پیش‌بینی احتمالاتی خشکسالی در ایران

دکتر منوچهر فرج زاده ■
استادیار بخش علوم جغرافیایی و سنجش از دور
دانشگاه تربیت مدرّس □

چکیده

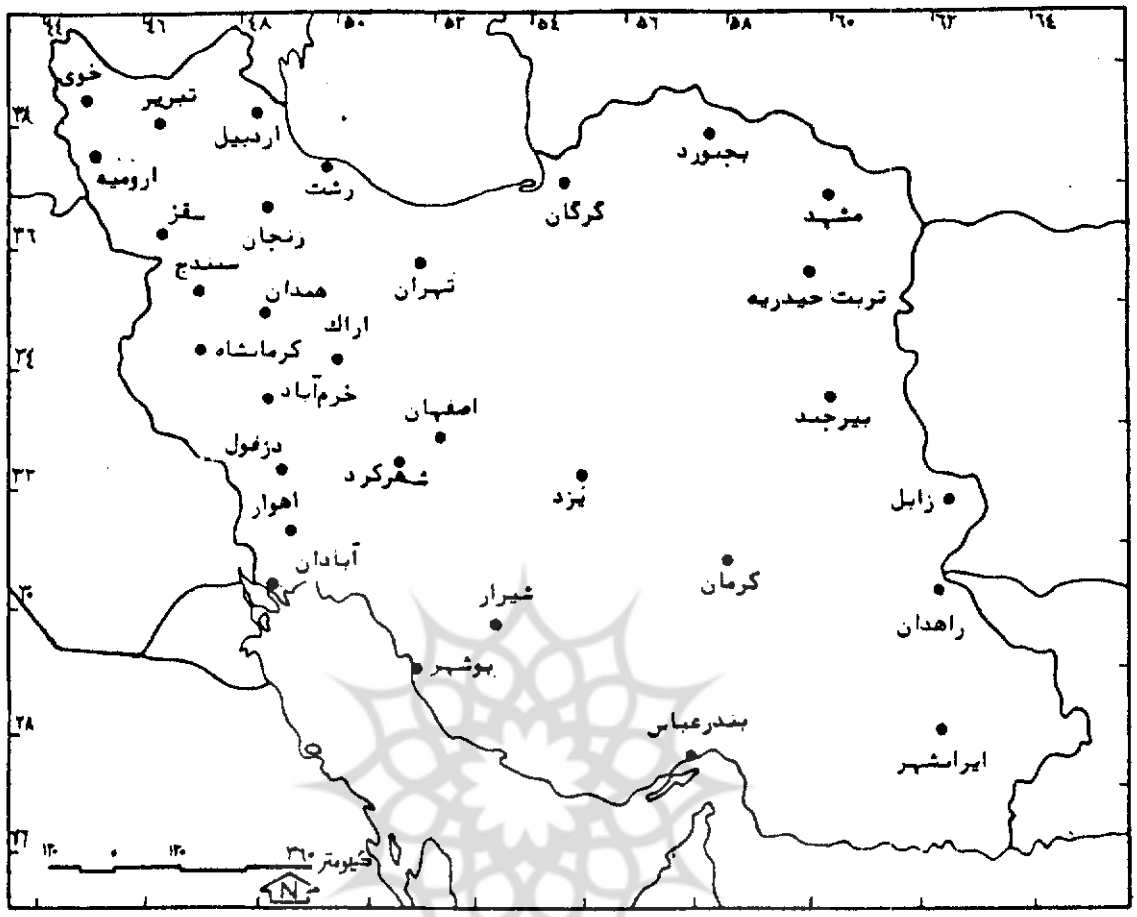
خشک بودن اقلیم کشور موجب شده است که وقوع خشکسالیها از جمله مهمترین ویژگیهای آب و هوایی آن محسوب شود؛ به همین دلیل، پیش‌بینی این پدیده می‌تواند در برنامه‌ریزیهای بهره‌برداری از منابع طبیعی راهگشا باشد. باتوجه به اینکه خشکسالی یک پدیده تصادفی است، محققان بااستفاده از روشهای مختلف آن را مورد مطالعه قرار داده‌اند که روشهای آماری از جمله مهمترین آنها محسوب می‌شود. در مقاله حاضر نیز برای پیش‌بینی خشکسالی از این روش استفاده شده است که طی آن توزیعهای احتمال مختلف بر شاخص خشکسالی برازش داده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که توزیع پیرسون نوع ۳ را می‌توان به عنوان بهترین توزیع آماری برای پیش‌بینی احتمال وقوع خشکسالی مورد استفاده قرار داد. برهمین مبنا، پیش‌بینیهایی در سطح کشور انجام گرفته و پراکنش فضایی آن مورد بحث قرار گرفته است.

مقدمه

خشکسالی از جمله مهمترین بلایای اقلیمی است که محیط زیست بشر از دیرباز تحت تأثیر اثرهای زیانبار آن قرار گرفته است. در مفهوم کلی، خشکسالی به ناهنجاریهای ناشی از نوسانات منفی مقادیر بارندگی نسبت به ارزش متوسط آن اطلاق می‌شود که دارای ویژگیهای فراوانی، شدت، دوره تداوم و وسعت پوشش منطقه‌ای است (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۷۴). باتوجه به زمینه‌های محیطی وقوع خشکسالی، این پدیده با نامهای متعددی مطرح می‌شود؛ از جمله، خشکسالی کشاورزی (زمانی که رطوبت خاک نسبت به شرایط میانگین کاهش شدید پیدا کرده است) یا خشکسالی هیدرولوژیک (زمانی که میزان جریانهای سطحی و زیرزمینی نسبت به شرایط میانگین افت داشته باشد). مهمترین جنبه خشکسالی که به‌طور مستقیم موجد خشکسالیهای محیطی است، خشکسالی اقلیمی است که به‌طور مشخص در نوسانات منفی بارشهای دریافتی نمود پیدا می‌کند. باتوجه به اثرهای زیانبار اقتصادی این پدیده، کوششهایی برای کاهش خطرهای ناشی از آن از طریق پیش‌بینی احتمال وقوع آن صورت گرفته است. نظر به اینکه ایران از نظر اقلیمی در محدودهٔ اقلیمهای خشک جهان قرار گرفته و نوسانهای منفی مقادیر بارندگی از مهمترین ویژگیهای اقلیمی آن محسوب می‌شود، مطالعه و پیش‌بینی خشکسالی از مهمترین موضوعاتی است که پایه برنامه‌ریزیهای کشاورزی و منابع آب را تشکیل می‌دهد. در همین راستا، در مقاله حاضر سعی شده بااستفاده از داده‌های بارندگی، احتمال وقوع خشکسالی در کشور مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

داده‌ها و شاخص خشکسالی مورد استفاده

در تحقیق حاضر، برای بررسی احتمال وقوع از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و در مواردی آب و هواشناسی استفاده شده است. پایه اصلی برای انتخاب این ایستگاه، داشتن آمار طولانی مدت و پراکنش فضایی آن در سطح کشور است تا بدین ترتیب امکان اخذ نتایج در پهنه کشور امکانپذیر شود. فهرست و موقعیت ایستگاههای مورد استفاده در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱ موقعیت ایستگاههای استفاده شده در تحلیل خشکسالی

به‌طور کلی، در بررسی خشکسالی از دیدگاه تحلیل داده‌های بارندگی، از شاخصهای متعددی استفاده می‌شود که شاخصهای بارش میانگین، شاخص پراکندگی بارش، شاخصهای دهکهای بارش، شاخص درصد از بارش میانگین از آن‌جمله است (فرج‌زاده، ۱۳۷۵). در این مطالعه به دلیل انعطاف‌پذیری و سهولت استفاده، شاخص درصدی از بارش میانگین به‌کار رفته است. شاخص مذکور از طریق رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

$$P\ (\%) = \frac{Pi}{P} \times ۱۰۰ \qquad [۱]$$

در این رابطه، Pi مقدار بارندگی در زمان مورد مطالعه (روز، ماه، فصل و سال) و P میانگین بارش درازمدت ایستگاه است. براساس مطالعاتی که صورت گرفته (فرج‌زاده و همکاران، ۱۳۷۴) آستانه ۸۰ درصد بارش میانگین را می‌توان مرز وقوع خشکسالی در کشور

تلقی کرد که هرقدر این درصد کاهش می‌یابد، شدت خشکسالی افزایش پیدا می‌کند. البته شدت خشکسالیها علاوه بر قلت نزولات جوی، به دورهٔ تداوم آن نیز ارتباط پیدا می‌کند؛ بدین معنی که به تناسب استمرار شرایط خشکسالی، شدت آن بیشتر جلوه می‌کند. برهمین مبنا، در مطالعه حاضر، مقادیر ۷۰ تا ۸۰ درصد بارش میانگین به عنوان خشکسالی ضعیف، ۵۵ تا ۷۰ درصد به عنوان خشکسالی متوسط، ۴۰ تا ۵۵ درصد به عنوان خشکسالی شدید و کمتر از ۴۰ درصد به عنوان خشکسالی بسیار شدید درنظر گرفته شده است.

مروری بر روشهای پیش‌بینی خشکسالی

در کل، روشهای پیش‌بینی خشکسالی را می‌توان به روشهای آماری، آماری - فیزیکی، سنجش از دور و سینوپتیک تقسیم‌بندی کرد. اساس این‌گونه روشها مطالعه یک متغیر یا شاخص خشکسالی برمبنای فنون مزبور است که در نهایت، منجر به پیش‌بینی احتمال وقوع خشکسالی می‌شود. اصل کلی در این نوع روشها مبنی بر مطالعه ویژگیهای پدیده در گذشته و پیش‌بینی رخداد آن در آینده است. در روشهای سنجش از دور و روشهای سینوپتیکی، عمدتاً شرایط فیزیکی رخداد خشکسالی مورد مطالعه قرار می‌گیرد و از طریق آنها الگوهای پیش‌بینی ارائه می‌شود. در روش‌های آماری که روش مورد استفاده در این نوشتار نیز هست، متغیرهای مختلف مدنظر قرار گرفته، با استفاده از توزیعهای احتمال، رخدادهای آتی پیش‌بینی می‌شود. استفاده از روشهای پیش‌بینی معادلات همبستگی خطی، روشهای پیش‌بینی سریهای زمانی، روشهای مقایسه‌ای[1] و جداول احتمال از جمله این روشها محسوب می‌شوند. چنانکه گذشت، رویکرد مورد استفاده در این مقاله روش آماری است که در ذیل، به تشریح جزئیات آن می‌پردازیم.

برازش شاخص خشکسالی مورد استفاده با توزیعهای احتمال

برای انتخاب توزیع بهینه برمبنای شاخص مورد استفاده در این

1. Analogue

تحقیق، ایستگاههای باختران، تبریز، تهران، شیراز، رشت و گرگان که معرف رژیمهای متعدد در پهنه کشور قلمداد می‌شوند، انتخاب شده و آزمونهای توزیعهای احتمال مختلف برروی آنها صورت گرفته و در نهایت، توزیع بهینه برای آنها شناسایی شده و برای پیش‌بینی مورد استفاده قرار گرفته است. از میان توزیعهای احتمال که فهرست و روابط محاسبه آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ توزیعهای احتمال مختلف برای برازش داده‌های آب و هوایی
(چاو، ۱۹۸۸، ص ۳۷۲)

توزیع	تابع چگالی احتمال	دامنه	معادله برای برآورد پارامترها بر حسب گشتاورهای نمونه
نرمال	$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$	$-\infty \le x \le \infty$	$\mu = \bar{x},\ \sigma = s_x$
لوگ نرمال	$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)$ where $y = \log x$	$x > 0$	$\mu_y = \bar{y},\ \sigma_y = s_y$
نمایی	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$x \ge 0$	$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$
گاما	$f(x) = \frac{\lambda^\beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)}$ where Γ = gamma function	$x \ge 0$	$\lambda = \frac{\bar{x}}{s_x^2}$ $\beta = \frac{\bar{x}^2}{s_x^2} = \frac{1}{C_v^2}$
پیرسون نوع ۳ (گامای ۳ پارامتری)	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (x-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(x-\epsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	$x \ge \epsilon$	$\lambda = \frac{s_x}{\sqrt{\beta}},\ \beta = \left(\frac{2}{C_s}\right)^2$ $\epsilon = \bar{x} - s_x\sqrt{\beta}$
لوگ پیرسون نوع ۳	$f(x) = \frac{\lambda^\beta (y-\epsilon)^{\beta-1} e^{-\lambda(y-\epsilon)}}{x\,\Gamma(\beta)}$ where $y = \log x$	$\log x \ge \epsilon$	$\lambda = \frac{s_y}{\sqrt{\beta}},$ $\beta = \left[\frac{2}{C_s(y)}\right]^2$ $\epsilon = \bar{y} - s_y\sqrt{\beta}$ (assuming $C_s(y)$ is positive)
ارزش حداکثر (نوع ۱)	$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{x-u}{\alpha} - \exp\left(-\frac{x-u}{\alpha}\right)\right]$	$-\infty < x < \infty$	$\alpha = \frac{\sqrt{6}s_x}{\pi}$ $u = \bar{x} - 0.5772\alpha$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

توزیعهای نرمال، نرمال لگاریتمی، پیرسون نوع ۳، پیرسون نوع ۳ لگاریتمی، گامبل و گامبل لگاریتمی در این بررسی مدنظر قرار گرفته است. روش متداول در برازش توزیعهای مزبور، مرتب کردن داده‌ها به ترتیب نزولی و دادن رتبه از بزرگتر به کوچکتر بدانهاست. سپس احتمال رخداد داده‌های مورد نظر از طریق روابط مختلف محاسبه می‌شود که فهرست آنها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲ انواع روابطی که در محاسبه احتمال رخداد داده‌های مورد استفاده، به روش نشانه‌گذاری به کار می‌رود. برای محاسبه احتمالات ذیل تعداد داده‌ها ۳۰ و برای ردیف (R) اول آنها انجام گرفته است.

روش	رابطه	احتمال (درصد) (P)	دوره برگشت $=\frac{1}{P}$
کالیفرنیا[2]	R/N	۳/۳۳	۳۰
ویبول[3]	R/N + ۱	۳/۲۲	۳۱
گرینگورتن[4]	R - ۰/۴۴.N + ۰/۱۲	۱/۸۵	۵۳/۸
هازن[5]	R / ۲N	۱/۶۶	۶۰

در این زمینه، محققان امریکایی، عمدتاً روش ویبول و محققان انگلیسی روش گرینگورتن[2] را مورد استفاده قرار می‌دهند. در این تحقیق نیز روش ویبول مورد استفاده قرار گرفته و براساس آن احتمال رخداد شاخص خشکسالی محاسبه شده است. بعد از این محاسبه، احتمالات به‌دست آمده برروی کاغذ احتمال منتقل شده و با استفاده از رابطه ۲، خطی براین نقاط برازش داده شده است.[3]

$$Y = x + SK \qquad [۲]$$

در شرایطی که خط مذکور تا امتداد نقاط مذکور بوده، نقاط نشانه‌گذاری شده در نزدیکی آن قرار گیرند، به عنوان توزیع مناسب شناخته می‌شود. در رابطه مذکور، K عبارت از ضریبی است که در توزیعهای مختلف براساس احتمال با دوره برگشت مختلف محاسبه می‌شود. در اغلب کتب آب‌شناسی رقم K به صورت جداول آماده ارائه شده است که در این مطالعه، به لحاظ دقت بیشتر، ترجیح داده شد رقم آن از طریق روابط جدول ۳

2. Gringorten
3. Gregony & Cooke

محاسبه شود. بدین ترتیب، برای هریک از دادهها، مقادیر K محاسبه، و با استفاده از رابطه کلی، رقم پیش‌بینی محاسبه شده است. سپس برای شناخت توزیع بهینه، دو آزمون کای اسکور و ضریب همبستگی برای داده‌ها در شش توزیع مختلف صورت گرفته است. برای محاسبه آزمون کای - اسکور از رابطه ۳ استفاده شده است (مهدوی، ۱۳۷۱، ۸۱).

4. Chai - Squar

جدول ۳ روابط مورد استفاده برای محاسبه ضریب K در توزیعهای مختلف (چاو، ۱۹۸۸، ص ۴۶۰)

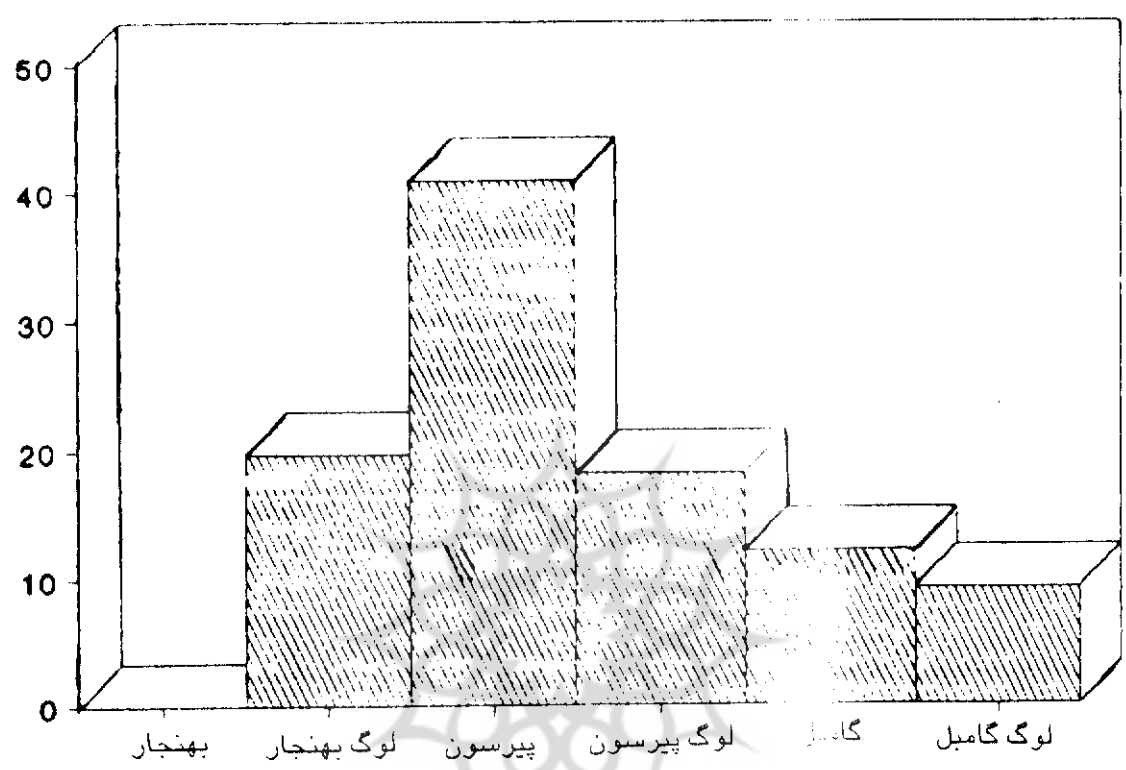
توزیع	رابطه
بهنجار	$W = Ln[(\frac{1}{P^2})]^{1/2}$ $K=Z= W-2.515517+ .802853W+.013328W^2/$ $1+1.432788W+ .189269W^2 + .001308W^3$
پیرسون ۳	$K=Kt=Z+(Z^2-1)K+1/3(Z^3-6Z)K^2-(Z^2-1)K^3+ZK+1/3K^5$ $K=C_s/6$
گامبل	$K=Kt=-\frac{6}{\sqrt{\pi}}\{0.5772+Ln[Ln(T/T-1)]\}$ T = دوره برگشت

$$R.S.S. = [Q Ei - Qoi)/ (N-m)]05 \qquad [۳]$$

در این رابطه، R.S.S، مجموع مربعات باقیمانده؛ QEi، مقدار برآورد شده متغیر؛ Qoi، مقدار مشاهده شده متغیر؛ N، تعداد نمونه و m، تعداد پارامترهای توزیع است که برای توزیعهای بهنجار و گامبل ۲ و برای توزیع پیرسون نوع ۳، ۳ درنظر گرفته شده است.

نتایج این محاسبات نشان می‌دهد که داده‌های مورد مطالعه ۵۴ درصد در آزمون کای اسکور و ۶۰ درصد در آزمون ضریب همبستگی از توزیع پیرسون نوع ۳ و پیرسون لگاریتمی نوع ۳ تد...

می‌کنند که این موضوع نشاندهندهٔ اختلاف اندک بین نتایج این دو آزمون و اطمینان به آزمونهای مورد استفاده است. درصد فراوانی هریک از توزیعهای احتمال در شکل ۲ ارائه شده است.

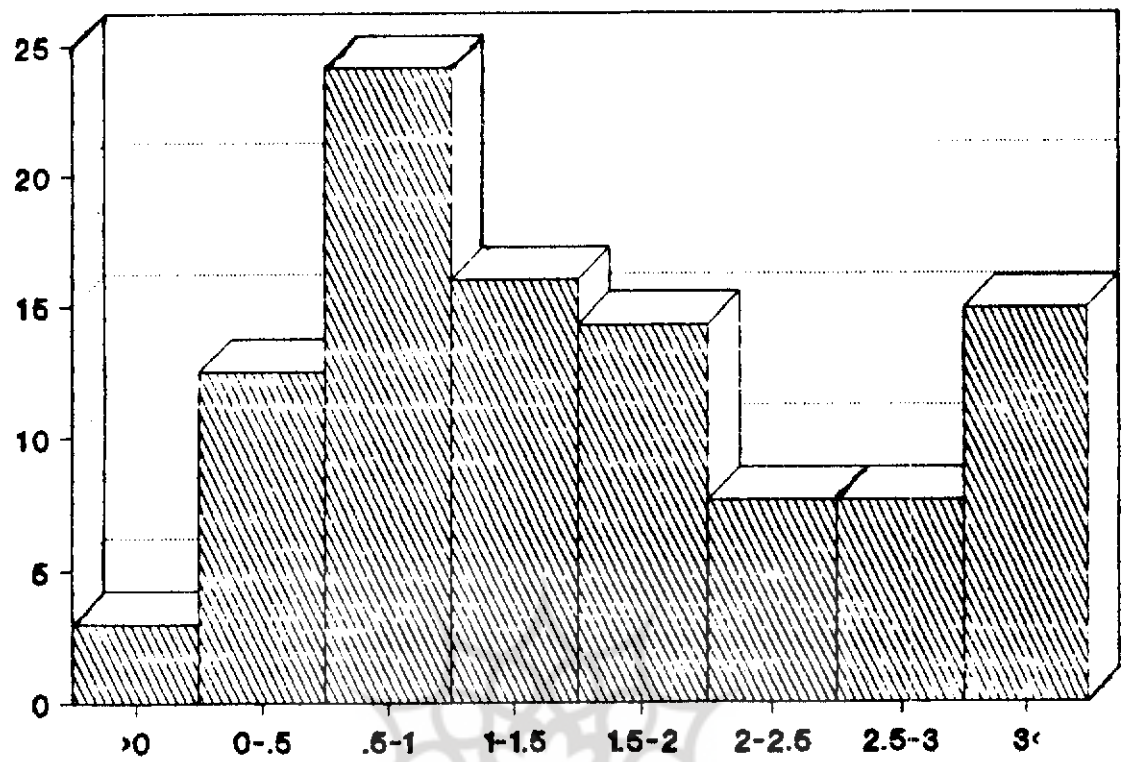


شکل ۲

باتوجه به نتایج این محاسبات، توزیع پیرسون نوع ۳ به عنوان توزیع بهینه برای داده‌های شاخص خشکسالی در ایران انتخاب شده است. به نظر می‌رسد علت اصلی تبعیت این‌گونه داده‌ها از توزیع پیرسون نوع ۳، وجود چولگی در داده‌های مطالعاتی باشد. برای تبیین موضوع، نتایج محاسبه چولگی داده‌های مورد استفاده در شکل ۳ ارائه شده است. همانطور که شکل نشان می‌دهد، داده‌ها اکثراً دارای چولگی مثبت بوده، حدوداً ۵۰ درصد از داده‌ها دارای چولگی بین ۰/۵ تا ۱/۵ هستند که این امر مطابقت داده‌ها را با توزیع پیرسون نوع ۳ منطقی می‌نمایاند.

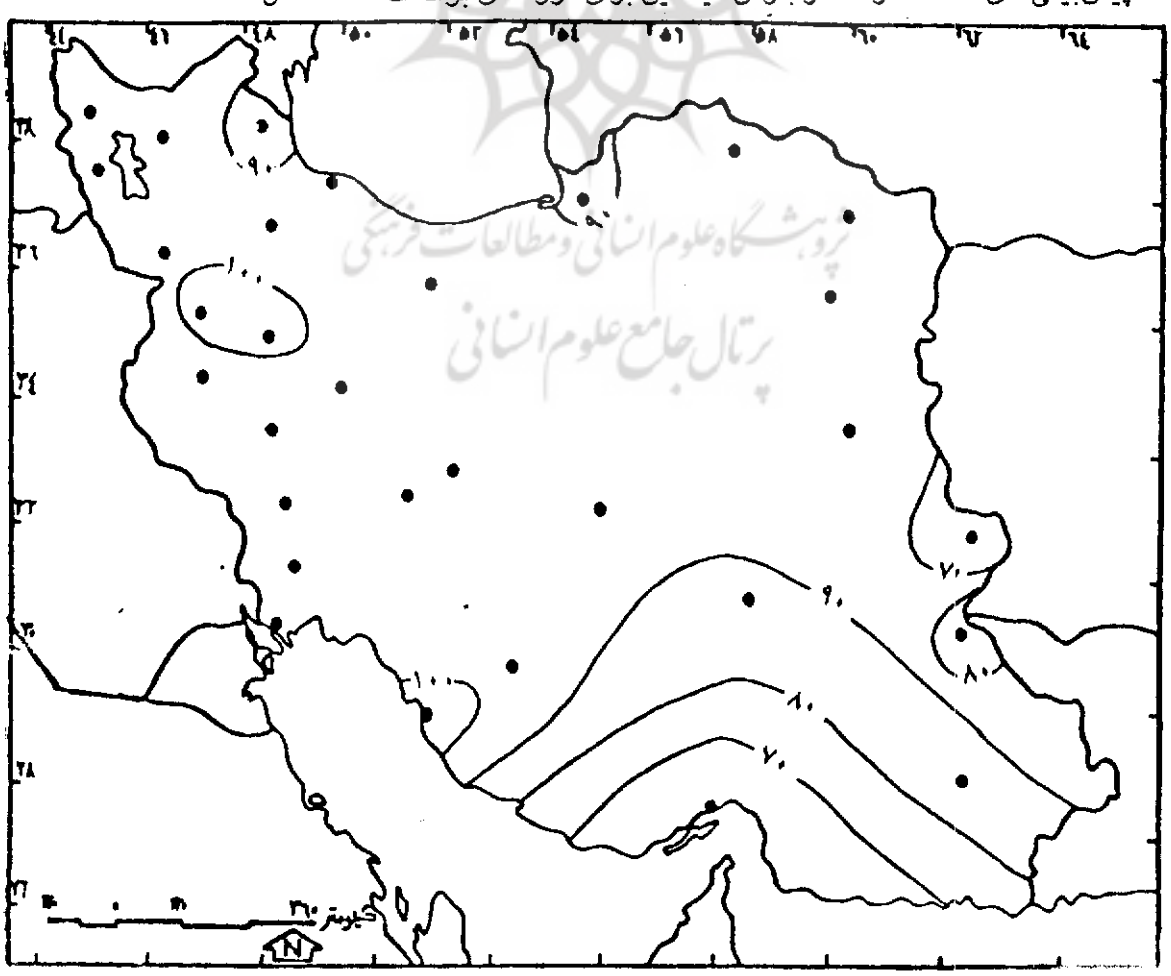
نتایج و بحث

با استفاده از توزیع منتخب، احتمال وقوع شاخص خشکسالی مورد استفاده بر مبنای احتمالات مساوی یا کمتر از ۹۸، ۹۵، ۹۰ و ۵۰ درصد مطابق با دوره‌های برگشت ۵۰، ۲۰، ۱۰ و ۲ سال محاسبه شده است که نحوه پراکندگی ارقام محاسبه شده در روی نقشه ایران در شکلهای ۴ تا ۷ ارائه شده است.



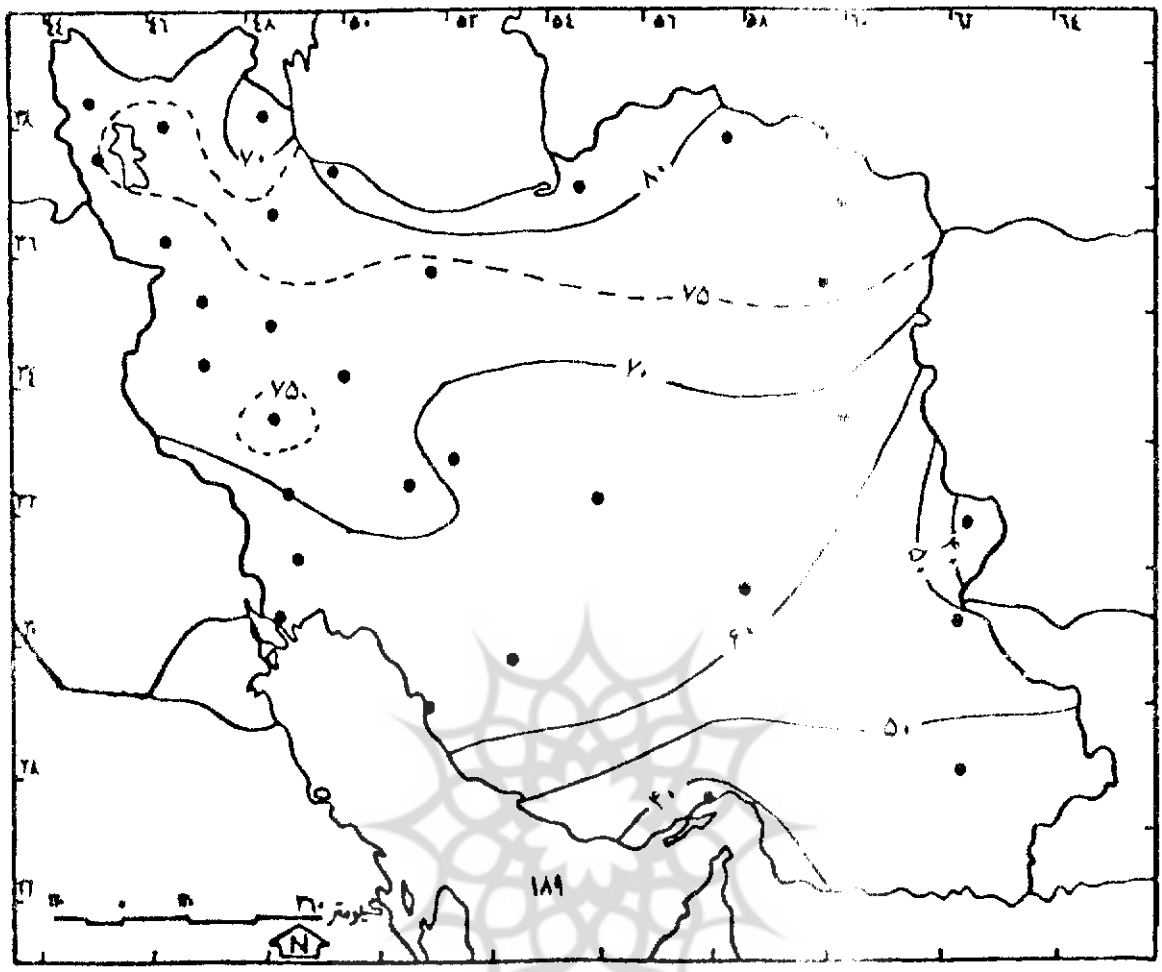
شکل ۳ درصد فراوانی میزان چولگی کل داده‌های سالانه، فصلی و ماهانه

پیش‌بینی‌های سالانه درصد از بارش میانگین برای دوره‌های برگشت ۲ تا ۵۰ سال

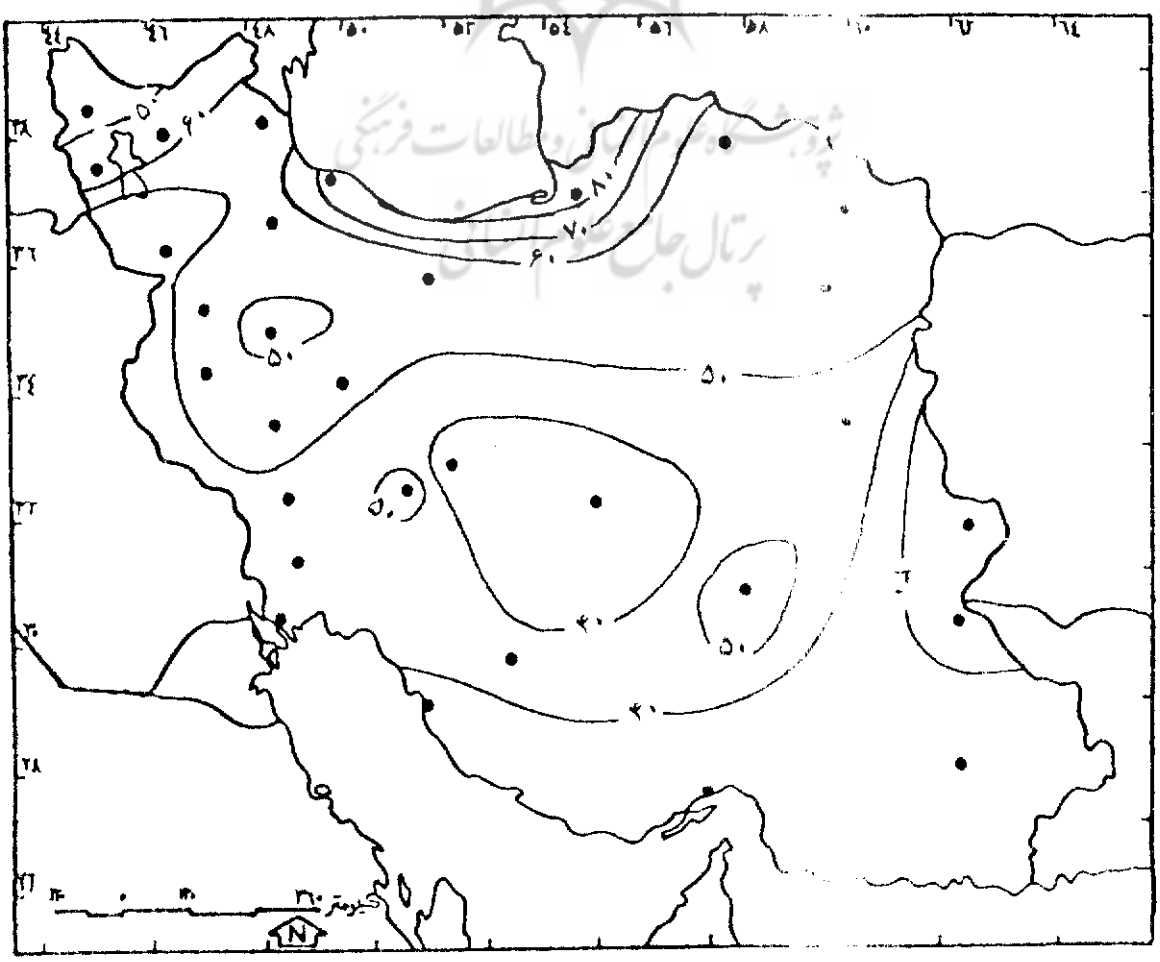


شکل ۴ دوره برگشت ۲ ساله

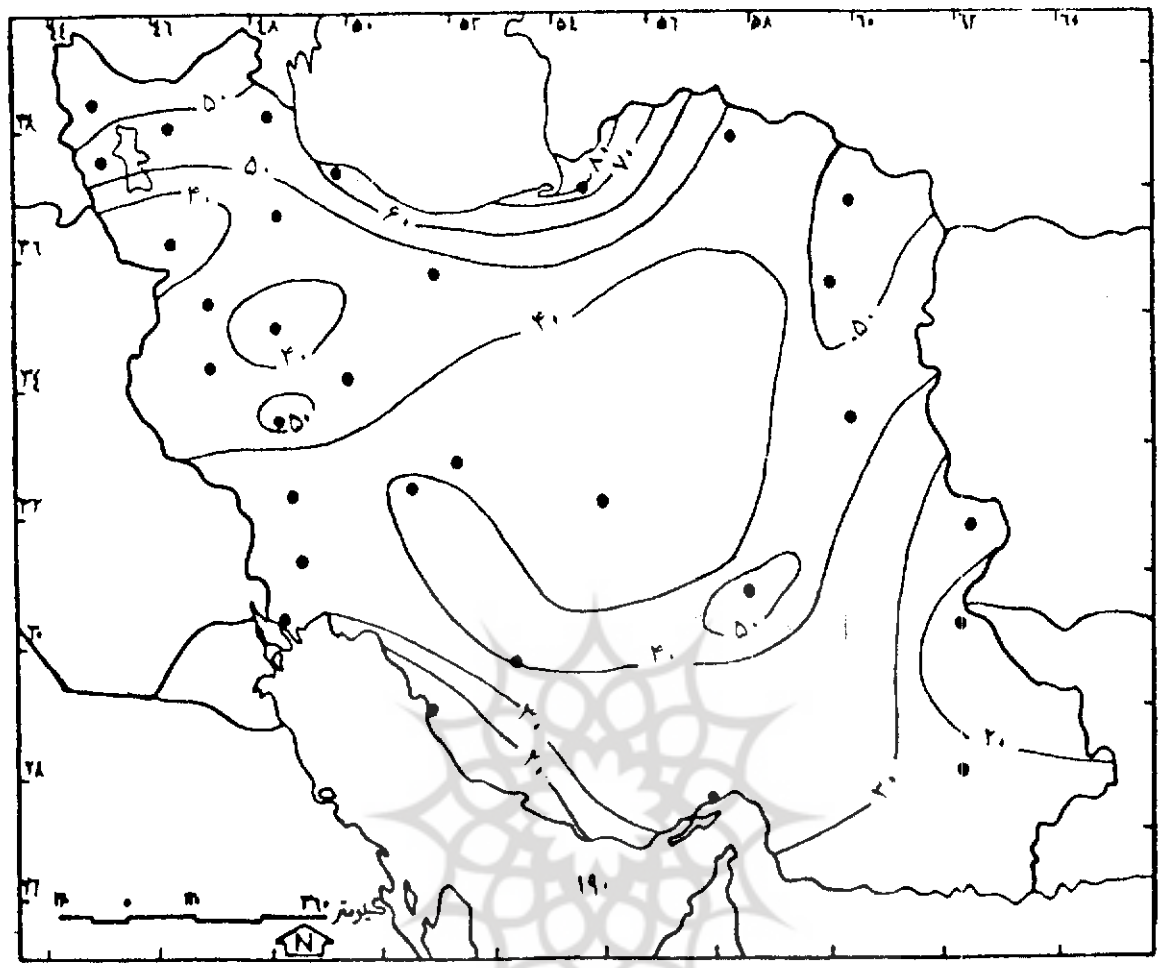
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۵ دوره برگشت ۵ ساله



شکل ۶ دوره برگشت ۲۰ ساله



شکل ۷ دوره برگشت ۵۰ ساله

براساس شکلهای ارائه شده، مشخص است که طی دوره‌های برگشت ۲ ساله، بخش وسیعی از ایران در مقیاس سالانه، به استثنای بخشی از جنوب ایران، از بندرعباس تا کرمان، ۸۰ تا ۱۰۰ درصد میانگین دراز مدت خود را دریافت می‌دارند؛ به عبارت دیگر، میانگین درازمدت سالانه در اکثر مناطق ایران حداقل ۲ سال یک‌بار اتفاق می‌افتد. در دوره برگشت ۵ ساله، توزیع مداری قابل مشاهده است؛ بدین ترتیب که از عرض جغرافیایی حدود ۲۶ درجه که طی ۵ سال دچار خشکسالیهای بسیار شدید می‌شود، به طرف عرضهای بالاتر، خشکسالیها تبدیل به خشکسالیهای شدید و متوسط شده، از عرض جغرافیایی حدود ۳۲ درجه به بالا، تا باریکه‌ای از سواحل شمالی که از شرایط طبیعی برخوردارند، خشکسالیهای ضعیف مشاهده می‌شود. در دوره برگشت ۲۰ ساله، به استثنای سواحل جنوبی دریای خزر، در بقیه قسمتهای ایران، خشکسالی با شدت و ضعفهای مختلف رخ می‌دهد

که عموماً مقدار آن کمتر از ۶۰ درصد میانگین درازمدت (خشکسالیهای متوسط تا بسیار شدید) است. در این زمان، در سواحل خلیج فارس و دریای عمان و قسمتهای مرکزی ایران، خشکسالیهای کمتر از ۴۰ درصد که خشکسالیهای بسیار شدید است، رخ می‌دهد. در دوره برگشت ۵۰ ساله، به استثنای منطقه گرگان، همه ایران تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرد که میزان آن از ۱۰ درصد در جنوب ایران تا ۶۰ درصد شرایط طبیعی یا میانگین تغییر می‌کند. توزیع مداری در این دوره برگشت نیز ملحوظ است، یعنی از جنوب ایران تا عرضهای شمالی شدت خشکسالی فزونی می‌گیرد.

وسعتهایی از کشور که طی سالهای آتی تحت تأثیر خشکسالی قرار می‌گیرند بااستفاده از توزیع پیرسون نوع ۳ بررسی شده که در جدول ۴ آمده است. باتوجه به ارقام جدول مشخص است که خشکسالیهای سالانه در طی دوره بازگشت ۲ ساله می‌توانند ۳۳ درصد کشور را فرابگیرند که این میزان در طی ۵۰ سال به ۸۳ درصد می‌رسد؛ بدین معنی که در طی سالهای آینده، تقریباً کل سطح کشور تحت تأثیر این پدیده خواهد بود.

جدول ۴ پیش‌بینی مقادیر وسعتهای پوشش خشکسالی کشور (به درصد)

دوره برگشت داده	۲	۵	۱۰	۲۰	۵۰
سالانه ۸۳		۳۳	۵۲	۶۳	۷۲

باتوجه به مطالب مزبور، باید گفت که وقوع خشکسالی از ویژگیهای اصلی اقلیم ایران محسوب می‌شود که هم در قلمرو آب و هوای مرطوب و هم خشک قابل مشاهده است. این حالت در نتیجه وجود نوسانات آب و هوایی شدید در مقیاسهای مختلف زمانی حاصل می‌شود. پیش‌بینی صورت گرفته نشان می‌دهد که به‌طور کلی، هیچ منطقه‌ای از کشور از این پدیده درامان نبوده، بسته به موقعیت طبیعی خود، از آثار مخرب آن گزیری ندارد. در زمینه پیش‌بینی نیز نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از توزیع پیرسون نوع ۳ می‌تواند نتایج مطلوبی به دست دهد.

مآخذ

- فرج‌زاده، منوچهر و همکاران؛ خشکسالی در ایران؛ مجله دانش کشاورزی دانشگاه تبریز؛ ص ۵۳-۳۱؛ ۱۳۷۴.
- فرج‌زاده، منوچهر؛ خشکسالی و روش‌های مطالعه آن؛ مجله جنگل و مرتع؛ انتشارات سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور؛ ص ۲۹-۲۲؛ ۱۳۷۵.
- مهدوی، مسعود؛ هیدرولوژی کاربردی؛ جلد دوم؛ انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۱.
- Chow V. T. Mondment D. R. Mays. L. W., Applied Hydrology, Mc - Graw - Hill, 1988.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی