

تحلیل تابع توزیع احتمال وقوع شدت و مدت به منظور پهنه بندی خشکسالی در ناحیه ایران مرکزی

• مسعود نصری

عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان (نویسنده مسئول)

• علی سرحدی

دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

• رضا مدرس

دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: دی ماه ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: آبان ماه ۱۳۸۹

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۳۳۱۵۹۳۸۸

Email: m_nasri@iauard.ac.ir

چکیده

بررسی احتمال وقوع شدت خشکسالی ها و مدت آن به عنوان یک تحلیل استوکاستیک از وقوع دوره های خشکسالی به شمار می آید. در این مطالعه این دو ویژگی خشکسالی به صورت توامان بر روی ۳۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در ایران مرکزی به منظور پهنه بندی خشکسالی مورد بررسی واقع گردید. در ابتدا به منظور تحلیل فراوانی منطقه ای شدت خشکسالی و دوره تداوم آن، از روش گشتاورهای خطی استفاده گردید. به طوری که نتایج نشان داد که هر چند منطقه ایران مرکزی به لحاظ توزیع جغرافیایی شدت خشکسالی ناهمگن می باشد اما دوره تداوم خشکسالی در این منطقه از همگنی مناسبی برخوردار می باشد. به منظور تحلیل فراوانی ۱۵ تابع توزیع فراوانی مورد استفاده قرار گرفت و بهترین تابع توزیع برای هر ایستگاه بر اساس حداقل مربعات خطا مشخص شد. تابع توزیع پیرسون III نیز بر اساس آماره ZDIST به عنوان بهترین تابع منطقه ای برای هر دو پارامتر انتخاب گردید. نتایج همچنین بیانگر این مطلب می باشد که پراکنش شدت خشکسالی در دوره بازگشت های پایین در ایران مرکزی تقریباً یکنواخت می باشد، اما در دوره برگشت های بالا، شدت خشکسالی در مناطق شرقی و جنوب غربی منطقه از شدت بالاتری برخوردار می باشد. و مناطق جنوب غربی منطقه بخصوص استان اصفهان به علت بالا بودن تداوم خشکسالی های شدید نیازمند مدیریت بحران و مدیریت منابع آب به منظور کاهش اثرات مخرب خشکسالی می باشد.

کلمات کلیدی: خشکسالی، شدت خشکسالی و دوره تداوم آن، تحلیل فراوانی، تابع توزیع پیرسون III، ایران مرکزی

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 91 pp:55-67

The analysis of intensity and duration probability distribution in order to drought zoning in Central Iran area

By: M. Nasri, Faculty of Islamic Azad University, Ardestan Branch, Ardestan, Iran, (Corresponding Author; Tel: +989133159388), A. Sarhadi Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Iran. and R. Modarres Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Iran.

Investigation of occurrence probability of drought characteristics (severity and duration) is considered as a stochastic analysis for drought zoning. This study combined these two features on 34 stations in central Iran for drought zoning. Firstly L-moment method was used to regional frequency analysis of drought severity and its duration. The results showed that although the study area based on drought severity is not homogenous, it's considered as a homogenous region according to drought duration. Then Pearson III distribution function was selected as the best regional function for both characteristics. Results also proved that drought severity in the lower return period is almost uniform in central Iran, but in high return period, this parameter in eastern and southwestern of central Iran is higher than other regions. Also West regions, especially in Isfahan region due to longer severe droughts need to a crisis management and water resources management in order to reduce the destructive effects of this natural event.

Keywords: Drought, Severity and duration of drought, Regional frequency analysis, Pearson III, Central Iran.

مقدمه

خشکسالی یکی از پدیده های مخرب طبیعی است که برآورد احتمال وقوع آن در سطح منطقه ای و مناطق فاقد آمار از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. کشور ما نیز به دلیل شرایط جغرافیایی و اقلیمی خاص، احتمال وقوع این پدیده در تمامی نقاط آن در شرایط مختلف وجود دارد. بنابراین آگاهی از احتمال وقوع یا ریسک خشکسالی به ویژه در مناطقی که آسیب پذیری بیشتری نسبت به خشکسالی دارند از اهمیت زیادی برخوردار است. خشکسالی دارای سه ویژگی مهم است که در اغلب مطالعات به آن ها پرداخته می شود که شامل شدت، مدت و فراوانی وقوع یا احتمال وقوع خشکسالی است. در اغلب مطالعات انجام شده، بررسی خشکسالی فقط به یکی از این ابعاد آن هم در مقیاس محلی و نقطه ای پرداخت شده است و معمولاً دوره برگشت خشکسالی در مقیاس ناحیه ای برآورد نشده است. تعیین مناطقی که به لحاظ ویژگی های خشکسالی به یکدیگر شبیه هستند نیز از مواردی است که در مورد خشکسالی ها انجام نشده است.

در چند دهه گذشته محققین و سازمان های مختلف مطالعات زیادی برای تحلیل احتمال وقوع خشکسالی های شدید انجام داده اند که هدف آنها تحلیل ریسک خشکسالی در مناطق مختلف بوده است (Bobee و Rasmussen, 1995). از آن جا که هدف این مطالعه بررسی خشکسالی هواشناسی است، از شاخص استاندارد بارندگی (McKee و همکاران، 1993) جهت تعریف پارامترهای مرتبط با خشکسالی استفاده می شود.

مطالعات بسیار زیادی در مورد خشکسالی هواشناسی با استفاده از شاخص SPI انجام شده است که می توان به مطالعه شونمز و همکاران (2005) اشاره نمود که با استفاده از شاخص SPI تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی در ترکیه را مورد بررسی قرار دادند و مناطق حساس به خشکسالی را تعیین کردند. Guttman (1992) و Hayes و همکاران (1999) شاخص استاندارد بارندگی را به عنوان یک شاخص مهم جهت تحلیل خشکسالی در آمریکا پیشنهاد کردند. Min و همکاران (2003) با استفاده از این شاخص

تغییرات مکانی و زمانی خشکسالی در کره بررسی کردند و فرکانس تغییرات خشکسالی را بین 5 تا 11 سال ارزیابی کردند. Bonaccorso و همکاران (2003) از شاخص SPI جهت تحلیل مکانی خشکسالی در منطقه سیسیل ایتالیا استفاده نمودند. Vangelis و Tsakiris (2004) با استفاده از شاخص SPI تغییرات مکانی خشکسالی را در شرق یونان بررسی کردند و نقشه های آن را با استفاده از مدل ارتفاعی بدست آوردند.

Shiau و Shen (2001) با استفاده از توابع توزیع فراوانی احتمال وقوع شدت و مدت خشکسالی در شمال تایوان بدست آوردند. Anagnostopoulou و همکاران (2003) با استفاده از شاخص SPI نقشه احتمال وقوع خشکسالی ها را در شمال غرب یونان بدست آوردند. همچنین Shiau (2006) تابع نمایی را برای تعیین دوره برگشت مدت خشکسالی و تابع گاما را برای تعیین دوره برگشت شدت خشکسالی بدست آمده از شاخص SPI معرفی کرد. از مطالعاتی که نیز در مورد خشکسالی هیدرولوژیک صورت گرفته می توان به مطالعه Modarres و Sarhadi (2009) اشاره نمود که با استفاده از یک شاخص جدید، دوره های خشک هیدرولوژیک حدی سالانه (AEHDSL)، ریسک و دوره برگشت خشکسالی های هیدرولوژیک را در حوزه هلیل رود در جنوب شرق ایران را مورد بررسی قرار دادند.

با وجود مطالعات زیادی که با استفاده از شاخص SPI در کشور به منظور بررسی روند و پایش خشکسالی انجام شده است (قطره سامانی؛ 1379، حسنی ها و صالحی؛ 1379؛ بذرافشان و همکاران؛ 1381 و سرحدی و همکاران؛ 1387)، تعداد مطالعات معدودی بر روی تحلیل و بررسی منطقه ای احتمال وقوع شدت خشکسالی و دوره تداوم خشکسالی به طور توأمان (دین پژوه و همکاران؛ 1380، رضیعی و همکاران؛ 1381، لشنی زند؛ 1382 و فتاحی و صداقت کردار؛ 1386) مورد بررسی قرار گرفته است. لذا تحلیل منطقه ای شدت و مدت خشکسالی در دوره برگشت های مختلف به منظور پهنه بندی خشکسالی و تعیین مناطق همگن به لحاظ این ویژگی ها در مناطق مرکزی ایران، هدف این تحقیق را تشکیل می دهد.

محاسبه پارامترهای شدت و مدت خشکسالی استفاده گردید. بطوری که بر اساس سری بارندگی در ایستگاه‌های مطالعاتی، سری زمانی شاخص استاندارد بارندگی در مقیاس زمانی ۳ ماهه به منظور بررسی و پیش بینی پارامترهای شدت و مدت خشکسالی استفاده گردید. بطوریکه بر اساس سری بارندگی، به منظور محاسبه SPI ابتدا تابع گاما به سری بارندگی برازش داده می شود.

تابع چگالی احتمال گاما به صورت زیر نوشته می شود (Edward و McKee، ۱۹۹۷)

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{for } X > 0 \quad (1)$$

در اینجا α و β به ترتیب پارامترهای شکل و مقیاس و τ تابع گاما است.

از آن جا که تابع گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است، برای سری های بارندگی که دارای مقادیر صفر هستند، تابع تجمعی زیر نوشته می شود:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (2)$$

در این رابطه q احتمال وقوع مقادیر صفر است. به منظور محاسبه شاخص SPI از دو رابطه زیر استفاده می شود:

$$0 < H(x) \leq 0.5 \quad (3)$$

مواد و روش ها

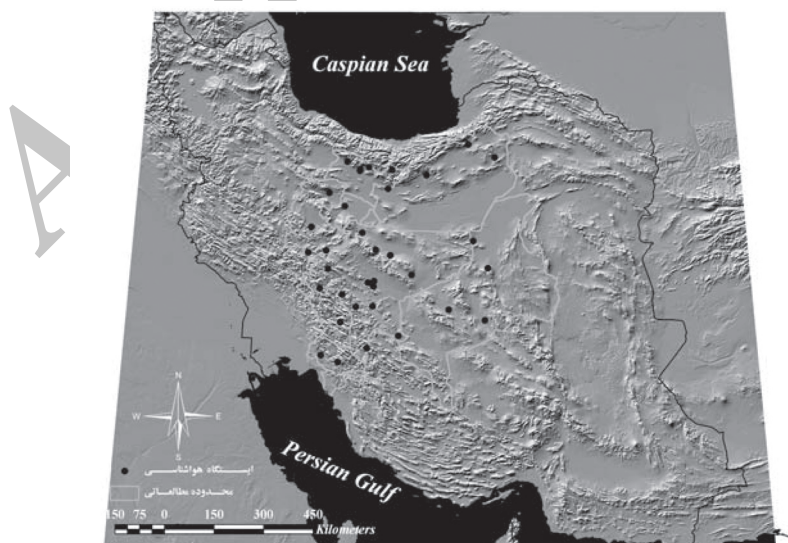
معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه ایرن مرکزی می باشد که محدوده ی وسیعی از مرکز ایران را می پوشاند و استان های مرکزی شامل: اصفهان، سمنان، یزد، مرکزی، قم، تهران، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال بختیاری را در بر می گیرد مساحت این منطقه حدود ۵۷۷۰۴۴۳۰ هکتار می باشد که معادل ۳۵/۵ درصد از وسعت کشور را به خود اختصاص داده و بین مختصات جغرافیایی ۳۹° ۴۸' تا ۱۸° ۵۸' طول شرقی ۱۰° ۲۹' تا ۳۷° ۱۲' عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱).

این منطقه بعلت وضعیت خاص جغرافیائی و قرار گرفتن در عرض جغرافیائی ۱۵ تا ۳۵ درجه به علت طبیعت خشک و تبخیر زیاد با محدودیت شدید منابع آبی روبرو است. با توجه به اینکه کلان شهرهای بسیاری در این محدوده از کشور قرار دارند و جمعیت بسیار زیادی را در خود جای داده است، لذا ضرورت انجام این مطالعه به منظور بررسی وضعیت شدت و مدت خشکسالی و تهیه نقشه های پهنه بندی خشکسالی در دوره بازگشت های مختلف به منظور مدیریت بهینه منابع آب در این بخش از کشور را توجیه می نماید. بدین منظور تعداد ۳۴ ایستگاه سینوپتیک موجود در ایران مرکزی جهت تحلیل فراوانی این ویژگی ها مورد مطالعه قرار گرفت.

روش مطالعه

از آنجا که شاخص استاندارد بارندگی (SPI) یک شاخص مناسب در مطالعه خشکسالی ها شناخته می شود (Guttman ۱۹۹۲؛ و Hayes و همکاران ۱۹۹۹)، از این شاخص در این مطالعه به عنوان مبنای تعریف و



شکل ۱- محدوده مطالعاتی و موقعیت ایستگاه های سینوپتیک مورد مطالعه

$$S = -\sum_{i=1}^j \text{SPI} \quad (13)$$

که در آن S شدت خشکسالی، و j نشان دهنده طول دوره خشکسالی می باشد.

با توجه به عدم برآزش مقادیر منفی به تعدادی از توابع توزیع آماری، در رابطه فوق از علامت منفی استفاده می شود. علامت منفی در معادله (13) باعث مثبت شدن مقادیر منفی SPI خواهد شد، بطوری که هر چقدر میزان S بیشتر باشد، نشان دهنده منفی تر بودن شاخص SPI و شدت بیشتر خشکسالی خواهد بود.

تحلیل فراوانی منطقه ای شدت و مدت خشکسالی

پس از محاسبه سری زمانی شدت خشکسالی و مدت آن، با استفاده از تحلیل فراوانی نقطه ای و منطقه ای احتمال وقوع یا دوره برگشت شدت و مدت خشکسالی برآورد می گردد. بطوری که در این مطالعه 15 تابع توزیع آماری به سری های شدت و مدت خشکسالی برآزش داده شد و از روش حداکثر درستنمایی به منظور برآورد پارامترهای مدل استفاده گردید. در ادامه بمنظور تعیین گروه های همگن جهت برآورد ناحیه ای شدت خشکسالی و دوره تداوم مشخص آن از روش ترسیم نمودار گشتاورهای خطی استفاده گردید.

گشتاورهای وزنی احتمال (گشتاورهای خطی)

گشتاورهای وزنی احتمال ($M_{p,r,s}$) که توسط Greenwood و همکاران (1979) ارائه گردید به صورت زیر است:

$$M_{p,r,s} = \int_0^1 [F]^p F^r (1-F)^s dF \quad (14)$$

که در آن F یک توزیع با تابع چگالی احتمال f(x) با k پارامتر است. معمولاً دو گشتاور زیر از بقیه گشتاورها کاربردی تر هستند (Rao و Hamed, 1997):

$$M_{1,s,s} = \alpha_s = \int_0^1 x(F)(1-F)^s dF \quad (15)$$

$$M_{1,r,0} = \beta_r = \int_0^1 x(F)F^r dF \quad (16)$$

که در آن p, r و s اعداد حقیقی هستند. وقتی که r و s مساوی صفر باشند و p عددی غیر منفی باشد، مشخص کننده گشتاور متداول مرتبه p حول مبدا است.

در این روابط α_s و β_r به صورت زیر نوشته می شوند:

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

$$0/5 < H(x) \leq 1/0 \quad (4)$$

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

برای محاسبه این روابط داریم:

$$0 < H(x) \leq 0/5 \quad (5)$$

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

$$0/5 < H(x) \leq 1/0 \quad (6)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1/0 - H(x))^2}\right)}$$

$$C_0 = 2/515517 \quad (7)$$

$$C_1 = 0/802853 \quad (8)$$

$$C_2 = 0/010328 \quad (9)$$

$$d_1 = 1/432788 \quad (10)$$

$$d = 0/189269 \quad (11)$$

$$d_3 = 0/001308 \quad (12)$$

پس از بدست آوردن سری زمانی شاخص SPI، شدت و مدت خشکسالی مورد محاسبه قرار می گیرد.

بر اساس مقادیر سری زمانی شاخص استاندارد بارش (SPI) دوره ای که مقادیر SPI دائماً منفی باشد و به مقدار -0/5 و یا کمتر از آن برسد، خشکسالی شروع و زمانی که مقادیر SPI مثبت شود، خشکسالی خاتمه می یابد. حال می توان بمنظور محاسبه شدت و بزرگی خشکسالی و طول تداوم آن از رابطه ذیل استفاده نمود:

(۱۷)

تعیین همگنی و ایستگاه‌های پرت با استفاده از ضریب ناچوری و همگنی Hosking و Wallis (۱۹۹۳) به منظور حذف ایستگاه‌های ناچور، آماره D را معرفی کرده اند که بر اساس تابع که در برگزیده نسبت گشتاورهای خطی برای ایستگاه I می باشد، استوار می باشد. اگر مقدار این آماره بزرگتر از ۳ باشد، آن ایستگاه نا همگن تشخیص داده شده و حذف می شود. آنها همچنین به منظور آزمون همگنی سه آماره H_1 ، H_2 و H_3 را ارائه کردند که اگر مقدار آنها کوچکتر از ۱ باشد، منطقه همگن، اگر بین ۱ و ۲ باشد منطقه تا حدودی همگن و اگر بزرگتر از ۲ باشد منطقه کاملاً غیر همگن است. گرچه در عمل و برای تصمیم گیری در مورد همگنی آماره اول کاربرد بیشتری داشته و قابلیت اعتماد آن بالاتر است. در صورت همگن نبودن پارامترهای خشکسالی، گروه بندی ایستگاه ها را با استفاده از آنالیز خوشه ای تا جایی ادامه می دهیم که تمامی گروه های بدست آمده همگن باشند. سپس با استفاده از آماره Hasking ZDIST Wallis (۱۹۹۳)، بهترین تابع توزیع منطقه ای شدت و مدت خشکسالی بدست می آید. سپس می توان با استفاده از این تابع در هر نقطه از منطقه همگن، دوره برگشت شدت خشکسالی و مدت آن را بدست آورد.

$$\alpha_s = \sum_{k=0}^s \binom{s}{k} (-1)^k \beta_k$$

(۱۸)

$$\beta_r = \sum_{k=0}^r \binom{r}{k} (-1)^k \alpha_k$$

Hosking (۱۹۹۰) گشتاورهای خطی λ_{r+1} را بر اساس α_s و β_r

به صورت زیر تعریف کرد:

$$\lambda_{r+1} = (-1)^r \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \alpha_k = \sum_{k=0}^r p_{r,k}^* \beta_k$$

که در آن

$$p_{r,k}^* = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k}$$

(۲۰)

نتایج

به منظور دست یابی به اهداف این مطالعه، در ابتدا آمار بارندگی ۳۴ ایستگاه سینوپتیک واقع در ایران مرکزی استخراج گردید و سپس سری زمانی شاخص بارندگی استاندارد (SPI) ۳ ماهه مربوط به هر یک از ایستگاه ها استخراج گردید. پس از آن با توجه به تعاریف صورت گرفته در رابطه با پارامترهای شدت خشکسالی و مدت آن، سری آماری این دو پارامتر از سری زمانی SPI استخراج گردید. بطوری که حداقل دوره آماری مربوط به ایستگاه فیروزکوه با ۱۳ دوره و ایستگاه اصفهان با ۸۴ دوره، دارای حداکثر دوره آماری شدت و مدت خشکسالی بودند.

همچنین ضریب همبستگی بین مشخصات آماری شدت و مدت خشکسالی و مختصات فیزیکی ایستگاه ها نیز نشان دهنده این نکته می باشد که ارتفاع و عرض جغرافیایی رابطه مستقیم با آماره های شدت خشکسالی دارا می باشند. اما مدت خشکسالی رابطه خاصی را با مشخصات مکانی ایستگاه ها نشان نمی دهد.

گشتاورهای خطی نمونه به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$a_s = \hat{\alpha}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (1 - P_{in})^s x_i$$

(۲۱)

$$b_r = \hat{\beta}_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{in}^r x_i$$

(۲۲)

که در آن موقعیت نقطه در کاغذ احتمال است. استفاده از کاغذ احتمالات یک روش بصری برای مقایسه تابع توزیع فراوانی جامعه و نمونه است. در این مطالعه از روش Hosking (۱۹۸۶) که به صورت نوشته می شود، استفاده گردید. نسبت گشتاورهای خطی که مبنای بصری انتخاب تابع توزیع نقطه ای و منطقه ای است به صورت زیر نوشته می شود:

$$\tau = \lambda_1 / \lambda_2$$

(۲۳)

$$\tau_r = \lambda_r / \lambda_2 \quad r \geq 3$$

(۲۴)

که در آن τ شاخص مکان، λ_1 شاخص مقیاس یا پراکنش (LCV)، شاخص چولگی (LCs) و λ_2 شاخص کشیدگی (LCK) هستند. نمودار نسبت گشتاورهای خطی روشی مناسب در تعیین همگنی نمونه محسوب می شود به طوری که Rao و Hamed (۱۹۹۷) در تعیین همگنی منطقه و آبش و سرانو و پورتوگوئز (۲۰۰۳) در تحلیل همگنی روزهای بدون بارش در اسپانیا از نمودار گشتاور خطی استفاده کردند. Stedinger و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که نمودارهای گشتاورهای خطی وسیله ای مناسب در مقایسه توابع توزیع نمونه و جامعه است. Vogel و Fennessay (۱۹۹۳) نیز برتری این نمودارها را بر گشتاورهای معمولی نشان دادند.

تحلیل روند و استقلال پارامترهای خشکسالی

به منظور بررسی روند مشاهدات مربوط به شدت خشکسالی و مدت آن از آزمون من-ویتنی استفاده گردید. نتایج نشان داد تمامی ایستگاه های مطالعاتی فاقد روند به لحاظ این دو ویژگی خشکسالی می باشند. آزمون استقلال سری زمانی شدت و مدت خشکسالی نیز با استفاده از ترسیم تابع خود همبستگی سری های مشاهداتی انجام گردید. در حالتی که ضریب خود همبستگی از حدود اطمینان ۹۵ درصد در تاخیر اول خارج باشد، فرض تصادفی بودن سری مشاهداتی رد می شود. به عبارت دیگر سری مشاهداتی فاقد استقلال است و به منظور تحلیل فراوانی بایستی مجموع سری های خارج شود. نتایج نشان داد که فرض استقلال سری های شدت خشکسالی و مدت آن در اکثر ایستگاه ها رد نمی شود. شکل ۲ و ۳ تابع خود همبستگی شدت خشکسالی و مدت آن را در ایستگاه اصفهان نشان می دهد.

برآورد مقادیر و نکوئی برازش

تحلیل فراوانی نقطه ای^۱ پارامترهای شدت خشکسالی و مدت آن در این مطالعه به صورت ایستگاه به ایستگاه و با استفاده از ۱۵ تابع توزیع مهم آماری انجام گردید. با توجه به اینکه امکان ارائه محاسبات تمام ایستگاه ها مقدور نیست، نتایج تحلیل فراوانی پارامترهای شدت و مدت خشکسالی تعدادی از ایستگاه ها در جداول ۱ و ۲ نشان داده شده است. جهت برآورد چندک های توزیع از روش حداکثر درستنمایی و جهت انتخاب بهترین توزیع در هر ایستگاه، از مجذور میانگین خطای مربعات^۲ استفاده گردید.

برای انتخاب بهترین توزیع در یک منطقه می توان توزیعی که در مجموع برازش بهتری نسبت به بقیه توزیع ها در منطقه نشان می دهد، را انتخاب کرد. روش های زیادی می تواند جهت آزمون توزیع ها مورد استفاده قرار گیرد. اما این روش ها نمی توانند به عنوان آزمون های کاملاً تفکیک کننده ی یک توزیع از سایر توزیع ها باشد. آزمون هایی که امروزه از آنها جهت انتخاب توزیع استفاده می شود، می توان به آزمون کای وسای، آزمون کلموگروف و اسمیرنوف، آزمون^۳ PPCC، آزمون ضریب خود همبستگی (به عنوان مثال توزیع نرمال و لوگ نرمال و پیرسون تیپ ۳)، معیار اطلاعات آکائیک، آزمون اندرسون- دارلینگ و منحنی گشتاورهای خطی اشاره کرد (Hasking و Wallis ۱۹۹۷، Walter و همکاران (۱۹۷۶) و Rao و همکاران (۲۰۰۰)).

تحلیل فراوانی منطقه ای شدت خشکسالی

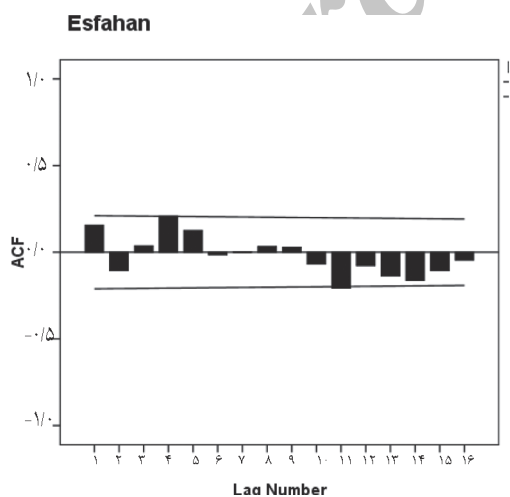
به منظور بررسی منطقه به لحاظ همگنی پارامترهای خشکسالی (شدت و مدت)، آماره های همگنی و ناجوری Hasking و Wallis (۱۹۹۳) در محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت.

در ابتدا گشتاورهای خطی پارامتر شدت خشکسالی استخراج گردید و پارامترهای H_i و D به منظور آگاهی از وجود ایستگاه ناجور در منطقه مورد محاسبه قرار گرفت. شکل های ۲ و ۳ نمودار گشتاورهای خطی را

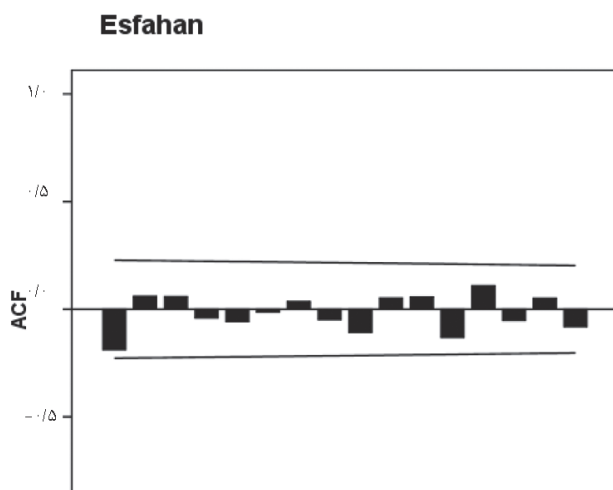
برای پارامتر شدت خشکسالی نشان می دهد.

همانگونه که مشخص می باشد نمودار گشتاورهای خطی بیانگر این واقعیت می باشد که تمامی ایستگاه های مطالعاتی از پراکندگی مناسبی اطراف میانگین گشتاورهای خطی برخوردار نمی باشند. به عبارت دیگر می توان اذعان نمود که منطقه کاملاً همگن نبوده و پارامتر شدت خشکسالی در محدوده مطالعاتی از یک تابع توزیع منطقه ای واحدی تبعیت نمی کند. اما با این وجود از آماره های ناجوری و همگنی جهت اطمینان از این مهم استفاده گردید. نتایج نشان داد که هر چند ایستگاه ناجوری در منطقه وجود ندارد و تمامی ایستگاه ها دارای مقدار آماره D پائین تر از ۳ می باشند، اما مقادیر آماره H با داشتن مقادیر $H_1 - 3/63$ ، $H_2 - 3/59$ و $H_3 - 3/19$ ؛ موید ناهمگن بودن شدت خشکسالی در منطقه مطالعاتی می باشد. در ادامه از آنالیز خوشه ای جهت رسیدن به مناطق همگن استفاده گردید. بطوری که از آماره های توصیفی و گشتاورهای خطی پارامتر شدت خشکسالی ایستگاه های مطالعاتی به عنوان ورودی این آنالیز استفاده گردید. در نهایت ۳ گروه، مجزا گردید و همگنی هر یک از این دسته ها مجدداً با استفاده از آماره های همگنی و ناجوری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

همانگونه که نتایج نشان می دهد گروه یک که ۱۷ ایستگاه را در خود جا داده است با آماره همگنی (H_1) برابر با ۱/۰۱- را می توان به عنوان به عنوان یک منطقه همگن پذیرفت و دو گروه باقیمانده نیز کاملاً همگن می باشند. شکل ۴ توزیع جغرافیایی هر یک از این ۳ گروه را در منطقه مطالعاتی نشان می دهد. پس از استخراج واحد های همگن شدت خشکسالی به عنوان واحد اصلی تحلیل فراوانی منطقه ای، از آماره Hasking ZDIST و Wallis (۱۹۹۳) با استفاده از فایل اجرایی برنامه FORTRAN جهت انتخاب بهترین توزیع منطقه ای استفاده گردید (جدول ۴). با توجه به اینکه مقدار ZDIST توزیع پیرسون نوع ۳ کمترین مقدار را دارا می باشد. بر خلاف اینکه اکثر ایستگاه ها در تحلیل فراوانی نقطه ای از توزیع لوگ نرمال ۳ پارامتری (LN^3) تبعیت می کنند، توزیع LPIII به عنوان



شکل ۳- تابع خود همبستگی شدت خشکسالی در ایستگاه اصفهان



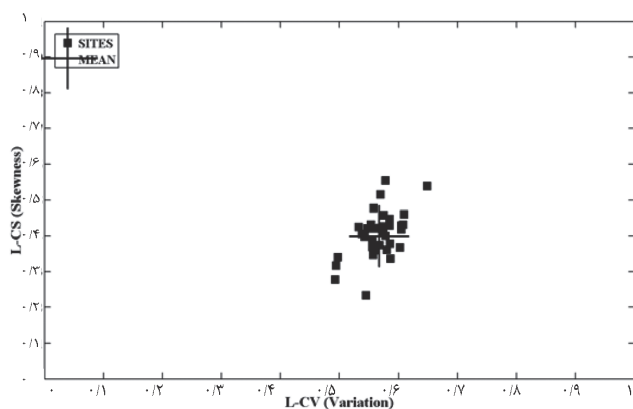
شکل ۴- تابع خود همبستگی مدت خشکسالی در ایستگاه اصفهان

جدول ۱- برآورد مقادیر شدت خشکسالی با دوره بازگشت های مختلف در ایستگاه های منتخب

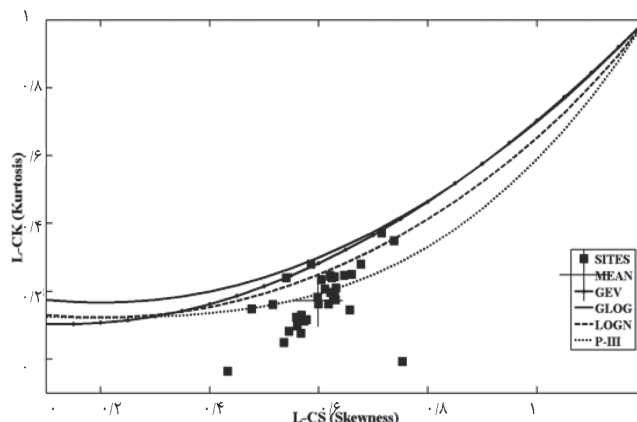
ایستگاه	یزد	سمنان	کرج	نائین	کوه‌رنگ	اصفهان	اردستان
	بهترین توزیع انتخاب شده						
دوره بازگشت(سال)	LN _۲	LN _۳	LN _۳	EXP	GAM	LN _۲	LN _۳
۲	۱/۳۴	۱/۴۶	۱/۷۲	۱/۴۵	۱/۷۴	۱/۱۱	۱/۴۴
۵	۳/۵۸	۴/۶۴	۵/۴۶	۳/۴۲	۳/۳۴	۳/۶۱	۳/۵۱
۱۰	۵/۹۵	۸/۴۸	۹/۹۸	۴/۹۲	۶/۳۴	۶/۶۷	۵/۴۸
۲۰	۹/۰۶	۱۳/۹۴	۱۶/۴۴	۶/۴۱	۸/۳۹	۱۱/۰۹	۷/۸۸
۵۰	۱۴/۵۴	۲۴/۴۸	۲۸/۸۱	۸/۳۹	۱۱/۱۸	۱۹/۶۴	۱۱/۸۱
۱۰۰	۱۹/۹۳	۳۵/۵۸	۴۱/۸۹	۹/۸۸	۱۳/۳۳	۲۸/۷۵	۱۵/۴۴

جدول ۲- برآورد مقادیر مدت خشکسالی با دوره بازگشت های مختلف در ایستگاه های منتخب

ایستگاه	یزد	سمنان	کرج	نائین	کوه‌رنگ	اصفهان	اردستان
	بهترین توزیع انتخاب شده						
دوره بازگشت(سال)	EV _۱	LN _۲	GAM	LN _۲	EV _۱	EV _۱	LN _۲
۲	۲/۴۸	۲/۹۳	۳/۶۵	۲/۳۳	۳/۰۲	۳/۱۲	۲/۴۹
۵	۴/۶۳	۵/۶۷	۶/۵۲	۴/۳	۵/۲۱	۵/۳۶	۴/۴۷
۱۰	۶/۴۴	۷/۹۹	۸/۴۸	۵/۹۳	۶/۶۵	۶/۸۴	۶/۹۲
۲۰	۸/۴۶	۱۰/۶۲	۱۰/۳۶	۷/۷۳	۸/۰۴	۸/۲۷	۹/۲۴
۵۰	۱۱/۴۹	۱۴/۶۱	۱۲/۷۹	۱۰/۴۲	۹/۸۴	۱۰/۱۱	۱۲/۸۱
۱۰۰	۱۴/۰۹	۱۸/۰۹	۱۴/۶۱	۱۲/۷۲	۱۱/۱۸	۱۱/۴۹	۱۵/۹۲



شکل ۵- نمودار گشتاور های خطی L-CV L-CS-
شدت خشکسالی ایستگاه های مطالعاتی



شکل ۴- نمودار گشتاور های خطی L-CS L-CK-
شدت خشکسالی ایستگاه های مطالعاتی

بهترین تابع توزیع منطقه ای شدت خشکسالی در هر سه ناحیه انتخاب می گردد. به منظور بررسی ضریب همبستگی مشخصات آماری شدت خشکسالی و مختصات فیزیکی ایستگاه ها، بار دیگر این رابطه در هر یک از گروه های همگن حاصل از گشتاورهای خطی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بر خلاف آنچه که بحث گردید، مبنی بر اینکه شدت خشکسالی کل منطقه ایران مرکزی رابطه مستقیم با عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه ها دارند، شدت خشکسالی در هر یک از گروه های همگن بدست آمده دارای رابطه مستقیم با طول جغرافیایی و رابطه معکوس با ارتفاع ایستگاه های این مناطق می باشند (جدول ۵). این موضوع دو نکته اساسی اشاره می کند: اول اینکه منطقه ایران مرکزی به لحاظ شدت خشکسالی همگن نبوده و پراکنش آن به صورت یکنواخت نمی باشد و دو اینکه هر چقدر به شرق ایران مرکزی و ارتفاعات پائین تر حرکت کنیم بر میزان شدت خشکسالی افزوده می شود.

تحلیل فراوانی منطقه ای مدت خشکسالی

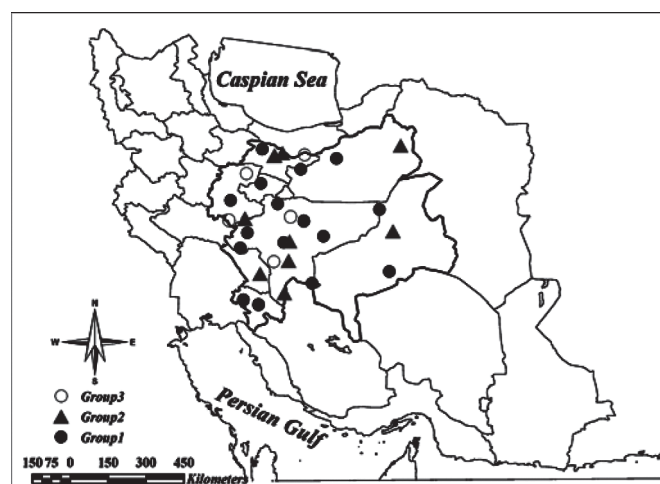
بکارگیری آماره های همگنی و ناچوری بر روی سری آماری پارامتر مدت خشکسالی نشان داد که ایستگاه ساوه تنها ایستگاه ناچور در منطقه از لحاظ مدت خشکسالی به شمار می رود و این ایستگاه از سری آماری حذف گردید. با حذف این ایستگاه نتایج نشان داد که منطقه مطالعاتی بر خلاف پارامتر شدت خشکسالی، به لحاظ مدت خشکسالی کاملاً همگن می باشد. بطوریکه همانگونه که در جدول ۶ آمده است میزان آماره $H_1 = 0.33$ بیانگر همگن بودن منطقه مطالعاتی به لحاظ مدت خشکسالی می باشد.

شکل های ۵ و ۶ نمودار گشتاورهای خطی مدت خشکسالی را برای ایستگاه های منطقه نشان می دهد. همان طور که در نمودار گشتاورهای خطی مشخص است این گشتاورها در اطراف میانگین دارای پراکنندگی مناسبی اند. که خود بیان کننده این مطلب است که این ایستگاه ها از یک توزیع واحد تبعیت می کنند.

به منظور انتخاب بهترین توزیع منطقه ای، آماره ZDIST برای ایستگاه های منطقه محاسبه گردید و بر این اساس توزیع پیرسون نوع ۳

جدول ۳- آماره های همگنی گروه های استخراج شده از آنالیز خوشه ای

ناحیه	تعداد ایستگاه	H_1	H_2	H_3
G ₁	۱۷	-۱/۰۱	-۱/۷۶	-۲/۷۳
G ₂	۱۰	۰/۸۹	۱/۸۱	-۱/۴۳
G ₃	۵	۰/۵۱	-۰/۸۸	-۱/۵



شکل ۶- توزیع جغرافیایی مناطق همگن پارامتر شدت خشکسالی در منطقه مطالعاتی

جدول ۵- ضریب همبستگی مشخصه‌های آماری شدت خشکسالی با مشخصات مکانی ایستگاه‌ها

مشخصات ایستگاه / شدت خشکسالی	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
عرض جغرافیایی	-۰/۰۵	-۰/۰۶۸	۰/۳۴۵	۰/۲۲۹	۰/۲۳۷	-۰/۴۴	-۰/۴۵۸
طول جغرافیایی	-۰/۹۶۱**	۰/۹۵**	۰/۸۵۷	۰/۳۰۱	۰/۳۰۱	-۰/۸۱۱	-۰/۸۱۵
ارتفاع	۰/۹۴۰*	۰/۷۷۵	۰/۷۷۵	۰/۵۸۶	۰/۵۸۹	-۰/۹۸**	-۰/۹۵۷*

**معنی داری در سطح ۹۵ درصد

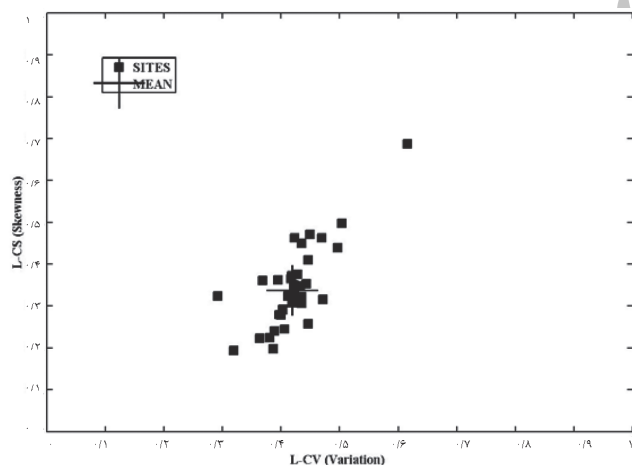
* معنی داری در سطح ۹۹ درصد

جدول ۶- آماره‌های همگنی سری آماری مدت خشکسالی منطقه مطالعاتی

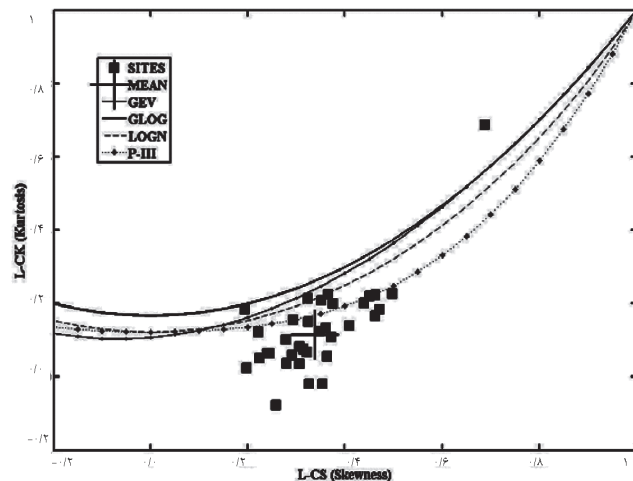
ناحیه	تعداد ایستگاه	H1	H2	H3
ایران مرکزی	۳۳	-۰/۳۳	-۱/۳۹	-۱/۳۳

**معنی داری در سطح ۹۵ درصد

* معنی داری در سطح ۹۹ درصد



شکل ۷- نمودار گشتاورهای خطی L-CS- L-CK L-CV مدت خشکسالی ایستگاه‌های مطالعاتی

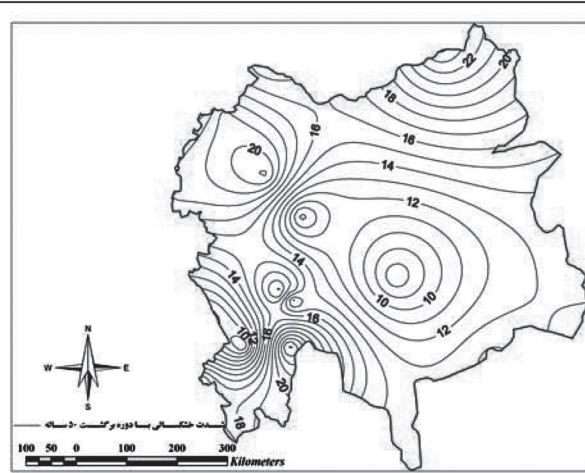
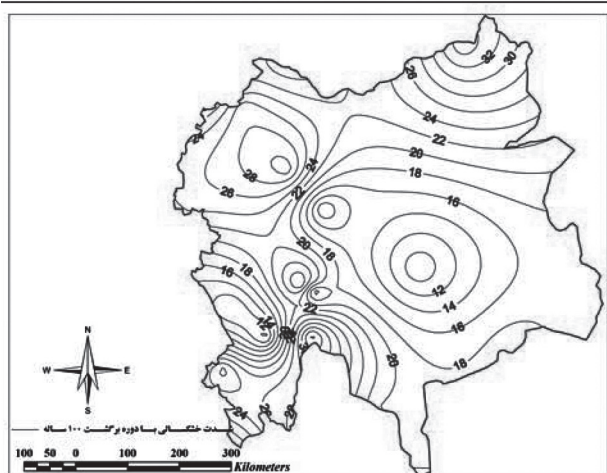
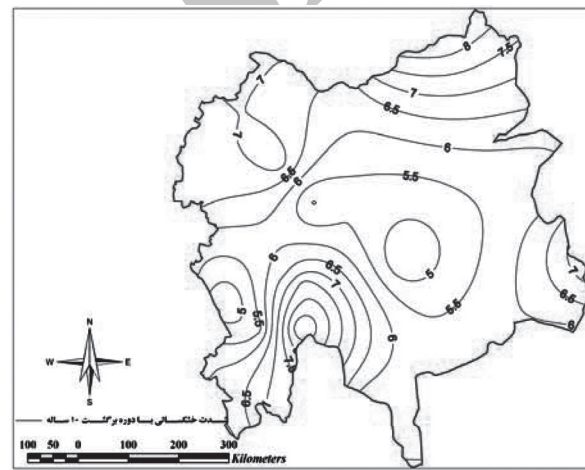
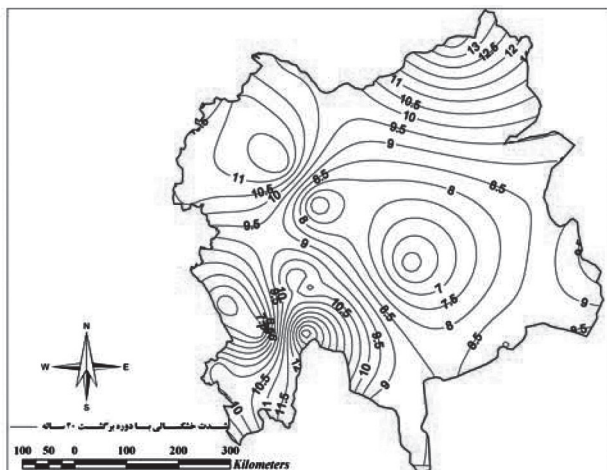
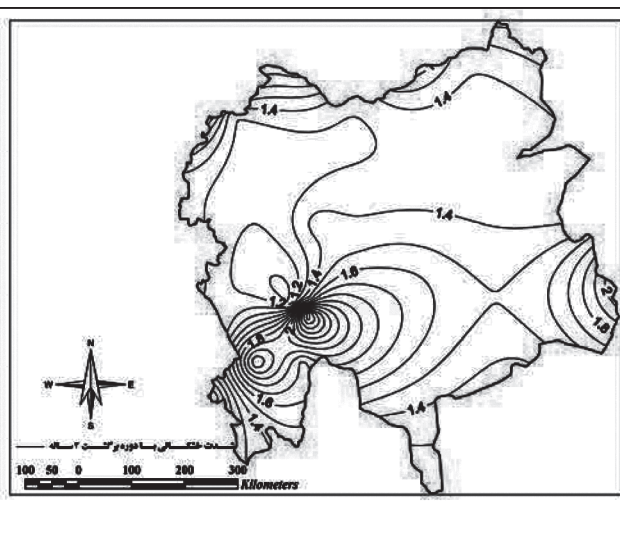
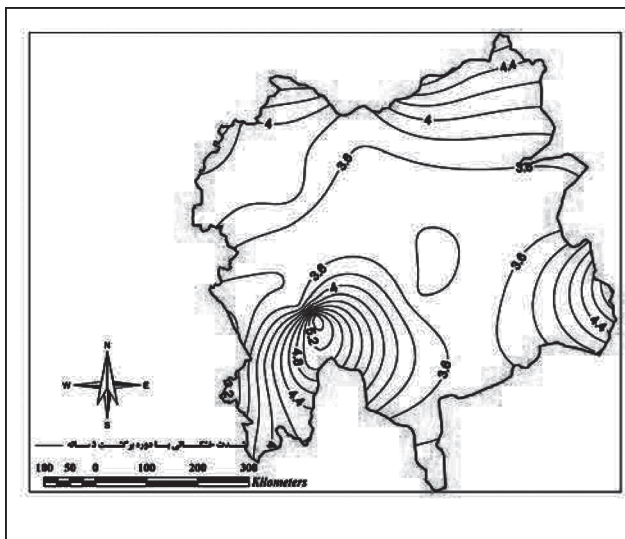


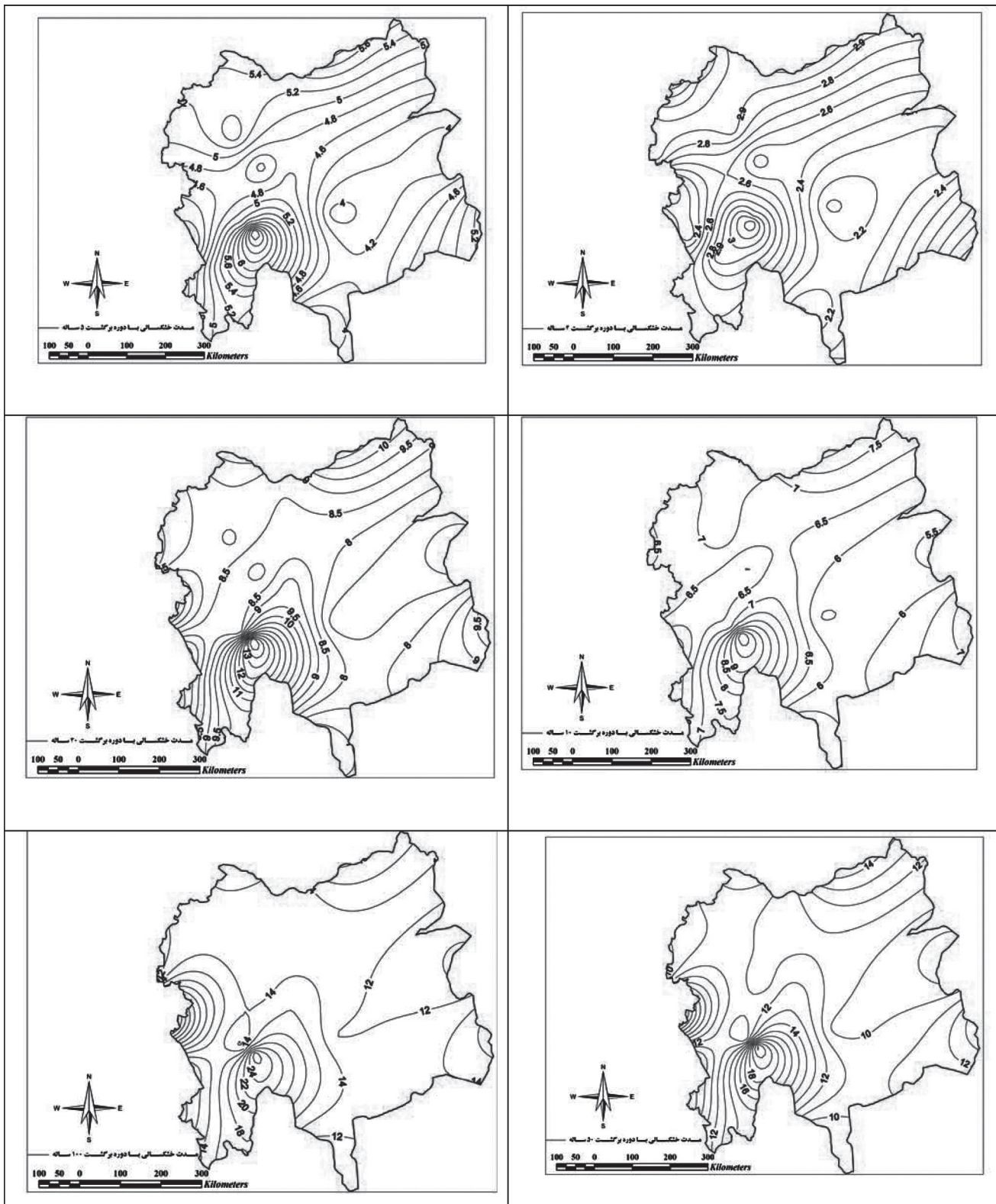
شکل ۸- نمودار گشتاورهای خطی L-CS- L-CV L-CK مدت خشکسالی ایستگاه‌های مطالعاتی

جدول ۷- آزمون نکوتی برازش آماره ZDIST به سری آماری شدت خشکسالی

تعداد ایستگاه	GLOG	GEV	LN3	P3	GPAR
۳۳	۴/۲۷	۲/۳۷	۳/۳۲	۱/۱۲*	۵/۶۱

* توزیع منطقه ای قابل قبول





به عنوان بهترین توزیع منطقه ای شناخته شد (جدول ۷). همان طور که در شکل ۶ مشخص است، میانگین گشتاورهای نمونه ها بر روی خط توزیع پیرسون ۳ قرار گرفته است. این موضوع نتایج Peel و همکاران (۲۰۰۱) که میانگین نمونه گشتاورهای خطی یک شاخص مناسب جهت انتخاب بهترین توزیع منطقه ای برای مناطق همگن است را تأیید می کند.

پهنه بندی و تحلیل ریسک شدت خشکسالی و مدت آن

پس از بررسی تحلیل فراوانی نقطه ای و منطقه ای پارامترهای خشکسالی، جهت پهنه بندی و آگاهی از دامنه تغییرات و چگونگی توزیع جغرافیایی پارامترهای شدت خشکسالی و مدت آن، از نرم افزار Surfer و روش متداول کریجینگ بعلت واریانس کم آن به منظور درون یابی این پارامترها در سطح منطقه استفاده گردید. بدین منظور از اطلاعات حاصل از توابع توزیع نقطه ای، مقدار شدت خشکسالی و مدت آن در دوره برگشت های مختلف که در مرحله قبل استخراج گردیده بود، استفاده گردید و نقشه پراکنش حاصل از این پارامترها استخراج گردید. شکل ۷ و ۸ نقشه پهنه بندی شده شدت خشکسالی و دوره تداوم آنرا در منطقه مطالعاتی در دوره برگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله را نشان می دهد.

بحث و نتیجه گیری

بررسی احتمال وقوع شدت خشکسالی ها و مدت آن، یک تحلیل استوکاستیک از وقوع دوره های خشکسالی است. با توجه به اینکه آگاهی از احتمال وقوع و ریسک ناشی از خشکسالی بخصوص در مناطق آسیب پذیر به منظور کاهش اثرات ناشی از این پدیده طبیعی از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد، اما در اکثر مطالعات تنها به یکی از ابعاد خشکسالی پرداخته می شود. در این مطالعه به منظور بررسی توامان دو پارامتر شدت خشکسالی و دوره تداوم خشکسالی های شدید، از سری زمانی شاخص استاندارد بارندگی ایستگاه های سینوپتیک در ایران مرکزی بدین منظور استفاده گردید. نتایج حاصل از بکارگیری گشتاورهای خطی بیانگر این مطلب بود که هر چند منطقه ایران مرکزی به لحاظ توزیع جغرافیایی شدت خشکسالی ناهمگن می باشد، اما دوره تداوم خشکسالی در این منطقه از همگنی مناسبی برخوردار می باشد. همچنین نتایج حاصل از تحلیل فراوانی بر روی سری آماری شدت خشکسالی و مدت آن در دوره برگشت های مختلف با استفاده از توابع توزیع مختلف انجام گرفت و تابع توزیع پیرسون (۳) به عنوان بهترین تابع توزیع برای برآورد هر دو پارامتر مورد مطالعه تعیین گردید. این در حالی است که مطالعات مختلف به توابع توزیع مختلف اشاره کرده اند که از جمله مهمترین آن ها می توان به توزیع گمبل اشاره کرد. این موضوع ممکن است به دلیل بالاتر بودن ضریب تغییرات شدت و مدت خشکسالی در ایران مرکزی نسبت به مناطق دیگر باشد. به عبارت دیگر توابع توزیع ۳ پارامتری، مانند پیرسون، نسبت به توابع دو پارامتری، مانند گمبل، حساسیت بیشتری داشته و برازش بهتری به سری هایی با ضریب تغییرات بالا دارند.

نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که پراکنش شدت خشکسالی در دوره بازگشت های پایین در ایران مرکزی تقریباً یکنواخت می باشد،

اما در دوره برگشت های بالا، خشکسالی در استان های سمنان، تهران، قم، کهگیلویه و بویراحمد، و قسمت های جنوبی استان اصفهان از شدت بالاتری برخوردار می باشد. بطوریکه به عنوان مثال شدت خشکسالی در استان سمنان دو برابر استان یزد و شرق اصفهان می باشد. اما از لحاظ تداوم شدت خشکسالی، این پارامتر تقریباً در تمام محدوده مطالعاتی به جز مرکز و جنوب غرب استان اصفهان، از پراکنش یکنواختی برخوردار می باشد. نتایج بیانگر این مطلب می باشد که هر چند به منظور کاهش اثرات ناشی از این پدیده طبیعی، پایش خشکسالی در مناطق با شدت بالای خشکسالی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد، اما با توجه به اینکه نه تنها احتمال وقوع خشکسالی های با شدت بالا در محدوده جنوب و جنوب غرب استان اصفهان (که شهر پر جمعیت اصفهان و مناطق اطراف آنرا نیز در بر می گیرد) وجود دارد، بلکه تداوم آنها نیز در این منطقه بیشتر از سایر نقاط می باشد. بنابراین به منظور کاهش اثرات مخرب خشکسالی و مدیریت منابع آب در این منطقه، مدیریت بحران مشکل تر بوده و نیاز به امکانات بیشتری دارد.

تقدیر و تشکر

نگارندگان بدینوسیله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردستان، در اجرای طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تحت عنوان تحلیل تابع توزیع احتمال وقوع شدت و مدت به منظور پیش بینی و پهنه بندی خشکسالی در ناحیه ایران مرکزی و مطالعه حاضر تشکر و قدردانی می نمایند.

پاورقی ها

- 1- At-Site frequency analysis
- 2- Root mean squar error
- 3- Probability plot correlation coefficient
- 4- Regional frequency Analysis
- 5- Cluster Analysis

منابع مورد استفاده

- ۱- بذرافشان، ج و ع، خلیلی، (۱۳۸۱) مطالعه تطبیقی برخی شاخص های خشکسالی هواشناسی در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
- ۲- حسنی ها، ح. و ز. صالحی، (۱۳۷۹) بررسی وضعیت خشکسالی بر اساس تعدادی از شاخص های آماری در استان زنجان. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم آبی و خشکسالی، کرمان، اسفند ماه ۱۳۷۹، جلد اول، ص: ۱۷-۲۷.
- ۳- دین پژوهی، فاخری فرد، ا. مقدم، م. میرنیا، م. و جهانبخش، س. (۱۳۸۰) بررسی روند بارش ایران با تکیه بر مشخصه های خشکسالی متئورولوژیکی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، جلد دوم، ۴۸۳-۴۶۹.
- ۴- رضینی، طیب، شکوهی، ع. ثقفیان، ب. دانش کارآراسته، پ. دانشور، ش. (۱۳۸۱) استخراج منحنی های شدت مدت فراوانی و نقشه های همشدت خشکسالی، مجموعه مقالات بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، زابل، ص ۱۴۱-۱۲۵.

- 18- Hosking, J. R. M., and Wallis, J.R., (1993) Some statistical useful in regional frequency analysis. *Water Resources Research*, 29, PP. 271-281.
- 19- McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., (1993) *The relationship of drought frequency and duration to time steps*, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, January 17–22 Anaheim, California, pp. 179–184.
- 20- Min, S. K., Kwon, W. T. Park E. H. and Choi, Y. (2003) Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia. *Int. J. Climatology*, 23: 223–233.
- 21- Modarres R., A. Sarhadi, (2009) *Frequency distribution of extreme hydrologic drought of Southwestern Iran*, Journal of Hydrologic Engineering (ASCE), doi: 10.1061/ (ASCE) HE.1943-5584.0000186.
- 22- Peel, M. C., Wang, Q, J., Vogel, R. M., McMahon, T. A., (2001) The utility of Lmoment ratio diagrams for selecting a regional probability distribution. *Hydrological Sciences Journal*, 46 (1), 147-155.
- 23- Rao, A. R., Hamed, K. H. (1997) Regional frequency analysis of Wabash river flood data by L-moments, *Journal of Hydrologic Engineering*, 2 (4): 169-179.
- 24- Rao, A. Ramachandra and Khaled Hamed, H. (2000) *Flood Frequency Analysis*, CRC Press LLC, Boca Raton, FL.
- 25- Shiau, J. T., (2006) Fitting drought duration and severity with two-dimensional copulas, *Water Resources Management*, 20, 795-815.
- 26- Shiau, J. T., Shen, and Shen, H. W. (2001) Recurrence analysis of hydrologic droughts of differing severity. *Journal of hydrologic engineering*, 127, 30-40.
- 27- Stedinger, J. R., and Lu, L. H. (1995) Appraisal of regional and index flood quintile estimators, *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, (9) 49-75.
- 28- Tsakiris, G. and Vangelis, H. (2004) Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI. *Water Resources Management* 18: 1–12.
- 29- Vogel, R. M., Fennessey, N. M., (1993) L-moment diagram should replace product moment diagram. *Water Resources Research*. 29 (6), 1745-1752.
- 30- Walter, C., Boughton, Asce, M. (1976) Flood estimation from short records, *Journal of the Hydraulics Division*. Vol: 102, no: HY3, PP.241-253.
- ۵- سرحدی ع، سلطانی، س. مدرس، ر. (۱۳۸۷) " تحلیل گستره خشکسالی در استان اصفهان بر اساس شاخص های خشکسالی"، مجله منابع طبیعی ایران، دانشکده منابع طبیعی، دوره ۶، شماره ۳، صفحه ۵۵۵ تا ۵۷۰.
- ۶- فتاحی ا.، صداقت کردار ع.، (۱۳۸۶) تحلیل منحنیهای شدت - مدت و فراوانی خشکسالی مطالعه موردی؛ ایستگاه های برگزیده جنوب غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۹، ص ۷۷-۹۰.
- ۷- قطره سامانی، س.، (۱۳۷۹) بررسی روند خشکسالی در استان چهارمحال بختیاری. مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مقابله با کم آبی و خشکسالی، کرمان، اسفند ماه ۱۳۷۹، جلد اول، ص: ۳۶-۴۳.
- ۸- لشنی زند م.، (۱۳۸۲) بررسی شدت، تداوم و فراوانی خشکسالی های اقلیمی. سومین کنفرانس منطقه ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- 9- Anagnostopoulou, C. Maheras, P. Karacostas, T. and Vafiadis, M. (2003) Spatial and temporal analysis of dry spells in Greece. *Theoretical and applied climatology*, 74, 77-91.
- 10- Bobee, B., Rasmussen, P. (1995) *Recent advances in flood frequency analysis*, US national report of IUGG, 191-1994.
- 11- Bonaccorso, B., Bordi, I., Cancelliere, A., Rossi, G., Sutera, A., (2003) Spatial variability of drought: an analysis of the SPI in Sicily. *Water Resources Management* 17, 273–296.
- 12- Edward, D.C., & Mckee, T.B., (1997) *Characteristics of 20th century drought in the United States and multiple time scales*, Climatology Report 97_2, Dept. of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- 13- Greenwood, J. A., Landwehr, J. M., Matalas, N. C., Wallis, J. R., (1979) Probanility weighted moments: Definition and relation to parameters of several distributions expressible in inverse form. *Water Resources Research*, 15 (5), 1049-1054.
- 14- Guttman, N. B., Wallis, J. R., Hosking, J. R. M., (1992) Spatial comparability of the Palmer Drought Severity Index. *Water Resources Bulletin*, 28, 1111-1119.
- 15- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A., and Vanyarkho, O. V., (1999) Monitoring the 1999 drought using the standardized precipitation index. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80, 429– 438.
- 16- Hosking, J. R. M., (1986) *The theory of probability weighted moments*. Res. Rep. RC 12210, IBM Research Division, Yorktown Heights, NY. 10598.
- 17- Hosking, J. R. M., and Wallis. J. R. (1997) *Regional Frequency Analysis An Approach Based on L-Moment*. Cambridge University.

