌ی نتایج شاخص‌های SPI و SPEI با استفاده از نرم‌افزار R پرداختند. نتایج، حاکی از محاسبه شدت بالاتر خشکسالی توسط شاخص SPEI در دوره‌های خشک و مرطوب بود. شاخص SPEI در این تحقیق در تمامی ایستگاه‌ها، خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید را بخوبی مشخص نمود. (Sebghati et al. (2016) به مقایسه‌ی تداوم و شدت خشکسالی در ایستگاه‌های ارومیه و تبریز با استفاده از میانگین متحرک بارش و SPEI پرداختند که نتایج نشان دهنده‌ی ارتباط کامل بین این دو بوده است.

مرکز ملی مقابله با خشکسالی آمریکا NDMC سامانه پایش خشکسالی را با استفاده از شاخص SPEI توسعه داده است (Wilhite et al., 2007; Hayes et al., 1999). همانطور که ملاحظه می‌گردد در ادبیات موضوع به نحوه تولید داده‌های SPI و SPEI اشاره‌ای نمی‌شود. عملاً برای تولید این پارامترها از روش میانگین‌گیری متحرک استفاده می‌شود. به عنوان مثال برای داده‌های بارش و برای تولید SPI3 (سه ماهه) از سه داده متوالی و برای SPI12 از دوازده داده متوالی برای تولید SPI استفاده می‌شود. در این حالت برای تمام داده‌های بارش، وزنی مساوی در نظر گرفته می‌شود. در این

مقاله، بر اساس پژوهش‌های (Begueria et al., 2014)، به ارزیابی اثر ماه‌های مختلف بر نتیجه میانگین‌گیری متحرک برای تولید شاخص خشکسالی با دادن وزن‌های نامساوی بدان‌ها با کمک توابع کرنل پرداخته می‌شود. فرض بر آن است که این کار بر ارزیابی خشکسالی و پارامترهای معرف آن یعنی زمان بروز، طول دوره، بزرگی و شدت خشکسالی اثرگذار است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مطالعاتی

منطقه‌ی مورد مطالعه حوضه‌ی آبریز گاوخونی از زیرحوضه‌های حوضه اصلی درجه‌ی ۲ فلات مرکزی می‌باشد. مساحت حوضه‌ی گاوخونی ۴۱۵۵۲ کیلومتر مربع است که از منطقه کوه‌رنگ و ارتفاعات زردکوه بختیاری شروع و در انتهای خود به باتلاق گاوخونی ختم می‌گردد. ایستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق ایستگاه‌های واقع در حوضه با طول دوره‌ی آماری حداقل چهل ساله که دارای داده‌های بارش و دما هستند، می‌باشد. موقعیت ایستگاه‌ها در حوضه آبریز زاینده‌رود در شکل ۱ و مشخصات ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است. ده مورد از این ایستگاه‌ها در اختیار وزارت نیرو و دو ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی می‌باشند. داده‌های بارش و دمای متوسط ماهانه از ایستگاه‌ها جمع‌آوری و پس از پردازش اولیه برای ادامه‌ی کار مورد استفاده قرار گرفتند. در موارد معدودی که برای طول دوره آماری ۴۰ ساله‌ی ۲۰۱۶-۱۹۷۶ داده‌ها در دسترس نبودند، با تشکیل ماتریس همبستگی متقابل ایستگاه‌ها، داده‌های مورد نظر بازسازی شدند. سال ۱۹۹۹ مصادف با خشکسالی بزرگ و شدید در حوضه بوده است، چنان که از آن سال به بعد حوضه به لحاظ ماهیت مصارف و تغییر بارش در فاز جدیدی قرار گرفته است (Moradi et al., 2011; Faramarzi, 2013). در ۱۷ ساله‌ی دوره اخیر، حوضه با ترسالی‌های استثنایی نیمه‌ی دهه ۱۳۸۰ نیز روبرو بوده است ولی بلافاصله پس از آن خشکسالی ممتد بر حوضه سایه افکنده است.

۲-۲- کرنل

همانطور که در بخش مقدمه ذکر شد در برآورد SPEI با مقیاس زمانی مورد نظر که در این تحقیق ۱۲ ماهه می‌باشد، به همه ۱۱ ماه قبل از ماه مورد نظر، مانند ماه مبدا وزنی یکسان داده می‌شود. استفاده از کرنل به مفهوم برابر نبودن ارزش و وزن ماه‌های دورتر از ماه مبدا در خروجی محاسبات می‌باشد. استفاده از این مفهوم در توزیع مکانی داده‌ها و الگوریتم‌هایی نظیر IDW⁸ امری مرسوم می‌باشد. در این مطالعه برای دادن وزن (ارزش) به ماه‌های مختلف از توابع کرنل شکل ۲ استفاده به عمل آمد. توضیح اینکه برای محاسبه‌ی شاخص SPEI

با بازه مفروض ۱۲ ماهه، می‌توان ماه مورد محاسبه یا هر یک از ۱۱ ماه قبل را با یکی از توابع کرنل چهارگانه مستطیلی، مثلثی، دایره‌ای و گوسی دارای حداکثر وزن نمود (شماره ماه در شکل ۲ بنام shift آورده شده است). همانطور که گفته شد در محاسبه‌ی SPEI عموماً از تابع مستطیلی (وزن یکسان بارش ماه‌های گذشته تا ماه جاری) استفاده می‌شود، اما دیگر توابع کرنل، قابلیت تغییر از توزیع یکنواخت به سایر توزیع‌ها را فراهم می‌نمایند. شکل ۲ نمودار شماتیک توابع کرنل دوازده ماهه با وزن حداکثر ماه جاری (الف) و ماه پنجم (ب) را نشان می‌دهد و جدول ۱ اوزان مربوط به تابع گوسی با وزن حداکثر پنجمین ماه گذشته (منطبق بر شکل ۲ ب) را نشان می‌دهد.

۳- نتایج

یک نکته مهم در ارزیابی شاخص‌ها، توانایی آنها در شناخت بروز خشکسالی است. نتایج بررسی اثر استفاده از کرنل‌های مختلف بر تعداد خشکسالی‌های شناسایی شده توسط اندکس SPEI ($SPEI < -1$) برای کلیه ایستگاه‌ها با حداکثر وزن بارش در ماه میانی بازه (ماه پنجم) در مقایسه با کرنل مستطیلی در جدول ۳ آورده شده است. شایان ذکر است که استفاده از ماه پنجم به عنوان میانه‌ی بازه برای حذف اثر بارش‌های ابتدا و انتهای دوره می‌باشد و اختیاری است، بنابراین هر ماه دیگری نیز قابل انتخاب و ارزیابی است. در تفسیر ارقام جدول ۳ می‌توان اینطور توضیح داد که در مجموع، استفاده از کرنل مثلثی باعث شناسایی ۶۷ ماه خشکسالی در ایستگاه‌ها گردیده است که این موارد با کرنل مستطیلی شناسایی نگردیده‌اند. به عبارت دیگر کرنل مستطیلی در شناسایی ۶۷ ماه وقوع خشکسالی در دوازده ایستگاه نسبت به کرنل مثلثی عدم موفقیت داشته است. بصورت مشابه کرنل دایره‌ای در مجموع ۴۷ ماه و کرنل گوسی ۱۳۷ ماه خشکسالی‌هایی را شناسایی نموده‌اند که کرنل مستطیلی قادر به شناسایی آنها نبوده است. براساس نتایج جدول ۳ می‌توان گفت که کرنل دایره‌ای نزدیکترین نتایج را به کرنل مستطیلی از نظر شمارش تعداد خشکسالی بدست داده است.

علاوه بر تفاوتی که میان کرنل‌های مختلف با کرنل مستطیلی در شناسایی تعداد خشکسالی‌ها دیده شد، در توزیع فراوانی خشکسالی‌ها در طبقات مختلف خشکسالی نیز تفاوتی معنی‌دار میان کرنل‌های مذکور دیده شد. شکل ۳ توزیع فراوانی خشکسالی در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه حاصله از اعمال کرنل‌های چهارگانه را نشان می‌دهد. تفاوت میان کرنل‌ها از نظر توزیع فراوانی خشکسالی‌ها در طبقات مختلف در ایستگاه‌های مختلف با آب و هوای متفاوت و بخصوص ایستگاه‌های مهیار، قلعه شاهرخ و اصفهان کاملاً مشهود می‌باشد.

و پس از محاسبه‌ی مقادیر SPEI دوازده ماهه، برای مقادیر کمتر از ۱- چهار مشخصه‌ی فوق‌الذکر استخراج شدند. نمودار باکس پلات زمان وقوع، تداوم، بزرگی و شدت خشکسالی برای کلیه ایستگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب در شکل‌های ۴ تا ۷ آمده است.

برای بارزنامایی اختلاف حاصل از اعمال کرنل‌های مختلف در نتایج تحلیل خشکسالی، به بررسی تغییرات حاصله در چهار مشخصه‌ی مهم خشکسالی یعنی زمان وقوع، تداوم، بزرگی و شدت خشکسالی پرداخته شد. برای این منظور برنامه‌ای در محیط R نوشته شد. با استفاده از این برنامه آمار ماهانه بارش و حرارت ایستگاه‌های مختلف تحلیل شده

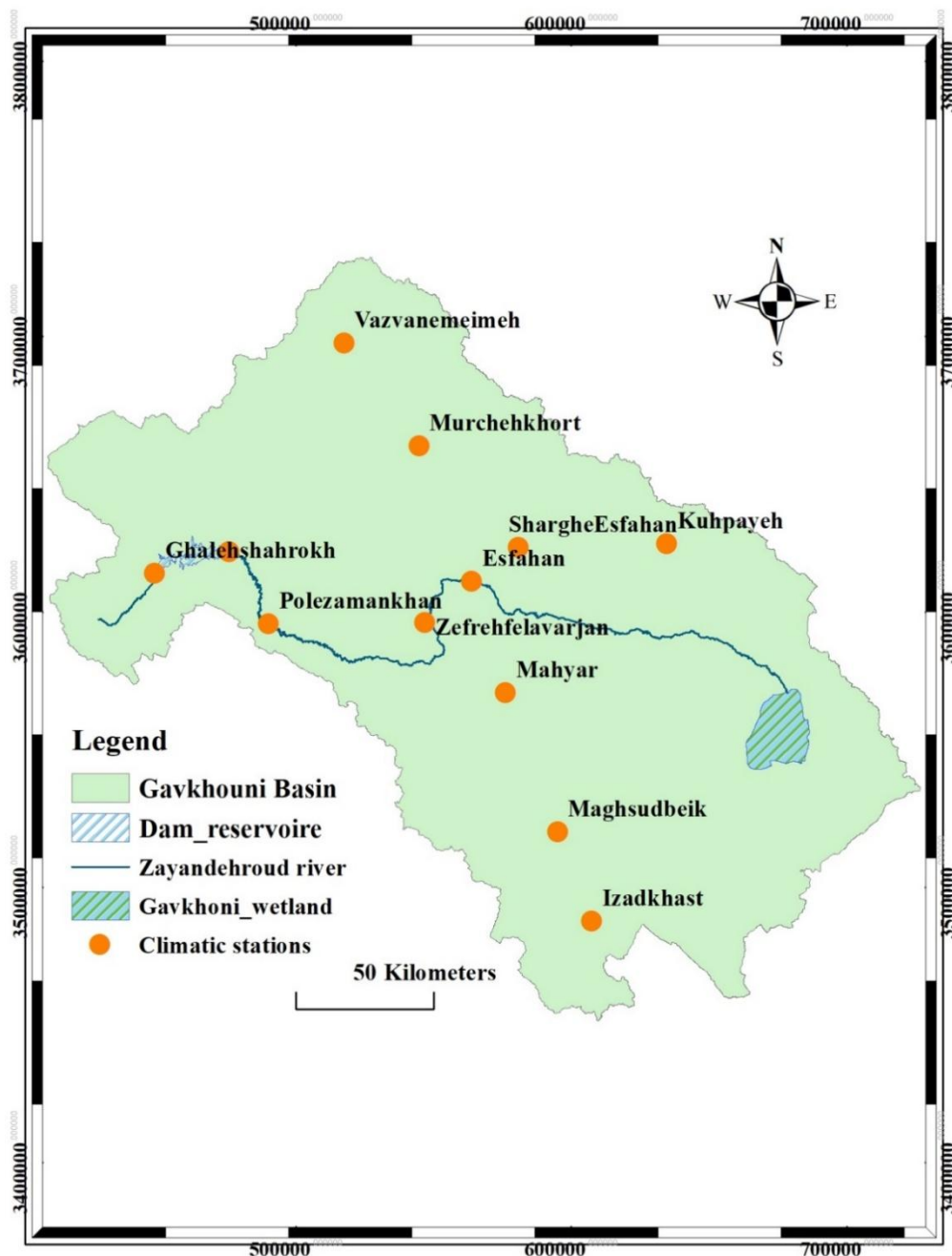


Fig. 1- Location of climatological stations in Zayandeh Roud watershed
 شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در حوضه زاینده‌رود

Table 1- Properties of climatological stations

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی

Year of instalation	Height	Longitude	Latitude	Station type	Province	Station
1355	2190	52-07-51	31-31-04	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Izadkhash*
1344	1856	50-53-42	32-29-56	Climatology Ministry of Energy	Charmahal Bakhtyari	Pole Zankhan*
1344	1623	51-29-56	32-30-07	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Zohreh Falavarjan*
1344	2131	50-44-31	32-44-02	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Zayandehroud Dam
1349	2078	50-27-08	32-39-47	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Qaeh Shahrokh*
1352	1877	52-26-20	32-45-03	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Kouhpayeh*
1347	1972	52-00-21	31-48-47	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Maghsoudbeik*
1347	1662	51-48-32	32-16-08	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Mahyar*
1349	1670	51-28-48	33-04-48	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Mourchehkhour
1343	1980	51-11-20	33-25-01	Climatology Ministry of Energy	Isfahan	Vezevan Meimeh*
1327	1549	51-42-25	32-31-04	Synoptic Iran Meteorological Organization	Isfahan	Isfahan (South)
1355	1541	51-51-46	32-44-42	Synoptic Iran Meteorological Organization	Isfahan	Isfahan (East)*

* Renewed stations

* ایستگاه‌های بازسازی شده

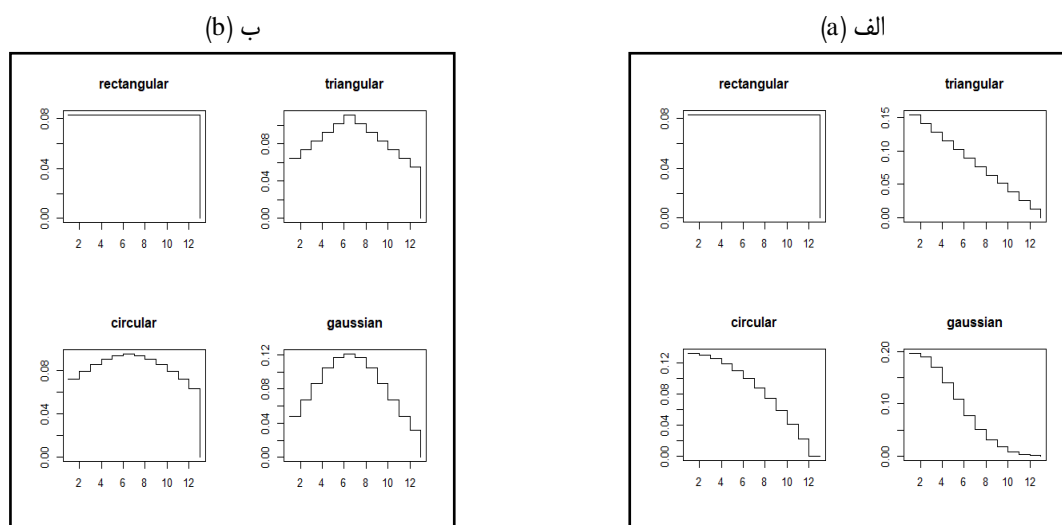


Fig. 2- Kernels and graphs for weights of precipitation a) shift=0 b) shift=5

شکل ۲- نمایش کرنل‌ها و نمودار وزن‌دهی بارش با (الف) shift=0 و (ب) shift=5

Table 1- Weights of precipitation upto eleven past months
جدول ۲- وزن دهی بارش‌ها تا یازده ماه گذشته در توابع کرنل (shift=5)

Month	Rectangular	Gaussian	Triangular	Circular
1	0.083	0.048	0.065	0.072
2	0.083	0.067	0.074	0.079
3	0.083	0.087	0.083	0.085
4	0.083	0.105	0.093	0.09
5	0.083	0.117	0.102	0.093
6	0.083	0.121	0.111	0.095
7	0.083	0.117	0.102	0.093
8	0.083	0.105	0.093	0.09
9	0.083	0.087	0.083	0.085
10	0.083	0.067	0.074	0.079
11	0.083	0.048	0.065	0.072
12	0.083	0.032	0.056	0.064

Table 3- Comparison of Kernels capability in recognizing drought
جدول ۳- مقایسه توانایی نسبی کرنل‌ها در شناسایی خشکسالی

No. of detected droughts using other kernels in comparison with rectangular			Station
Gaussian	Circular	Triangular	
7	4	6	Zohreh Falavarjan
11	3	3	Zayandehroud Dam
16	4	7	Pole Zankhan
8	2	2	Mahyar
17	6	9	Maghsoudbeik
8	3	5	Mourchekhoust
10	4	5	Qaeh Shahrokh
11	4	5	Kouhpayeh
7	2	4	Vezevan Meimeh
17	6	10	Izadkhist
16	6	7	Isfahan (South)
9	3	4	Isfahan (East)
137	47	67	Sum

در شکل ۷ بیشترین تعداد داده پرت شدت خشکسالی، توسط کرنل مستطیلی و کمترین آن توسط کرنل دایره‌ای تولید شده و در عین حال بیشترین و کمترین دامنه تغییرات شدت خشکسالی را به ترتیب کرنل مستطیلی و دایره‌ای نشان داده‌اند.

همانطور که ملاحظه می‌شود استفاده از اوزان مختلف (کرنل‌های مختلف) بر برآورد هر چهار مشخصه اصلی خشکسالی تأثیر قابل توجهی داشته است. در این میان بیشترین تأثیر بر روی مشخصه تداوم خشکسالی بوده است. به عنوان نمونه مشخصات آماری حاصل از ارزیابی تداوم خشکسالی با استفاده از کرنل‌های مختلف در ایستگاه قلعه شاهرخ در جدول ۴ آورده شده است.

از شکل ۴ می‌توان استنباط نمود که کرنل مستطیلی بجز ایستگاه ایزدخواست در سایر ایستگاه‌ها دامنه‌ی وسیعتری از زمان وقوع خشکسالی را شناسایی نموده است. براساس شکل ۵، هر چند کرنل مستطیلی و دایره‌ای کمترین و کرنل گوسی بیشترین تداوم خشکسالی پرت را تولید نموده است، اما کرنل مستطیلی ضریب تغییرات بالاتری برای تداوم خشکسالی برآورد نموده است. در نقطه‌ی مقابل، کرنل گوسی کمترین ضریب تغییرات را برای این مشخصه بدست آورده است. شکل ۶ نشان می‌دهد حداقل ضریب تغییرات بزرگی خشکسالی در بین ایستگاه‌ها، متعلق به کرنل گوسی و حداکثر آن مربوط به کرنل مستطیلی (در هشت ایستگاه) است.

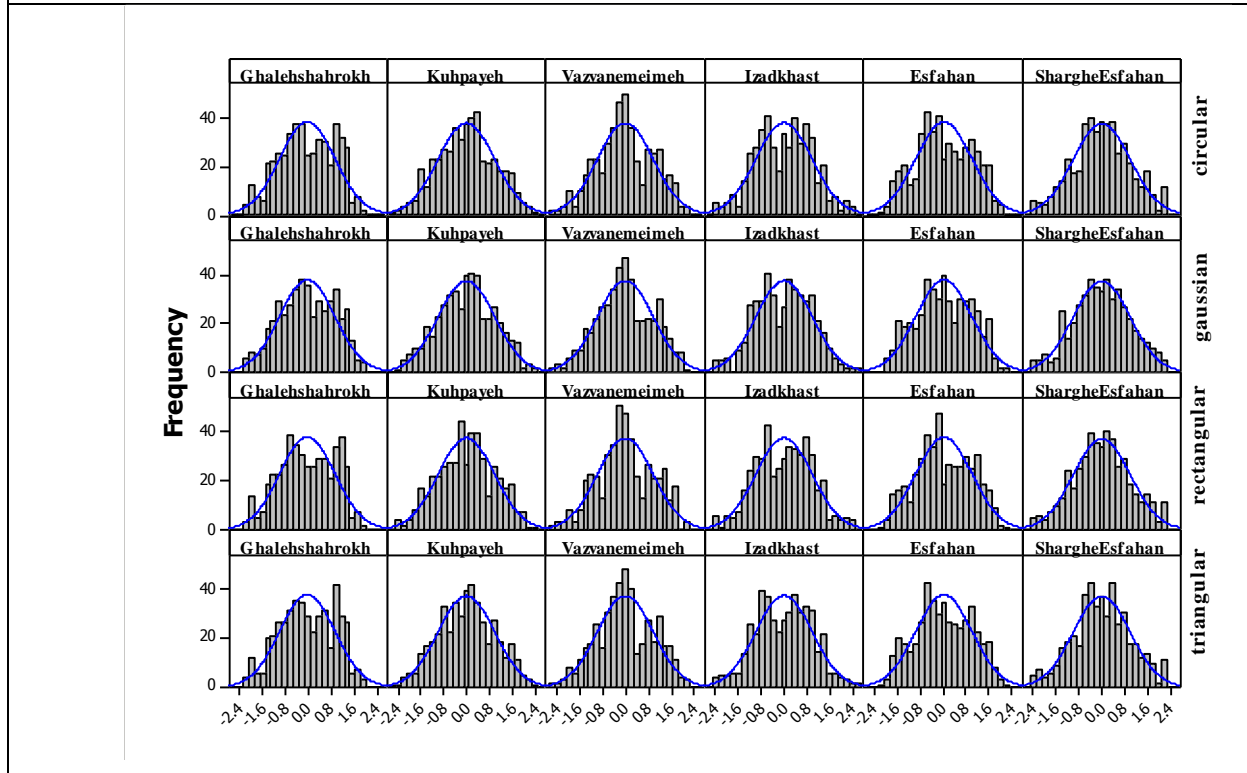
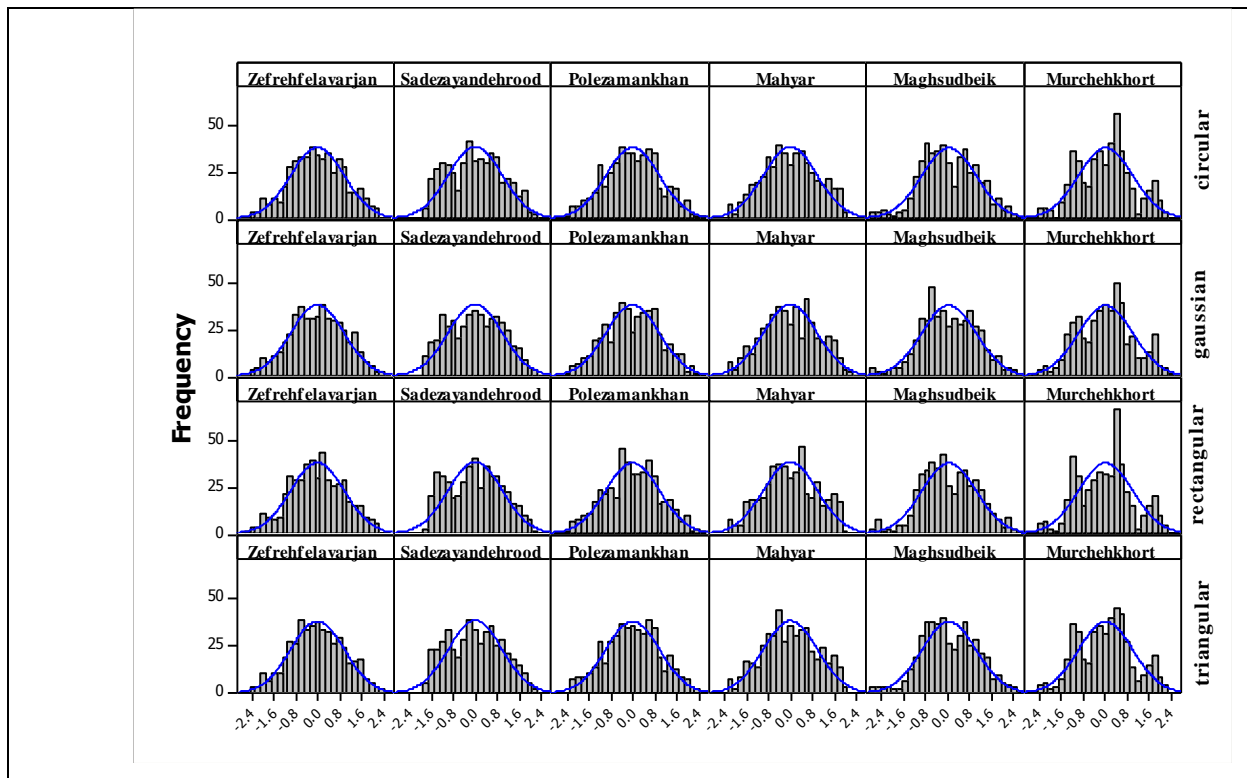


Fig. 3- Frequency histogram of SPEI in all staisn
 شکل ۳- هیستوگرام فراوانی شاخص SPEI ایستگاه‌ها

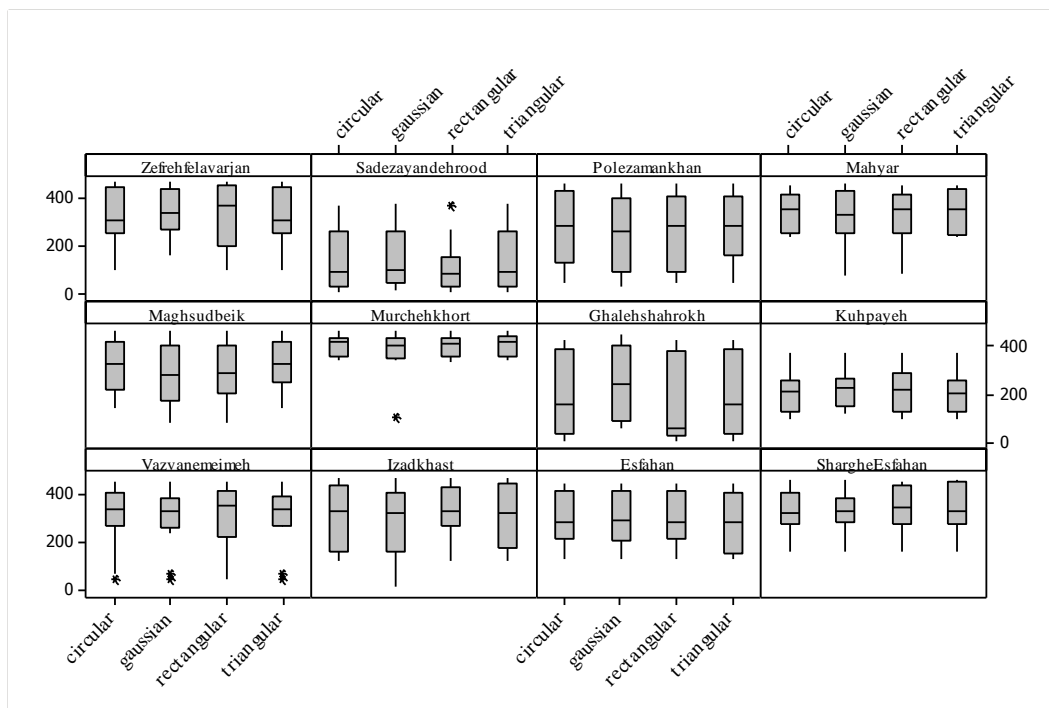


Fig. 4- Kernels effects on drought occurrence (vertical axis is the month's number from the start of period)

شکل ۴- اثر کرنل‌ها بر زمان وقوع خشکسالی (محور عمودی شماره ماه از ابتدای دوره آماری می‌باشد)

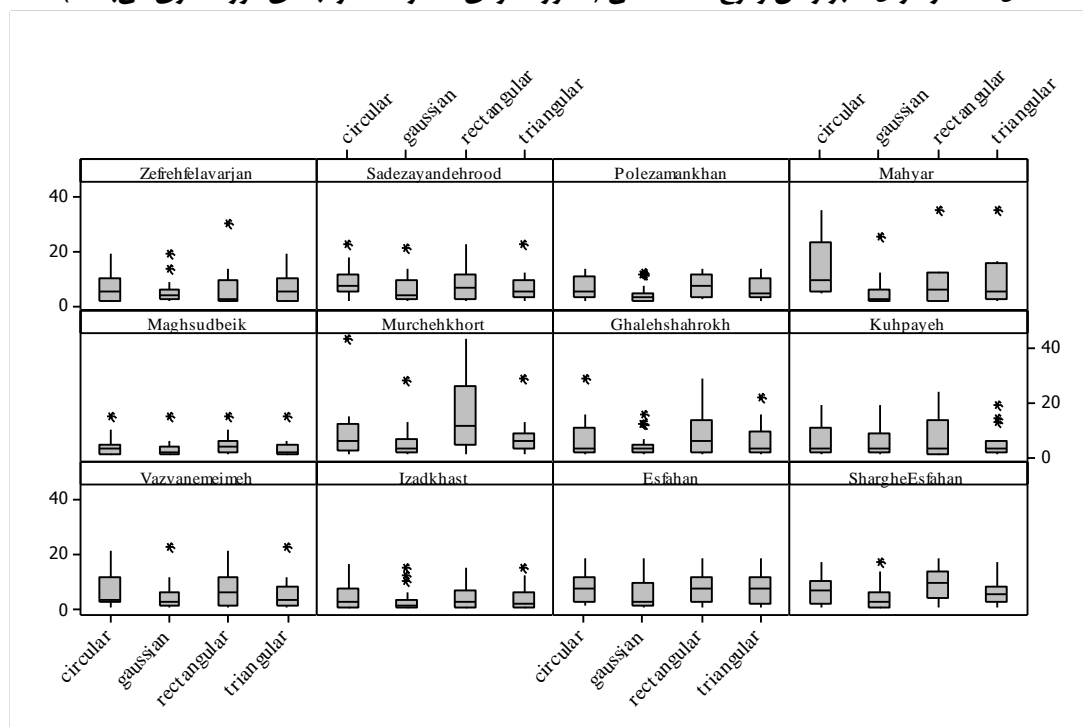


Fig. 5- Kernrls effect on drought duration (vertical axis is the month's number)

شکل ۵- اثر کرنل‌ها بر تداوم خشکسالی (محور عمودی شماره ماه می‌باشد)

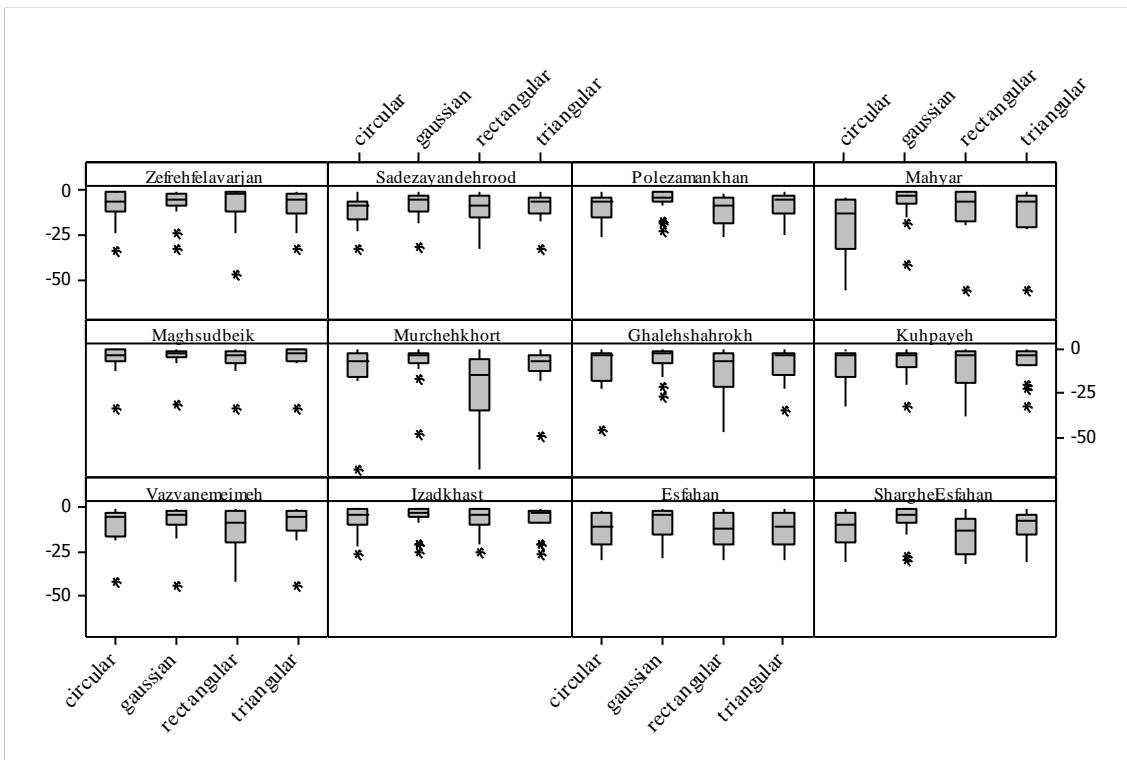


Fig. 6- Effects of Kernels on drought magnitude

شکل ۶- اثر کرنل‌ها بر بزرگی خشکسالی

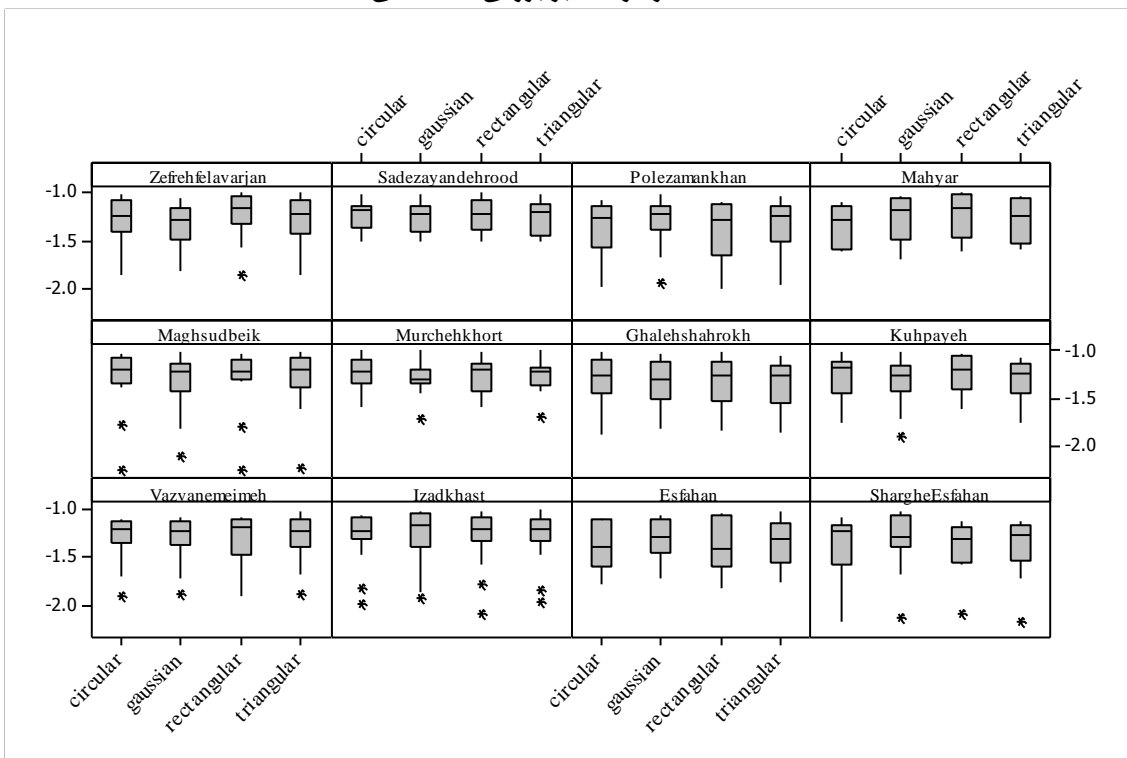


Fig. 7- Effects of kernels on drought severity

شکل ۷- اثر کرنل‌ها بر شدت خشکسالی

۳- جمع بندی و نتیجه گیری

در اغلب تحقیقات انجام شده در موضوع خشکسالی که در آن‌ها شاخص‌های SPI و SPEI بکار رفته، کرنل مستطیلی و وزن یکسان بارش برای بازه زمانی مورد نظر استفاده گردیده است. در این تحقیق در دوازده ایستگاه با دوره‌ی آماری ۴۰ ساله در حوضه آبریز زاینده‌رود، برای SPEI دوازده ماهه با وزن حداکثر در ماه پنجم (به عنوان میانه‌ی بازه و برای حذف تأثیر بارش‌های ابتدا یا انتهای بازه بر روی شاخص) از کرنل‌های مثلثی، دایره‌ای و گوسی استفاده شده و نتایج با کرنل مرسوم مستطیلی مورد مقایسه قرار گرفته است.

تفاوت دیگری که با اعمال کرنل‌های مختلف در شناسایی خشکسالی حاصل گردید، نوسانات بیشتر سری زمانی اندکس خشکسالی بخصوص در مرز ورود به خشکسالی به ازای اعمال کرنل‌های غیر مستطیلی بود. در این میان، توزیع گوسی از حساسیت بیشتری برای شناسایی طبقات خشکسالی برخوردار است. برای نمونه سری زمانی کامل و جزئی شاخص SPEI دوازده ماهه در شکل ۸ بخوبی حساسیت کرنل گوسی نسبت به کرنل مستطیلی در واکنش به خشکسالی و تر سالی را نشان می‌دهد. در این شکل تفاوت‌ها و شباهت‌های SPEI حاصله بعد از اعمال دو کرنل مستطیلی و گوسی و لذا تغییر مقادیر مشخصه‌های خشکسالی یعنی زمان رویداد، بزرگی و تداوم آن نیز ملاحظه می‌گردد.

Table 4- Statistical parameters of drought duration at Ghalehshahrokh station

جدول ۴- مقادیر پارامترهای آماری تداوم خشکسالی ایستگاه قلعه شاهرخ

Gaussian	Circular	Triangular	Rectangular	Parameter
4.3	7.2	6.5	8.4	Mean of drought duration (month)
4.4	8.3	6.5	8.8	Standard deviation of drought duration (month)
100.7	116.1	100.6	104.9	Coefficient of variation of drought duration
1.7	1.9	1.5	1.6	Skewness coefficient of drought duration
2.1	3.8	1.5	2.6	Kurtosis coefficient of drought duration

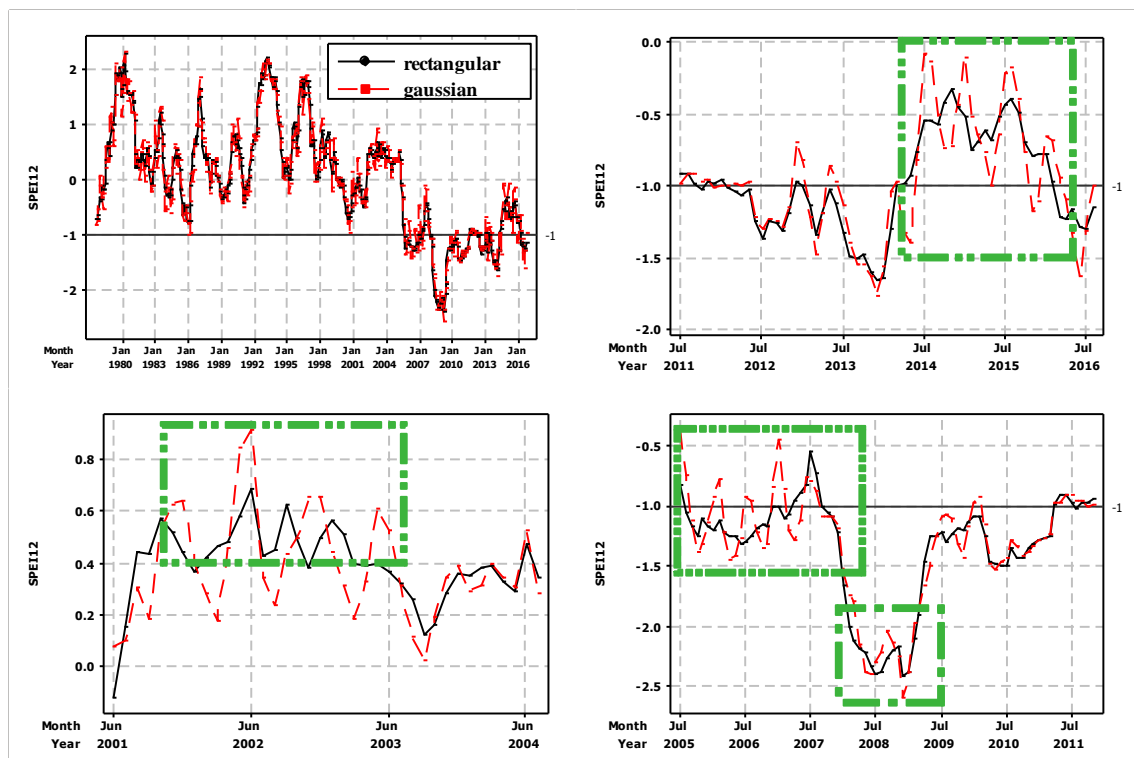


Fig. 8- Time series graph of SPEI12 at Murchekhort station

شکل ۸- نمودار سری زمانی شاخص SPEI دوازده ماهه ایستگاه مورچه خورت

American Meteorological Society (AMS) (2004) Statement on meteorological drought. Bulletin of the American Meteorological Society 85:771-773

Beguer S, Vicente-Serrano SM, Reig F and Latorre B (2014) Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring. International Journal Of Climatology 34(2014):3001-3023

CRED: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database (2011) Université catholique de Louvain, Brussels, Belgium

Douglas JR, Clarke RT and Newton SG (1976) The use of likelihood functions to fit conceptual models with more than one dependent variable. Journal of Hydrology 29:181-198

Eslahi M, Sobhani B and Pourasghar F (2014) Studying and applying the standardized precipitation evapotranspiration index (Case study: Tabriz Meteorological Station). Journal of Climate Research 1393(19):23-38 (In Persian)

Faramarzi, M (2014) Hydrological modelling of Zayandeh Rud River Basin (Final Report). Isfahan University of Technology, Department of Natural Resources, 98 p

Greis N P and Wood EF (1981) Regional flood frequency estimation and network design. Water Resources Research 17:1167-1177

Guttman NB (1999) Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm. Journal of the American Water Resources Association 35(2):311-322

Hayes MJ, Svoboda MD, Wilhite DA and Vanyarkho OV (1999) Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological Society 80:429-438

Hoseini Abari SH (2001) Zayandehrud va Esfahan. Farhang Esfahan 21:14-21 (In Persian)

Hosking JRM and Wallis JR (1987) Correlation and dependence between annual maximum flood series. IBM Thomas J. Watson Research Division, Yorktown Heights, NY, 95 p

Hosking JRM and Wallis JR (1997) Regional frequency analysis: an approach based on L- Moments. Cambridge University Press, United States of America, 224p

Hosking JRM, Wallis JR and Wood EF (1985) Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. Technometrics 27:251-261

تأثیر کرنل در شناسایی خشکسالی در ایستگاه‌ها ارزیابی و نتایج بدست آمده حاکی از حساسیت بالاتر کرنل مثلی نسبت به سایر کرنل‌ها در شناسایی خشکسالی بود. این کرنل در ۶۷ مورد نسبت به کرنل مستطیلی خشکسالی را با موفقیت شناسایی نمود. حداکثر ضریب تغییرات در هر چهار مشخصه‌ی خشکسالی متعلق به کرنل مستطیلی است. کرنل گوسی در تداوم و بزرگی خشکسالی و کرنل دایره‌ای در شدت خشکسالی کمترین ضریب تغییرات را بخود اختصاص داده‌اند. بنظر می‌رسد کرنل گوسی در مقایسه با سایر توابع کرنل از حساسیت بیشتری در آشکار سازی نوسانات خشکسالی برخوردار است و زودتر از سایر توابع علائم مواجهه با خشکسالی را آشکار می‌سازد.

با توجه به موارد بالا برای مطالعه خشکسالی‌های گذشته در حوضه‌ی زاینده‌رود، استفاده از کرنل مثلی به دلیل حساسیت در شناسایی خشکسالی و موفقیت آن در شناسایی خشکسالی‌هایی که کرنل مستطیلی در شناخت آن توانایی کمتری داشته، پیشنهاد می‌گردد. اما چنانچه هدف از مطالعات خشکسالی راه‌اندازی سامانه‌های هشدار زود هنگام خشکسالی است، استفاده از کرنل گوسی نتایج مطلوبتری در پی دارد. در مجموع نتایج حاصل از این مطالعه، که برای اولین بار در ایران صورت گرفته است، نشان می‌دهد که استفاده از اوزان یکسان و در واقع کرنل مستطیلی برای کلیه ماه‌های مورد استفاده در تحلیل خشکسالی می‌تواند منجر به بیش یا کم برآوردی پارامترهای مختلف خشکسالی گردد. بر این اساس لازم است تحقیقات جامعی در اقلیم‌های متفاوت ایران صورت گرفته و نسبت به اعمال کرنل ویژه برای هر مشخصه خشکسالی به یک جمع‌بندی و نظری جامع دست یافت.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Standardized Precipitation Index (SPI)
- 2- Palmer Drought Severity Index (PDSI)
- 3- Effective Drought Index (EDI)
- 4- Reconnaissance Drought Index (RDI)
- 5- Percent of Normal
- 6- Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)
- 7- Aggregate Drought Index
- 8- Inverse Distance Weighting

۴- مراجع

Ahmadi M, Nosrati K and Salaki H (2013) Drought and its relationship with soil moisture (Case study: Isfahan KabotarAbad). Geography 11(38):77-91 (In Persian)

- Nosrati K, Mohseni Saravi M, and Shahbazi R (2014) Application and comparison of standardized precipitation and standardized precipitation evapotranspiration indices for evaluating meteorological drought condition of Tehran Province. *Desert Management* 3:77-90 (In Persian)
- Potop V (2011) The application a new drought index-standardized precipitation evapotranspiration index in the Czech Republic. *Mikroklima a Mezoklima Krajinných Struktur a Antropogenních Prostředí* 2(2010):4.2
- Quiring S (2009) Developing objective operational definitions for monitoring drought. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 48:1217-1229
- Rebetez M, Mayer H, Dupont O, Schindler D, Gartner K, Kropp JP and Menzel A (2006) Heat and drought 2003 in Europe: A climate synthesis. *Annals of Forest Science* 63:569-577
- Rossi G, Benedini M, Tsakiris G and Giakoumakis S (1992) On regional drought estimation and analysis. *Water Resources Management* 6:249-277
- Sebghati M, Ahmadi Birgani H, and Moghaddam A (2016) The calculation of continuity and intensity of droughts using modified SPEI index (Case study: Tabriz and Urmia Cities). *Environ. Water Eng.* 2(2):188-195 (In Persian)
- Ghabaei Soug M, Zare Abyaneh H, Mosaedi A (2017) Development of ADI, The Aggregate Drought Index, Based On Principle Component Analysis For Monitoring Agricultural Drought In Golestan Province, Iran. *Iran-Water Resources Research* 13(2):56-73 (In Persian)
- Singh VP (1998) Entropy-based parameter estimation in hydrology. Kluwer Academic Publishers, London, 367 p
- Smakhtin VU (2001) Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240:147-186
- Sorooshian S, Gupta VK and Fulton JL (1983) Evaluation of maximum likelihood parameter estimation techniques for conceptual rainfall-runoff models: Influence of calibration data variability and length on model credibility. *Water Resources Research* 19(1):251-259
- Torabi H and Bagheri FL (2010) Estimation of parameters for an extended generalized half logistic distribution based on complete and censored data. *Journal of the Iranian Statistical Society* 9(2):171-195
- Van Loon AF (2013) On the propagation of drought. How climate and catchment characteristics influence
- Kroll CN and Voge RM (2002) Probability distribution Of low stream flow series in the United states. *Journal of hydrologic Engineering* 7(2):137-146
- Kumar R and Chatterjee C (2005) Regional flood frequency analysis using L-moments for North Bahmaputra region of India. *Journal of Hydrologic Engineering* 10(1):1-7
- Landwehr JM, Matalas NC, and Wallis JR (1979) Probability-weighted moments compared with some traditional techniques in estimating Gumbel parameters and quantiles. *Water Resources Research* 15:1055-1064
- Mishra AK and Singh VP (2010) A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391(1-2):202-216
- Moradi Y, Said MABM and Abustan IB (2011) Drought impacts and vulnerability in Isfahan province. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 74(October):740-749, Available at: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79953277756&partnerID=40&md5=f864300f1caba375e7edab7b1632cd42>
- Mostafazadeh R and Zabihi M (2016) Comparison of SPI and SPEI indices to meteorological drought assessment using R programming (Case study: Kurdistan Province). *Journal of the Earth and Space Physics* 42(3):633-643 (In Persian)
- Nam WH, Hayes MJ, Wilhite DA, Tadesse T, Svoboda MD and Knutson CL. (2014) Drought management and policy based on risk assessment in the context of climate change. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 56(2):2-15 (In Korean)
- Natale L and Todini E (1974) A constrained parameter estimation technique for linear models in hydrology. Publication No. 13, Institute of Hydraulics, University of Pavia, Pavia, Italy
- Nazeri Tahrudi M, Khalili K, and Behmanesh J (2014) Evaluation of common statistical distribution functions and the calculation methods of their parameters for estimating the probability of hydrological drought events (Case study: west of Lake Urmia Basin Rivers). *Water and Soil Science-University of Tabriz* 25(3):155-168 (In Persian)
- Nguyen VT (2006) On regional estimation of floods for ungaged sites. *Asia Oceania Geosciences Society, McGill University, Singapore*
- Nicholls N (2004) The changing nature of Australian droughts. *Climatic Change* 63:323-336
- Nosrati K (2015) Assessment of Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) for drought identification in different climates of Iran. *Earth Sciences, Shahid Beheshti University* 12(4):63-74 (In Persian)

- Wilhite DA and Glantz MH (1985) Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water International* 10:111-120
- Wilhite DA, Svoboda MD, and Hayes MJ (2007) Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management* 21:763-774
- Wilhite DA, Svoboda MD, Hayes MJ (2007) Understanding the complex impacts of drought: a key to enhancing drought mitigation and preparedness. *Water Resources Management* 21:763-774
- Yousefi M, Ansari H, Mosaedi A, and Samadi SZ (2016) Evaluation of correlation between SPI, RDI, and SPEI indices and precipitation and evapotranspiration in some climate regions. In: 2nd National Congress on Iran's Irrigation and Drainage (IAIDM-2016), 23-25 August Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
- hydrological drought development and recovery. Ph.D thesis, Wageningen University
- Vicente-serrano SM (2006) Differences in spatial patterns of drought on different time scales : an analysis of the Iberian Peninsula. *Water Resources Management* 20:37-60
- Vicente-Serrano SM, Beguería S, and López-Moreno JI (2010) A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate* 23(7):1696-1718
- Wallis JR (1981) Risk and uncertainties in the evaluation of flood events for the design of hydraulic structures. In: Guggino E, Rossi G and Todini E (eds) *Piène e Siccità*. Catania, Italy: Fondazione Politecnica del Mediterraneo, 3-36
- Wallis JR (1982) Hydrologic problems associated with oilshale development. In: Rinaldi S (ed) *Environmental Systems and Management*. Amsterdam: North Holland Publishing Co. 85-102