

بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی در استان اصفهان

محمد رضا یزدانی^۱، کارشناس ارشد، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

ستار چاوشی، مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

مرتضی خداحلی، استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

بهرام ثقفیان، استاد پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۰۵/۲۵

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۰۱/۲۰

چکیده

با توجه به این که بخش وسیعی از استان اصفهان در ناحیه خشک مرکزی ایران قرار دارد، مستعد وقوع خشک‌سالی است. لذا انجام مطالعات و تحقیقات مناسب به منظور پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. روش‌های متعددی برای تعریف خشک‌سالی با استفاده از شاخص‌های گوناگون ارائه شده است. در این تحقیق خشک-سالی‌های هواشناسی با استفاده از سری‌های بارندگی سالانه و سطوح آستانه متفاوت (۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۹۵ درصد) مورد بررسی قرار گرفت. برای این بررسی از داده‌های بارش ۸۵ ایستگاه در استان اصفهان و مناطق مجاور آن در یک دوره ۳۲ ساله (۱۳۴۶-۱۳۷۷) استفاده شد. با استفاده از روش‌های میان‌یابی شامل کریجینگ، کوکریجینگ، عکس مجذور فاصله و TPSS، سطوح آستانه میان‌یابی شدند و خطای مربوط به هر روش محاسبه شد. روش کوکریجینگ دارای کم‌ترین خطا و روش TPSS دارای بیش‌ترین خطا در بین روش‌های منتخب بود. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار ILWIS نقشه‌های گستره خشک‌سالی در سطوح آستانه متفاوت با مناسب‌ترین روش تهیه شد. با توجه به نتایج به دست آمده در دوره آماری منتخب، در حدود نیمی از بارش‌ها در سطح آستانه ۳۰ درصد بوده است. از طرفی در حدود ۲۸ درصد وقایع بارش مربوط به سطوح آستانه ۸۰ درصد است که نشان دهنده وقوع خشک‌سالی‌ها با شدت زیاد در منطقه مورد مطالعه بوده است. بیش‌ترین فراوانی وقوع سطوح آستانه در محدوده مورد مطالعه، به ترتیب ۳۰، ۸۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۹۰، ۷۰ و ۹۵ درصد است. نتایج بیان‌گر این است که روش سطوح آستانه راه‌کار مناسبی در بررسی خشک‌سالی هواشناسی در منطقه مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: میان‌یابی، سطوح آستانه، شاخص خشک‌سالی، کریجینگ، کوکریجینگ

مقدمه

خشک‌سالی از جمله بلاهای طبیعی است که به تناوب خسارت‌های زیادی را به کشاورزی، منابع طبیعی و منابع آب وارد می‌کند. در بیش‌تر موارد با تشدید وقوع خشک‌سالی هواشناسی، خشک‌سالی هیدرولوژیک پدید می‌آید (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲ و رضیئی و ثقفیان، ۱۳۸۳). خشک‌سالی پدیده‌ای است که به صورت طبیعی و هنگامی که میزان بارندگی به مراتب کم‌تر از سطح تعریف شده باشد، اتفاق می‌افتد و اثر منفی بر سامانه‌های منابع آب می‌گذارد (خلدبرین، ۱۳۸۳). چرای نامناسب، کاربری نامناسب اراضی و قطع جنگل‌ها ممکن است خشک‌سالی به وجود نیارد اما تکرار مصیبت‌های ناشی از خشک‌سالی را افزایش می‌دهد (لشنی زند، ۱۳۸۲؛ UN Mission Report, ۲۰۰۰). پدیده‌های النینو ولانینو نیز بر وقوع خشک‌سالی موثرند (Kripalani و Kulkarani, ۱۹۹۸). به دلیل عواملی که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در خشک‌سالی دخالت دارند، تعریف این پدیده مشکل است و هر محقق با توجه به موقعیت جغرافیایی تعریف ویژه‌ای از آن داشته است. تاکنون معیار طبقه‌بندی شده مورد قبول برای تعریف این پدیده، ارائه نشده است (Ahmad و همکاران، ۲۰۰۴، Saunders و Hughes, ۲۰۰۲ و International Strategy for disaster reduction, ۲۰۰۳). طبق تعریف فرهنگ هواشناسی (انجمن هواشناسی

¹ m_khodagholi@yahoo.com

آمریکا، ۲۰۰۰) خشک‌سالی به معنای دوره‌ای از خشکی غیر عادی است که به‌قدر کافی طولانی مدت بوده، سبب برهم‌زدن بیلان هیدرولوژیکی شود (Henz و همکاران، ۲۰۰۴). اما در هر صورت ویژگی‌های خشک‌سالی از قبیل شدت، مدت و بزرگی خشک‌سالی از محلی به محل دیگر متفاوت است (Palmer و Holmes، ۱۹۸۸).

تعاریف گوناگون خشک‌سالی هواشناسی عمدتاً مربوط به میزان بارش است و زمانی حادث می‌شود که میزان بارندگی سالانه کم‌تر از میانگین دراز مدت آن باشد (حجاری‌زاده و فتاحی، ۱۳۸۲، رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲ و Hayes، ۱۹۹۰) و یا هنگامی که بارش سالانه ۷۵ درصد از میانگین بارش و یا بارندگی ماهانه ۶۰ درصد میانگین بارش ماهانه باشد. از نظر Arms (۱۹۹۰) خشک‌سالی پدیده‌ای است که هر چند سال یک‌بار در نتیجه کاهش میزان بارندگی در نقاط مختلف جهان به وقوع می‌پیوندد. Miller معتقد است که کاهش بارندگی و افزایش دما هر کدام به تنهایی یا با هم‌دیگر می‌توانند باعث وقوع خشک‌سالی شوند (لشنی زند، ۱۳۸۲). فرج‌زاده (۱۳۷۴) در پایان‌نامه دوره دکتری خود ضمن بیان روش‌های مختلف مطالعه خشک‌سالی، ویژگی‌های مکانی و زمانی رخداد‌های خشک‌سالی در ایران را بررسی نمود. وی نتیجه گرفت که به‌طورکلی هیچ منطقه‌ای از کشور، از این پدیده در امان نبوده، به نسبت موقعیت طبیعی خود، تأثیرات این پدیده مخرب را تجربه می‌نماید. همچنین بخش‌های جنوبی، شرقی و مرکزی کشور به علت نوسانات بیش‌تر در مقادیر بارندگی از آسیب‌پذیری برخوردار هستند.

بعضی از دانشمندان از معیار انحراف از میانگین به‌منظور ارزیابی خشک‌سالی استفاده نموده‌اند. مقادیر آستانه مشخص (به‌صورت درصد یا صدک) می‌تواند برای بررسی وقایع خشک‌سالی استفاده شود که به‌روش سطوح آستانه معروف است (Tallaksen و Hisdal، ۲۰۰۰). هدف از انجام این پژوهش بررسی وقوع خشک‌سالی هواشناسی و تعیین گستره پهنه‌های دچار خشک‌سالی بر اساس سطوح آستانه است. استان اصفهان با توجه به وضعیت بارش و موقعیت جغرافیایی آن در ناحیه خشک مرکزی ایران مستعد وقوع خشک‌سالی است. با وقوع خشک‌سالی، آسیب‌های اقتصادی و اجتماعی زیادی به این منطقه وارد می‌شود. این مسئله در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به بحران منابع آب می‌شود که پیامد آن بحران‌های اقتصادی-اجتماعی خواهد بود. بارزترین نتیجه وقوع خشک‌سالی در منطقه مورد تحقیق، توسعه و گسترش بیابان‌ها و کویرزایی است.

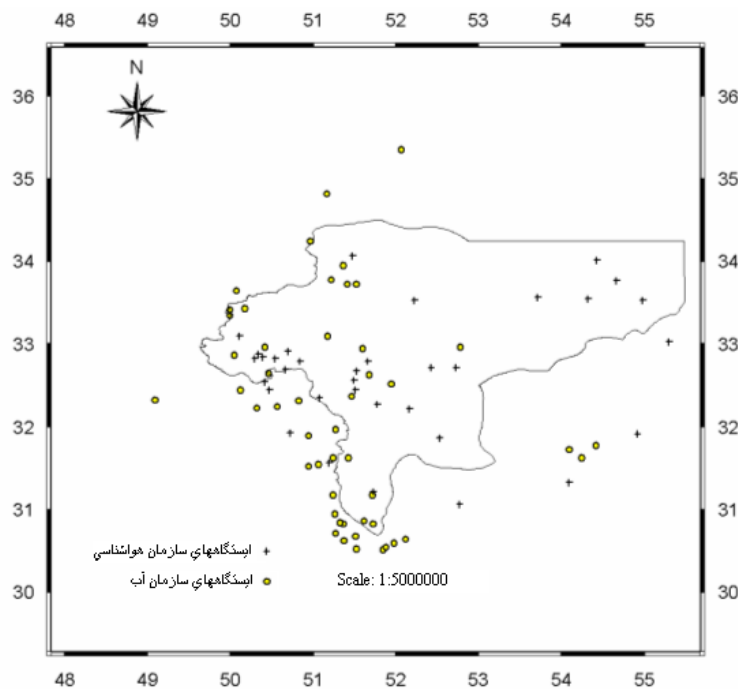
مواد و روش‌ها

منطقه مورد تحقیق: منطقه مورد مطالعه استان اصفهان است که با مساحتی بالغ بر ۱۰۵۲۶۳ کیلومتر مربع بین عرض‌های ۲۶'۳۱" تا ۳۰'۳۴" شمالی و طول ۳۰' ۴۹" تا ۵۰'۵۵" شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. این استان در مرکز فلات ایران شامل بخش‌های متعدد کوهستانی و جلگه‌ای بوده، از لحاظ اقلیمی متنوع است. با توجه به تقسیم‌بندی کوپن، عمده منطقه مورد تحقیق جزء مناطق خشک و سرد است (کریمی، ۱۳۶۶). متوسط بارش سالانه آن در حدود ۱۷۰ میلی‌متر است و ضریب تغییرات بارش بالاست. منشاء عمده بارندگی حوضه زاینده رود جریان‌های هوای مرطوبی است که به همراه فشارهای مهاجر از سمت مدیترانه، خلیج فارس و اطلس شمالی و دریای سیاه به منطقه می‌رسند. به‌طوری‌که از سمت غرب منطقه مورد مطالعه به طرف شرق میزان بارش کاسته می‌شود.

روش تحقیق

در انجام این بررسی از ۸۵ ایستگاه متعلق به سازمان هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای در یک دوره مشترک زمانی ۳۲ ساله (۱۳۴۶-۱۳۷۷) استفاده شده است. برای رعایت اصول میان‌یابی، علاوه بر ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه از ایستگاه‌های باران‌سنج مجاور منطقه مورد مطالعه نیز استفاده شد. در ابتدا برای کنترل هم‌گنی آمار بارش سالانه از روش آزمون توالی (ران‌تست) استفاده و بدین‌طریق از هم‌گن بودن داده اطمینان حاصل شد. پس از تعیین دوره مشترک زمانی (۳۲ساله) برای بازسازی نواقص آماری (حداکثر ۱۰سال) از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها استفاده شد

و آمار ایستگاه ناقص ایستگاه‌های براساس آمار ایستگاه دارای بالاترین ضریب همبستگی تکمیل شد (مهدوی، ۱۳۷۸). در شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های استفاده شده در منطقه استان اصفهان

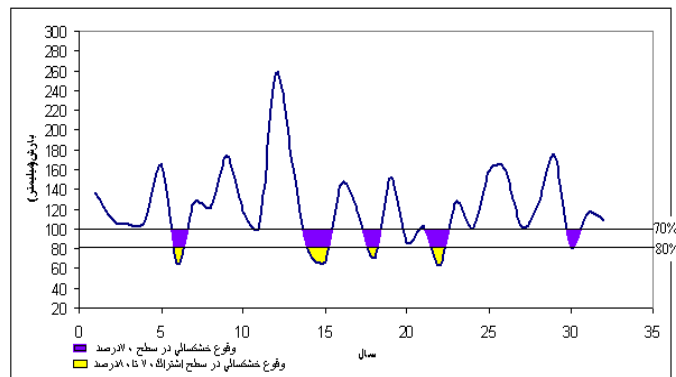
سطح آستانه: ابتدا روشی برای تشخیص و تعریف خشک‌سالی و ارزیابی شدت سطوح مختلف آن مشخص شد. تعریف خشک‌سالی بر پایه یک متغیر تصادفی واحد مستلزم انتخاب یک سطح بحرانی است. یک رخداد خشک‌سالی بر پایه یک متغیر تصادفی وقتی حادث می‌شود که مقدار متغیر تصادفی از سطح بحرانی مورد نظر برای آن متغیر کم‌تر باشد. این حد بحرانی می‌تواند ثابت یا متغیر باشد (Gamma Design Software, ۲۰۰۰). در این تحقیق برای ارزیابی خشک‌سالی‌های بارش از روش سطوح آستانه استفاده شد. میزان سطح آستانه با مرتب نمودن اطلاعات به صورت صعودی مشخص می‌شود. برای هر ایستگاه، سطح تعیین X درصد میزانی است مطابق با λ م وضعیت اطلاعات مرتب شده با طول N که به صورت زیر است (Chang و Kleopa, ۱۹۹۱; Chang و همکاران, ۱۹۹۶)

$$i = \frac{(100-x)}{100} \times N \quad (1)$$

با استفاده از سطوح آستانه متفاوت مطابق با سری‌های زمانی بارندگی می‌توان وقایع خشک‌سالی را تعیین کرد. **احتمال شرطی:** با استفاده از احتمال شرطی می‌توان احتمال وقوع خشک‌سالی از یک سطح به سطح بالاتر از لحاظ شدت را بررسی نمود. بنابراین می‌توان احتمال شرطی وقوع خشک‌سالی‌های آتی را در ارزیابی سالانه شدت خشک‌سالی مبتنی بر شرایط موجود تعیین کرد. این احتمال شرطی به صورت زیر تعریف می‌شود.

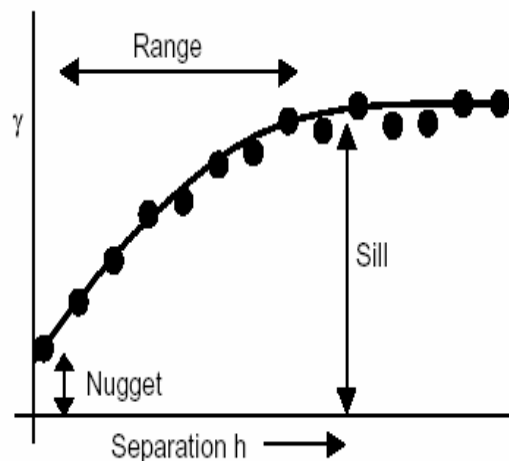
$$p(A/B) = \frac{N(A \cap B)}{N(B)} \quad (2)$$

که در آن، $N(A \cap B)$ تعداد وقایع خشک‌سالی از سطح شدت پائین‌تر B که تا سطح شدت بالاتر خشک‌سالی A ادامه می‌یابد. $N(B)$: تعداد وقایع خشک‌سالی که در سطح آستانه B پدید می‌آید. بنابراین $p(A/B)$ احتمال شرطی است که یک واقعه خشک‌سالی از سطح B به سطح بالاتر خشکی یعنی A می‌رسد (Chang و Kleopa, ۱۹۹۱; Chang و همکاران, ۱۹۹۶). در شکل ۲ احتمال شرطی $P(80/70)$ برای ایستگاه پل خواجو ارائه شده است.



شکل ۲- احتمال شرطی P(80/70) در ایستگاه پل خواجه

روش‌های میان‌یابی: پس از تعیین سطوح آستانه لازم است که توزیع نقطه‌ای شدت خشک‌سالی به صورت منطقه‌ای توزیع شود. برای انجام این کار از روش‌های میان‌یابی به‌ویژه روش‌های زمین‌آمار به‌دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها استفاده شد. در علم زمین‌آمار می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم، مقدار همان کمیت در نقطه‌ای با مختصات معلوم دیگر را تخمین زد. برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر از تغییرنا یا واریوگرام استفاده می‌شود و در زمین‌آمار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سه عامل مهم که از تغییرنا گرفته می‌شود عبارتند از اثر قطعه‌ای^۱، سقف^۲ و دامنه موثر^۳. در شکل ۳ نمونه‌ای از یک تغییرنا ارائه شده است.



شکل ۳- نمونه‌ای از یک تغییرنا

روش کریجینگ براساس میانگین متحرک وزن دار بوده و می‌توان آن را بهترین تخمین گر ناریب خواند. معادله کلی روش‌های میان‌یابی به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (3)$$

که در آن: $Z^*(x_i)$ مقدار تخمینی متغیر در موقعیت x_i ، λ_i وزن یا اهمیت نمونه i ام، n تعداد مشاهدات و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر است.

¹ Nugget

² Sill

³ Range

شرط استفاده از این روش این است که متغیر Z دارای توزیع نرمال باشد. در غیر این صورت باید از روش کربجینگ غیر خطی استفاده نمود و یا این که به نحوی توزیع متغیر را به توزیع نرمال تبدیل کرد (مدنی، ۱۳۷۷). همان طور که در آمار کلاسیک روش‌های چند متغیره وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان به روش کوکربجینگ و بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف، مقادیر یک پارامتر را تخمین زد (حسنی‌پاک، ۱۳۷۷).

$$Z^*(x_i) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i + \sum_{i=1}^n k_i y_i \quad (4)$$

که در آن، $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده برای نقطه x_i ، λ_i وزن مربوط به نمونه i ام، k_i وزن مربوط به متغیر کمکی y_i ، Z_i مقدار مشاهده شده متغیر اصلی و Y_i مقدار مشاهده شده متغیر کمکی است. روش TPSS¹ نوعی اسپلاین است و آن عبارت است از یک صفحه نازک قابل ارتجاع که از نقاط داده با جهش‌های عمودی عبور می‌کند. تابع کلی TPSS برای بهترین تطابق منحنی با نقاط باید کمینه شود.

$$\frac{\sum_{i=1}^n y_i - F(x_i / y_i)^2}{n\hat{\sigma}^2} + \phi \int F''(x)^2 dx = \min \quad (5)$$

که در آن، y_i مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر، $F(x_i, y_i)$ مقدار تابع در نقاط مشاهده شده، n تعداد داده‌ها، $\hat{\sigma}^2$ واریانس داده‌ها، $F''(x)$ مشتق دوم تابع F ، ϕ پارامتر پیرایش که عدد مثبتی است (لشنی زند، ۱۳۸۲؛ رحیمی بندرآبادی، ۱۳۷۹؛ Hutchinson، ۱۹۸۹).

روش فاصله وزنی معکوس^۲ چنین فرض می‌کند که هر نقطه اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) یک اثر محلی دارد که با افزایش فاصله این اثر کاسته می‌شود. بدین ترتیب نقاط نزدیک‌تر وزن بیش‌تری به خود می‌گیرند. رابطه آن مشابه رابطه (۳) است با این تفاوت که λ_i مربوط به فاصله است و با افزایش فاصله این مقدار کاهش می‌یابد (Gamma Design Software، ۲۰۰۰).

انتخاب مناسب‌ترین روش میان‌یابی: برای ارزیابی میزان دقت و خطا و انتخاب بهترین روش در این تحقیق از دو معیار دقت (MAE) و انحراف (MBE) استفاده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z^*(x_i) - Z(x_i) \quad (6)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (7)$$

که در آن‌ها، $Z^*(x_i)$ مقدار برآورد شده متغیر x_i ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر x_i ، n تعداد متغیر مشاهده شده، MAE میانگین مطلق خطا و MBE میانگین خطای انحراف است. مناسب‌ترین روش دارای کم‌ترین مقدار MBE و MAE است.

برای تبدیل سطوح آستانه مختلف به صورت منطقه‌ای، از روش‌های میان‌یابی استفاده شد. بدین منظور از نرم افزار GS⁺ 5.5 برای محاسبات مربوط به روش‌های کربجینگ، کوکربجینگ (با پارامتر کمکی ارتفاع) و عکس فاصله وزنی (Gamma Design Software، ۲۰۰۰) و از برنامه A nuspline برای TPSS استفاده شده است که به‌وسیله Hutchinson (۱۹۸۹) ارائه شده و مبتنی بر تحقیقات Wahba (۱۹۹۰) است.

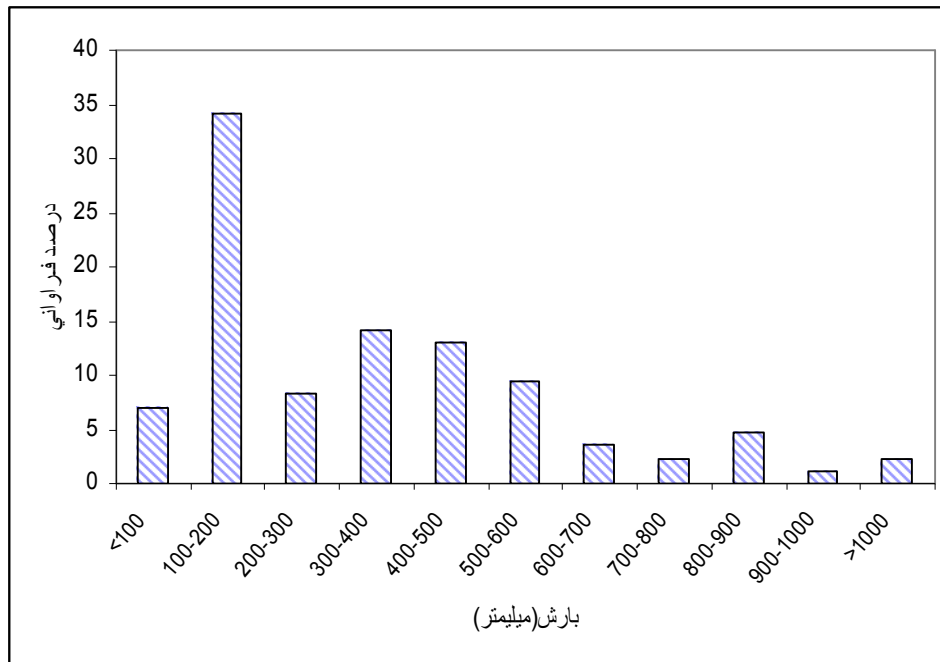
نتایج و بحث

پس از تکمیل و تصحیح داده‌ها، آمار هر ایستگاه به صورت صعودی مرتب شد و با استفاده از رابطه (۱) میزان سطح آستانه برای سطوح مختلف، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۹۵ درصد محاسبه شد. سپس بر اساس سطح آستانه، نوع سطح بحران برای هر سال و هر ایستگاه تعیین و در هر سال این مقدار برای کلیه ایستگاه‌ها (به صورت نقطه‌ای)

¹ Thin Plate Smoothing Splines

² Inverse Distance Weighted

محاسبه شد و بیشترین فراوانی به عنوان سطح آستانه خشک‌سالی در آن سال مد نظر قرار گرفت. در شکل ۴ توزیع فراوانی بارش‌های میانگین سالانه ایستگاه‌ها آورده شده است. کم‌ترین مقدار بارندگی سالانه مربوط به ایستگاه‌های شرق استان از جمله ایستگاه وزنه (بارش سالانه حدود ۷۰ میلی‌متر) و بیشترین بارش سالانه مربوط به ایستگاه کوه‌رنگ است. در جدول ۱ بیشترین و کم‌ترین فراوانی سطوح آستانه در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه ارائه شده‌اند.



شکل ۴- توزیع فراوانی بارش‌های میانگین سالانه در ایستگاه‌های منتخب

در مرحله بعد با استفاده از رابطه (۲)، میزان احتمال شرطی $P(90/80)$ و $P(95/90)$ برای کلیه ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد. در جدول ۲ این مقادیر ارائه شده‌اند.

با توجه به عدم تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، داده‌ها در این راستا تبدیل شدند. بررسی داده‌ها بیان‌گر وجود ناهمسان‌گردی از نوع هندسی است. با استفاده از تحلیل واریوگرافی، مناسب‌ترین مدل واریوگرام تعیین شده که عمدتاً مدل کروی بهترین تطابق را داشت. در روش کوگریجینگ، واریوگرام متقابل بارش و ارتفاع با ساختاری ضعیف‌تر از مدل گوسی تبعیت می‌نمود. در شکل‌های ۵ و ۶ واریوگرام‌های تجربی برای دو سطح ۵۰ و ۸۰ درصد ارائه شده است. برای هر سطح آستانه، روش‌های مذکور محاسبه و میزان خطا برای هر روش نیز مورد محاسبه قرار گرفت. در روش‌های TPSS از توان‌های ۲ تا ۵ و در روش IDW از توان‌های ۱ تا ۵ استفاده شد. در مرحله بعد مناسب‌ترین روش براساس کم‌ترین خطا مشخص شد (جدول ۳).

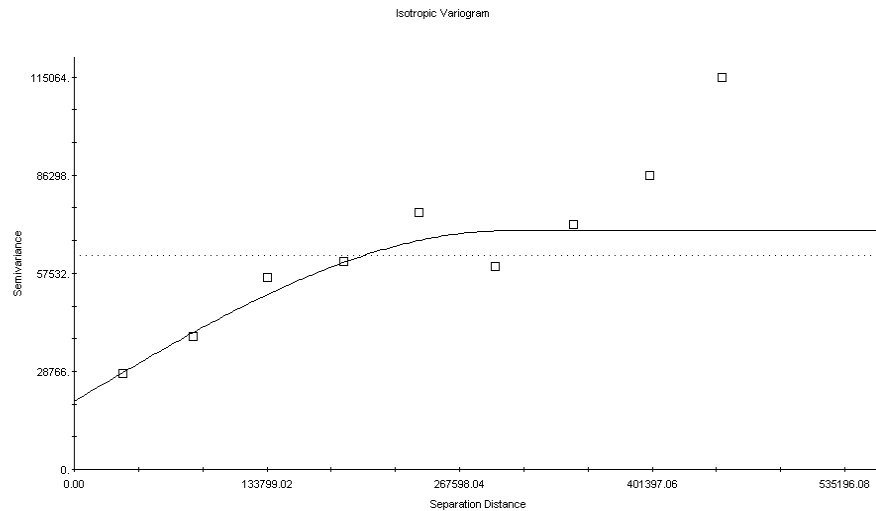
با استفاده از نرم افزار ILWIS و قابلیت میان‌یابی آن، بر اساس پارامترهای به‌دست آمده (سقف، دامنه تاثیر و اثر قطعه‌ای) و روش دارای کم‌ترین خطا، میان‌یابی انجام گرفت. با توجه به این‌که نقشه سطح آستانه ترسیم شده فراتر از مرز استان اصفهان است، از نقشه رقومی اصفهان استفاده شد و مقادیر آستانه تعریف شده برای استان اصفهان به‌دست آمد. شکل‌های ۷ و ۸ مقادیر بارش در استان اصفهان را برای سطوح آستانه ۵۰ و ۸۰ درصد نشان می‌دهد. در ادامه متوسط بارش برای هر سطح آستانه محاسبه شد، سپس با توجه به وسعت استان اصفهان، حجم بارش مورد انتظار در آن سطح آستانه نیز محاسبه شد (جدول ۴).

جدول ۱- بالاترین و پایین‌ترین فراوانی سطوح آستانه در ایستگاه‌های منطقه مورد تحقیق

سال	کم‌ترین سطح بحران	بیش‌ترین سطح بحران	سال	کم‌ترین سطح بحران	بیش‌ترین سطح بحران
۴۶-۴۷	۹۵	۵۰	۶۲-۶۳	۹۵	۸۰
۴۷-۴۸	۹۵	۳۰	۶۳-۶۴	۵۰	۹۰
۴۸-۴۹	۴۰	۸۰	۶۴-۶۵	۸۰	۳۰
۴۹-۵۰	۳۰	۸۰	۶۵-۶۶	۹۵	۳۰
۵۰-۵۱	۸۰	۳۰	۶۶-۶۷	۹۰	۳۰
۵۱-۵۲	۵۰	۹۰	۶۷-۶۸	۳۰	۸۰
۵۲-۵۳	۹۰	۶۰	۶۸-۶۹	۹۵	۵۰
۵۳-۵۴	۹۵	۳۰	۶۹-۷۰	۳۰	۵۰
۵۴-۵۵	۶۰	۳۰	۷۰-۷۱	۸۰	۳۰
۵۵-۵۶	۴۰	۸۰	۷۱-۷۲	۶۰	۳۰
۵۶-۵۷	۵۰	۳۰	۷۲-۷۳	۳۰	۹۰
۵۷-۵۸	۹۰	۳۰	۷۳-۷۴	۹۰	۳۰
۵۸-۵۹	۹۵	۳۰	۷۴-۷۵	۷۰	۳۰
۵۹-۶۰	۹۵	۷۰	۷۵-۷۶	۵۰	۹۰
۶۰-۶۱	۹۵	۷۰	۷۶-۷۷	۹۰	۳۰
۶۱-۶۲	۹۰	۳۰	۷۷-۷۸	۴۰	۳۰

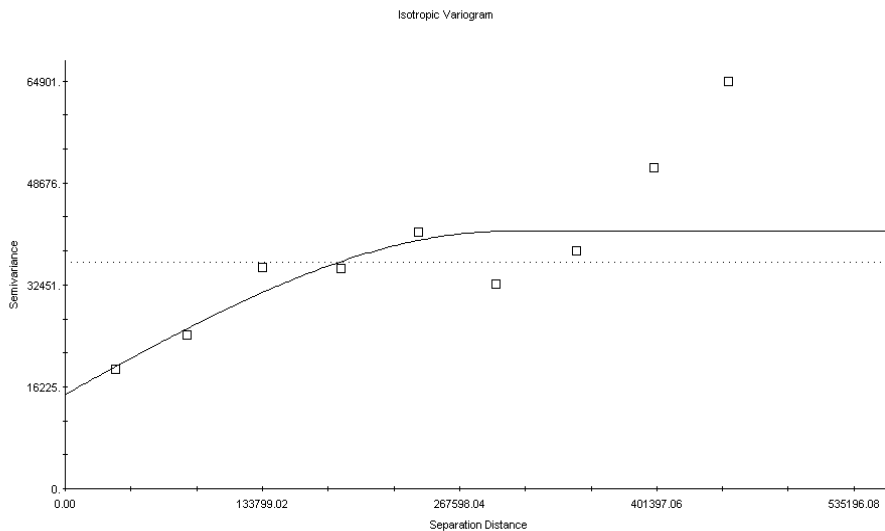
جدول ۲- مقادیر احتمال شرطی برای ایستگاه‌های منتخب

P(95/90)	P(90/80)	ایستگاه
۰/۶۶	۰/۷	پل خواجو
۰/۳۳	۰/۶۲	زیاربران
۰/۵	۰/۵۵	تنگ زردآلو
۰/۳۳	۰/۶۲	فارسان
۰/۵	۰/۵۵	پیراشگفت
۰/۳۳	۰/۳۳	ده شیخ
۰/۴	۰/۳۷	جعفرآباد(اصفهان)
۰/۴	۰/۲۸	بروجن
۰/۳۳	۰/۲۵	دهکده شهید
۰/۵	۰/۴۲	خمینی شهر
۰/۵	۰/۵۵	کرد علیا
۰/۴	۰/۵	ناغان
۰/۴	۰/۵	یان چشمه
۰/۴	۰/۴۴	سایر ایستگاه‌ها



Spherical model ($C_0 = 20000.0000$; $C_0 + C = 70000.0000$; $A_0 = 300000.00$; $r_2 = 0.657$;

شکل ۵- مدل وریوگرام منتخب در سطح آستانه ۵۰ درصد در محدوده مورد تحقیق



Spherical model ($C_0 = 15000.0000$; $C_0 + C = 41000.0000$; $A_0 = 300000.00$; $r_2 = 0.555$;

شکل ۶- مدل وریوگرام منتخب در سطح آستانه ۸۰ درصد در محدوده مورد تحقیق

با توجه به شکل ۲، میزان بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب دارای نوسانات زیادی بوده است و طبقه بارش ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر دارای بیش‌ترین توزیع فراوانی در ایستگاه‌های منتخب است. در سال آبی ۱۳۵۱-۱۳۵۰ بیش‌ترین درصد سطح آستانه که در ایستگاه‌های منتخب ثبت شده مربوط به سطح بحرانی ۳۰ درصد است. درحالی‌که در سال آبی بعد (۱۳۵۱-۱۳۵۲)، بیشینه این مقدار مربوط به سطح آستانه ۹۰ درصد است. براین اساس سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۱ سال پرآبی بوده است. شدیدترین خشک‌سالی رخ داده مربوط به سال آبی ۱۳۶۴-۱۳۶۳ است. همچنین دامنه تغییرات حول بارش میانه (سطح آستانه ۵۰ درصد) زیاد بوده است. در دوره آماری منتخب، در حدود نیمی از بارش‌ها در سطح آستانه ۳۰ درصد بوده است. از طرفی در حدود ۲۸ درصد از میزان بارش‌ها در دوره آماری مورد بررسی در سطح آستانه ۸۰ درصد است که نشان‌دهنده وقوع خشک‌سالی‌ها با شدت زیاد در منطقه مورد تحقیق است. بیش‌ترین فراوانی سطح آستانه در این رده به ترتیب عبارت است از ۳۰، ۸۰، ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۷۰، ۹۰ و ۹۵ درصد با توجه به نتایج احتمال شرطی در هر یک از ایستگاه‌های منتخب (جدول ۲)، با افزایش شدت آستانه، احتمال وقوع خشک‌سالی کاهش

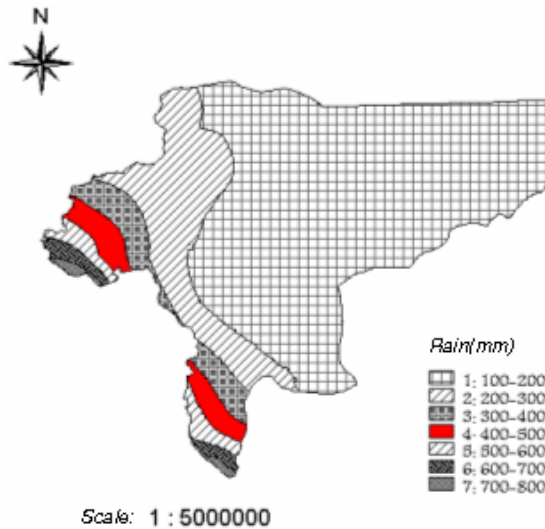
می‌یابد. البته این احتمال شرطی تعیین شده مبتنی بر داده‌های موجود است. اما از نظر احتمالی قابل تغییر است. با توجه به این که این احتمال شرطی مبتنی بر وقایع خشک‌سالی رخ داده در طول یک دوره آماری مشخص است و این دوره برای کلیه ایستگاه‌ها برابر است، این میزان احتمال به صورت یک‌سان خواهد بود. بنابراین احتمال وقوع خشک‌سالی در سطح شدت بالاتر به جز در چند ایستگاه در تمام منطقه مورد تحقیق کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد دوره آماری منتخب تاثیر زیادی بر این احتمال شرطی دارد.

جدول ۳- میزان خطا در روش‌های میان‌یابی استفاده شده

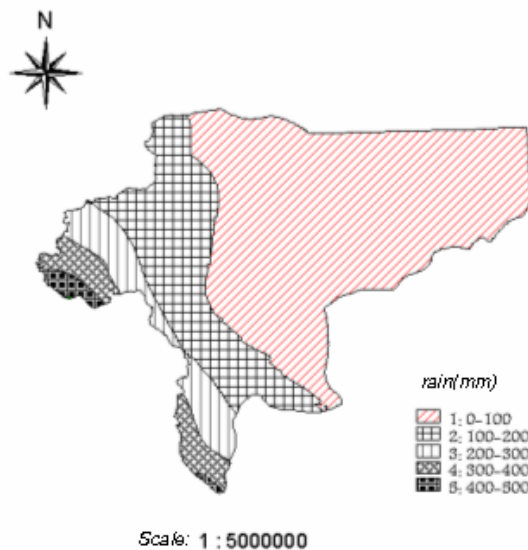
روش	سطح آستانه		۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۹۵
IDW	۱	MAE	۱۰۳	۹۴/۳	۸۷/۳	۸۱/۲	۸۰/۲	۶۶/۶	۶۲/۶	۶۳
		MBE	۱۰	۷/۳	۸/۵	۸/۷	۸/۸	۷/۱	۷/۶	۸/۳
	۲	MAE	۹۷/۶	۹۰/۴	۸۷/۱	۸۱/۷	۷۹/۲	۶۷/۴	۹/۶۱	۶۳
		MBE	۸	۶/۲	۸/۲	۸/۳	۹/۱	۷/۶	۷/۷	۸/۱
	۳	MAE	۹۷/۹	۹۱/۴	۸۹/۱	۸۳/۴	۸۰/۵	۶۸/۹	۶۲/۷	۶۳/۶
		MBE	۸/۳	۶/۹	۹/۴	۹/۳	۱۰/۳	۸/۹	۸/۵	۸/۶
	۴	MAE	۹۸	۹۲/۸	۹۱	۸۵/۲	۸۲/۱	۷۰/۵	۶۳/۵	۶۴/۵
		MBE	۹/۲	۸	۱۰/۶	۱۰/۵	۱۱/۵	۱۰/۱	۹/۳	۹/۳
	۵	MAE	۹۸/۴	۹۴/۷	۹۲/۶	۸۶/۷	۸۳/۶	۷۲	۶۴/۷	۶۵/۶
		MBE	۱۰/۳	۹/۴	۱۱/۷	۱۱/۷	۱۲/۶	۱۱/۳	۱۰	۹/۹
TPSS	۲	MAE	۱۰۲	۹۳/۳	۸۹/۸	۱۹۹	۸۳/۷	۷۴/۴	۶۶/۵	۶۶/۷
		MBE	۴۲/۲	۳۷/۶	۳۸/۶	۳۷/۵	۴۰/۱	۳۳/۵	۳۵/۲	۳۶/۸
	۳	MAE	۱۱۹/۱	۱۰۷/۲	۱۰۵/۴	۲۰۷/۴	۹۹/۸	۸۶/۹	۸۱/۷	۸۲/۷
		MBE	۵۹	۵۲/۶	۵۲/۶	۵۱/۸	۵۴/۲	۴۵/۱	۴۷	۴۸/۹
	۴	MAE	۱۴۴/۸	۱۳۰/۱	۱۲۹	۲۱۸/۱	۱۲۲/۸	۱۰۷/۲	۱۰۰	۱۰۱/۶
		MBE	۷۹/۴	۷۰/۸	۷۲/۲	۶۹/۸	۷۲	۶۰/۸	۶۱/۴	۶۳/۳
	۵	MAE	--	۱۵۳/۸	۱۶۱/۶	۲۵/۵	۱۵۹/۸	۱۷۳	--	۱۰۷/۸
		MBE	--	۱۱۳/۷	۹۰/۲	۹۰/۸	۹۳	۱۳۲/۳	--	۸۰/۹
	Kriging	MAE	۹۵/۳۷	۸۳/۳۵	۸/۶۵	۷۷/۶۱	۷۸/۰۴	۶۴/۲۵	۶۰/۰۹	۵۹/۹۳
		MBE	-۱/۰۴	-۲/۴۹	-۰/۳۸	-۰/۶۲	-۱/۰۴	-۰/۸۹	-۱/۰۶	-۱/۴۵
CoKriging	MAE	۹۳/۲۱	۸۱/۲	۷۶/۳۹	۷۱/۴۹	۷۲/۱۹	۶۵/۶۴	۵۵/۶۲	۵۶/۵۶	
	MBE	-۵/۰۲	-۵/۰۸	-۴/۴۹	-۴/۶	-۵/۵۳	-۴/۹۹	-۴/۶۵	-۴/۹	

با توجه به این که عمدتاً خشک‌سالی به صورت منطقه‌ای رخ می‌دهد می‌توان از سطوح آستانه برای بررسی تاثیر وقوع خشک‌سالی بر وضعیت منابع آب استفاده نمود، لذا پس از محاسبه سطوح آستانه برای هر ایستگاه، با استفاده از روش‌های میان‌یابی این مقادیر براساس بهترین روش که دارای کم‌ترین خطا باشد، میان‌یابی شدند. از بین روش‌های میان‌یابی مورد استفاده روش کوکریجینگ و در یک مورد روش کریجینگ دارای خطای کم‌تری برای واسطه‌یابی بودند. همچنین در روش‌های TPSS مناسب‌ترین توان ۲ بوده است (جدول ۳). در تحلیل واریوگرافی روش کریجینگ و کوکریجینگ، مدل وریوگرام عمدتاً مدل کروی بود. دامنه موثر آن تا ۳۰۰ کیلومتر مناسب تشخیص داده شد و ایستگاه‌های تا این فاصله در این تحلیل مناسب بودند. مدل گوسی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت که دارای خطای بیش‌تری نسبت به مدل کروی بود. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف معیار مناسبی برای بررسی ساختار مکانی تغییرنا است. این نسبت از کمینه ۰/۱۹ در سطح آستانه ۴۰ درصد تا بیشینه ۰/۴ در سطح آستانه ۷۰ درصد متغیر است. با توجه به -

این که این تغییرات کم تر از ۰/۵ است، بیان گر ساختار نیم وریوگرام تجربی نسبتا مناسب در سطوح آستانه مختلف است.



شکل ۷- طبقات مختلف بارش در سطح آستانه ۳۰ درصد در منطقه مورد تحقیق.



شکل ۸- طبقات مختلف بارش در سطح آستانه ۸۰ درصد در منطقه مورد تحقیق

دامنه تاثیر واریوگرام تجربی ارتفاع نیز تا ۳۰۰ کیلومتر مناسب تشخیص داده شد که از این لحاظ با دامنه تاثیر سطوح آستانه هم خوانی دارد. نیم تغییرنمای تجربی ارتفاع نیز از ساختار مکانی نسبتا مناسبی برخوردار است. باید در نظر داشت که متغیر کمکی در روش کوکریجینگ متغیر ارتفاع ایستگاه باران سنج بود که ضریب همبستگی پایین (۰/۱۵ تا ۰/۱۷) با بارش دارد، ولی برای مقایسه روش های مختلف میان یابی از آن استفاده شد. با توجه به نتایج جدول ۴ متوسط بارش در سطح آستانه ۹۵ درصد در استان اصفهان ۸۰/۲ میلی متر است. به عبارت دیگر در صورت وقوع خشک سالی با سطح بحران ۹۵ درصد در استان اصفهان، میزان بارش به طور متوسط ۸۰/۲ میلی متر یا کم تر است. بر این اساس متوسط بارش سالانه در طول دوره آماری منتخب (سطح آستانه ۵۰ درصد) ۱۶۰ میلی متر است. بر اساس تحقیقات غیور و مسعودیان (۱۳۷۸) متوسط بارش برای استان اصفهان ۱۷۰ میلی متر تعیین شده است (غیور و مسعودیان، ۱۳۷۸؛ مسعودیان، ۱۳۷۷). این تفاوت احتمالا مربوط به تفاوت دوره آماری و تعداد

ایستگاه‌های منتخب در تحقیق ذکر شده با تحقیق کنونی است. با توجه به نتایج جدول ۴ چنانچه میزان بارش ۱/۳۳ برابر بارش میانگین باشد، سطح بحران ۳۰ درصد و در صورتی که میزان بارش در حدود ۱/۲ میزان بارندگی متوسط باشد، سطح بحران ۹۵ درصد است. این مقادیر برای کلیه سطوح بحران ارائه شده است. استفاده از روش سطوح آستانه ابزار مفیدی در تحلیل و پیش‌بینی خشک‌سالی بارندگی خواهد بود. با توجه به آن می‌توان میزان حجم آب بارش را تعیین و بر آن اساس اقدامات لازم را در زمینه مدیریت منابع آب انجام داد و با لحاظ آن در برنامه‌های مدیریتی، خسارات خشک‌سالی را تا حد ممکن کم کرد. همان طوری که از جدول ۴ مشاهده می‌شود، در سطح بحران ۹۵ درصد، حجم بارش تقریباً نصف حجم بارش میانگین است. اطلاع از این موضوع اهمیت بسیاری در مدیریت ریسک خشک‌سالی ایفا می‌کند. بررسی کلی بیان‌گر این است که روش سطوح آستانه راه‌کار مناسبی در بررسی خشک‌سالی هواشناسی در منطقه مورد تحقیق است.

جدول ۴- میزان حجم بارش بر اساس سطوح آستانه

سطح آستانه (%)	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰	۹۵
حداقل بارش در استان (mm)	۱۰۴/۷	۹۰/۴	۸۶/۰	۷۹/۱	۶۸/۴	۴۷/۱	۳۱/۷	۲۸/۵
حداکثر بارش در استان (mm)	۸۰۷/۲	۷۸۵/۵	۶۹۶/۹	۶۱۴/۹	۵۶۱/۶	۵۰۷/۲	۴۵۷/۴	۴۰۶/۹
انحراف معیار بارش در استان (mm)	۱۳۷/۹	۱۲۹/۳	۱۲۲/۰	۱۱۱/۴	۱۰۲/۳	۹۴/۹	۸۵/۲	۷۸/۰
متوسط بارش در استان (mm)	۲۱۲/۰	۱۹۵/۴	۱۶۰/۰	۱۳۹/۹	۱۲۷/۱	۱۰۹/۳	۹۲/۷	۸۰/۲
حجم بارش (میلیون m^3)	۲۲۷۱۶/۵	۲۰۹۳۲/۵	۱۷۱۴۴/۶	۱۴۹۹۰/۸	۱۳۶۲۲/۴	۱۱۷۱۰/۸	۹۹۳۷/۴	۸۵۹۰/۵
نسبت حجم سطح آستانه به حجم سطح آستانه ۵۰ درصد	۱/۳۳	۱/۲۲	۱	۰/۸۷	۰/۷۹	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۵

منابع مورد استفاده

- ۱- حجازی زاده، ز. و ا. فتاحی. ۱۳۸۲. تحلیل و پایش خشک‌سالی در خراسان با تاکید بر دوره‌های خشک کوتاه مدت. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۲- حسنی پاک، ع. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتستیک). انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.
- ۳- خلدبرین، ع. ۱۳۸۳. خشک‌سالی و کنواسیون بیابان‌زایی. فصل‌نامه علمی-ترویجی خشکی و خشک‌سالی، شماره ۱۲، صفحه ۱۲-۱.
- ۴- رحیمی بندرآبادی، س. ۱۳۷۹. بررسی کاربرد روش‌های ژئواستاتستیک در برآورد بارندگی مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۵- رضیعی، ط.، ع. شکوهی، ب. ثقفیان و پ. دانش کارآراسته. ۱۳۸۲. پایش پدیده خشک‌سالی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص SPI. سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- ۶- رضیعی، ط. و ب. ثقفیان. ۱۳۸۳. پایش و مدیریت ریسک خشک‌سالی. فصل‌نامه علمی-ترویجی خشکی و خشک‌سالی، شماره ۱۲، صفحه ۲۶-۱۳.
- ۷- فرج زاده اصل، م. ۱۳۷۴. بررسی و پیش‌بینی خشک‌سالی در ایران. پایان‌نامه دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۸- غیور، ح. و ا. مسعودیان. ۱۳۷۸. بررسی تغییرات زمانی و مکانی خشک‌سالی‌ها در استان اصفهان. مجموعه مقالات دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، تهران.
- ۹- کریمی، م. ۱۳۶۶. گزارش آب و هوای منطقه مرکزی ایران. دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۱۰- لشنی زند، م. ۱۳۸۲. بررسی اقلیمی خشک‌سالی‌های ایران و راهکارهای مقابله با آن: مطالعه موردی در شش حوزه واقع در غرب و شمال غرب ایران. پایان‌نامه دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه اصفهان.
- ۱۱- مدنی، ح. ۱۳۷۷. مبانی زمین آمار. دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۱۵۵ صفحه.
- ۱۲- مسعودیان، ا. ۱۳۷۷. بررسی نظام تغییرات زمانی مکانی بارش در ایران. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه اصفهان.
- ۱۳- مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی. ج ۱، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۳۶۲ صفحه.
14. Ahmad, S., Z. Hussain, A.S. Qureshi, R. Majeed and M. Saleem. 2004. Drought mitigation in Pakistan: current status and option for future strategies. International Water Management Institute, Drought Series, paper 3.
15. Arms, K. 1990. Environment Sciences. salinders College, Florida.

16. Chang, T.J. and X.A. Kleopa. 1991. A proposed method for drought monitoring. *Water Resource Bulletin*, 27(2): 275-280.
17. Chang, T.J., H. Zheng, A. Kleopa and B. Teoh. 1996. Development of an expert system for daily drought monitoring. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10(1):20-24.
18. Gamma Design Software. 2000. Geostatistics for environmental sciences. <http://www.gammadesign.com/GS+ ver.5>.
19. Hayes, M.J. 1999. Drought indices, climate impacts. National Drought Mitigation Center, USA.
20. Henz, J., S. Turner, W. Badini and J. Kenny. 2004. Historical perspectives on Colorado drought. chapter 1:3-21.
21. Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. 2000. Drought event definition. Technical Report No. 6, Assessment of the regional impact of droughts in Europe.
22. Hughes, B.L. and M.A. Saunders. 2002. A drought climatology for Europe. *Journal of Climatology*, 22:1571-1592.
23. Hutchinson, M.F. 1989. Astochastic estimator of the trace of the influence matrix for laplacian smoothing splines. *Common Statist. Simula.*, 18(3):1059-1076.
24. International Strategy for disaster reduction. 2003. Drought: Living with risk. ISDR Ad Hoc Discussion Group on Drought.
25. Kulkarni, A. and R.H. Kripalani. 1998. India, Indonesia experiencing opposite effects from 1997 El Nino. *Drought Network News*, 10(1):6-7.
26. Palmer, K.N. and K.J. Holmes. 1988. Operational guidance during droughts: expert system approaches. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, 114(6):647-666.
27. UN Mission Report. 2000. United Nations technical mission on the drought situation in the Islamic Republic of Iran.
28. Wahba, G. 1990. Spline models for observational data. CBMS-NFS regional conference series in applied mathematics 59, Siam, Philadelphia, Pennsylvania.

Investigation of climatological droughts in Isfahan province

Mohammad Reza Yazdani¹, MSc, Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran

Sattar Chavoshi, Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran

Morteza Khodaghali, Scientific Board, Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan, Iran

Bahram Saghafian, Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 08 April 2009

Accepted: 15 August 2009

Abstract

Most parts of the Isfahan province are located in central arid land of Iran and are sensitive to drought occurrences. So it is required to study drought for prediction. There are many ways to define drought using different indicators. Climatology drought was evaluated using annual precipitation time series and different truncation levels including 30% 40, 50, 60, 70, 80, 90 and 95%. In this study 85 precipitation stations were selected in Isfahan province and around of it, in period of 1966-1998. Interpolation methods such as, kriging, Co-kriging, inverse distance weighted and TPSS were evaluated for interpolation of truncation levels and the error of each method was calculated. In the selected methods, Co-kriging method had minimum error and TPSS method had maximum error. Drought extension maps were drawn for each truncation levels using ILWIS software. Also water volume of probable precipitation is calculated for each truncation levels. Results showed about half of rainfall events occurred in 30 percent truncation level, whereas about 80 percent of the events are in 30 percent truncation level. Thus intense droughts occurred in the study area. Maximum frequency of drought occurrences in basis of truncation levels in study area are 30, 80, 60, 50, 40, 90, 70, 95%, respectively. Results indicated that truncation levels are suitable method for climatological drought evaluation in the studied area.

Key words: Co-kriging, Drought index, Interpolation, kriging, Truncation levels

¹ m_khodaghali@yahoo.com