

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۳، شماره پیاپی ۱۱۴

E.Nasrabadi  
H. Asakereh  
S. A. Masoodian

اسماعیل نصرآبادی، دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان، ایران  
حسین عساکره، دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان، ایران  
سیدابوالفضل مسعودیان، استاد اقلیم‌شناسی، دانشگاه اصفهان، ایران

E-mail: esmaelnasrabaadi@gmail.com

شماره مقاله: ۹۶۴  
صص: ۱-۱۶  
پذیرش: ۹۲/۱۲/۸  
وصول: ۹۲/۲/۲۲

## شناسایی و پهنه‌بندی توزیع فراوانی بارش روزانه ایران

### چکیده

در این پژوهش از داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ پیمونگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی ایران در بازه زمانی ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۲/۱۲/۲۹ (برابر با ۱۵۷۰۵ روز) بهره‌برداری شده است. به کمک روش زمین آمار کریگینگ، داده‌ها روی یاخته‌هایی به ابعاد ۱۵ \* ۱۵ کیلومتر درون‌یابی شدند. به این ترتیب، آرایه‌ای به ابعاد ۷۱۸۷ \* ۱۵۷۰۵ تشکیل شد. برای شناسایی برازنده‌ترین توزیع روزهای بارش بیش از ۰/۵ میلی‌متر در هر یاخته، از آزمون نیکویی برازش کلموگروف-اسمیرنف بهره بردیم. از میان ۷۱۸۷ یاخته ۱۵ \* ۱۵ کیلومتری که کل مساحت ایران را پوشش می‌دهد، تابع تجربی بارش روزهای بارشی ۶۸۶۱ یاخته معادل ۹۵/۵ درصد از مساحت کشور از توزیع نظری گامای دو فراسنجی و تابع تجربی ۳۲۶ یاخته معادل ۴/۵ درصد از مساحت کشور که در جنوب شرق و ارتفاعات زاگرس تمرکز یافته، از توزیع نظری نمایی پیروی می‌کنند. نگاشت فراسنج‌های میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی برازنده‌ترین توزیع (مدل احتمال) حکایت از آن دارد که میانگین بارش روزانه درازمدت زیر ۱۰ میلی‌متر تأییدی بر خشک بودن اقلیم در ۹۵ درصد از مساحت کشور است. نوسان و میزان میانگین بارش، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی ایران مرکزی و شرق کشور نسبت به سایر مناطق ایران کمینه است؛ در حالی که در سایر مناطق ایران چنین یکنواختی در فراسنج‌ها به چشم نمی‌خورد. در بخش قابل توجهی از زاگرس و سواحل جنوب ایران، میانگین بارش مورد انتظار ۵ تا ۱۰ میلی‌متر است؛ اما میانگین انحراف از بارش در سواحل جنوب افزایش یافته، از اعتماد به بارش کاسته می‌شود. در دامنه‌های شرقی زاگرس و در حد فاصل ورود از ارتفاعات زاگرس به بدنه داخلی ایران، میزان بارش مورد انتظار از بخش زیادی از زاگرس بیشتر است؛ اما کمینه اعتماد به بارش ایران در این مناطق به چشم می‌خورد و تعداد بارش‌های کم زیاد است.

**واژه‌های کلیدی:** مدل‌های احتمال، فراسنج‌های توزیع، بارش، ایران

### مقدمه

شناخت ویژگی‌های عناصر اقلیمی از راه و روش‌های مختلفی تحقق می‌یابد. یکی از این اشکال شناخت، واکاوی شکل توزیع فراوانی عناصر اقلیمی است. برخلاف گذشته که ویژگی بارش با میانگین بیان می‌شد و از شکل توزیع و دیگر فراسنج‌های توزیع غفلت می‌شد، امروزه افزون بر میانگین، به فراسنج‌های دیگر توزیع برای شناخت رفتار بارش

توجه می‌شود. واکاوی توزیع فراوانی بارش در مطالعات جوئی، طراحی و برنامه‌ریزی منابع آب از اهمیت درخور توجهی برخوردار است در واکاوی فراوانی بارش، ضمن شناخت رفتار و ویژگی‌های گذشته می‌توان دوره برگشت بارش‌های مختلف را مشخص کرد.

در مطالعات توزیع فراوانی، آب‌شناسان به دلیل تغییرات زیاد مکانی و زمانی بارش بیشتر از روش منطقه‌ای کردن توزیع فراوانی استفاده می‌کنند. آنها نخست با روش‌های مختلف به طبقه‌بندی مناطق همگن می‌پردازند، سپس داده‌های بارش پیمونگه‌های مناطق همگن توزیع‌های فراوانی را برازش داده، برازنده‌ترین توزیع هر منطقه را مشخص می‌کنند. اما در این مطالعه به علت استفاده از داده‌های یاخته‌ای نیاز به منطقه‌ای کردن وجود ندارد. تابع توزیع فراوانی بر تک‌تک یاخته‌ها برازش داده شده و برازنده‌ترین توزیع در هر یاخته شناسایی و پهنه‌بندی بر اساس برازنده‌ترین توزیع صورت گرفته است. دانش پایه، ویژگی‌ها، مراحل و روش‌های برآورد فراسنج‌ها و برازش توزیع بر داده‌ها در بیشتر منابع آماری در مبحث احتمالات ذکر شده است. این مباحث نظری با تأکید بر کاربرد در علوم جوئی توسط (عساکره، ۱۳۹۰: ۳۴۴؛ رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۱۱۴؛ ۱۹۹۱: ۲۵۲؛ Wilks and Eggleston, 1991: 252; Hosking, 1996: 1-9; Wilks, 2006: 85-116) بیان شده است.

پژوهشگران با استفاده از داده‌های کامل و یا دستکاری شده (داده‌های فرین، کمتر و یا بیشتر از یک آستانه و ...) بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی روزانه، ماهانه و سالانه و در مقیاس‌های مختلف مکانی از حوضه یک رودخانه تا محدوده یک یا چند کشور به مطالعه توزیع فراوانی پرداخته و بسته به هدف و نوع داده‌های مورد استفاده توابع توزیع مختلفی را بر داده‌ها برازش داده و فراسنج‌ها را محاسبه نموده‌اند. در مطالعات مربوط به توزیع بارش و واکاوی تغییرات آن از توزیع‌های خانواده بهنجار و گاما (بن‌گایی، ۱۹۹۸: ۱۷۸)، (واکازاکی، ۲۰۱۱: ۳۲)، (فردوس و حسین، ۲۰۰۵: ۵۴)، (اکسوی، ۲۰۰۰: ۴۱۹)، (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۶۱)، (داهاماش و اکسوی، ۲۰۰۶: ۲۱۰)، گامای دو فراسنجی (ویلکس و انگلستون، ۱۹۹۲: ۲۵۸)، (ویلکس، ۱۹۹۰: ۱۴۹۵)، (عساکره، ۲۰۰۸: ۸۴)، (رضیعی و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۰۶)، (گرویسمن<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۴۶)، لوگ بهنجار دو فراسنجی (مدرس، ۲۰۰۶: ۲۰)، (کاشین چانو و دیمیترو، ۲۰۰۸: ۲۰۰۸) و (یورکلی، ۲۰۰۵: ۴۱) استفاده کرده‌اند. در این پژوهش، توزیع‌های خانواده بهنجار و گاما بر داده‌های شبکه‌ای بارش روزانه ایران برازش داده شد.

برای آزمون نیکویی برازش و انتخاب برازنده‌ترین توزیع از آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنف (بن‌گایی، ۱۹۹۸: ۱۸۰)، (عساکره، ۲۰۰۸: ۸۴) و شاخص‌های انحراف میانگین مطلق و انحراف مربع میانگین (یورکلی و همکاران، ۲۰۰۵: ۷۴)، (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۶۱)، (شبری و آریف، ۲۰۰۹: ۱۵۱) و آزمون خی دو (پاساک، ۲۰۰۱: ۳۱) استفاده کرده‌اند. در این مطالعه با توجه به توزیع‌های مورد استفاده و مزایای آزمون کلموگروف-اسمیرنف برای داده‌های پیوسته از این آزمون برای نیکویی برازش توزیع‌ها استفاده شد.

1 - Groisman

2 - Koshinchanov &amp; Dimitrov

3 - Shabri &amp; Ariff

برای برآورد فراسنج‌های توزیع از روش گشتاور خطی (فیضی و اسلامیان، ۱۳۸۴: ۶)، (بهاتاری، ۲۰۰۵: ۴۶)، (هالک-آلجریا و واتکینز، ۲۰۰۶: ۱۴)، (مدرس، ۱۳۸۶: ۸۷)، (مدرس، ۲۰۰۶: ۱۸)، (مدرس، ۲۰۱۰: ۲۳۷۱)، (مدرس و سرحدی-زاده، ۲۰۱۱: ۷۱)، (رائو و حامد، ۱۹۹۷: ۱۷۰) و (هوسکینگ، ۱۹۹۰: ۱۰۶) و روش بیشینه درست‌نمایی (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۰۷)، (واکازاکی، ۲۰۱۱: ۳۲)، (بن‌گایی، ۱۹۹۸: ۱۷۹)، (تام، ۱۹۵۸: ۱۱۹)، (ویلکس، ۱۹۹۰: ۱۵۰۰) روش گشتاور (خوشحال و همکاران، ۱۳۸۴: ۷۷)، (عساکره، ۲۰۰۸: ۸۲)، (اکسوی، ۲۰۰۰: ۴۲۱) و یا از هر دو روش بیشینه درست‌نمایی و گشتاور با هم (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۶۱) استفاده کرده‌اند. در این مطالعه از روش گشتاور خطی که در مطالعات زیادی به کار رفته، استفاده شده است.

نتایج مطالعات برخی دانشمندان در مورد توزیع فراوانی در مناطق مختلف را این‌گونه می‌توان خلاصه کرد: توزیع گاما برای نواحی جنوبی، لوگ بهنجار سه فراسنجی برای غرب و لوگ پیرسون تپ سه برای بقیه نواحی اردن مناسب است (داهاماش و اکسوی، ۲۰۰۶: ۲۱۲). بر اساس نمره‌های به دست آمده از شاخص‌ها در هیچ یک از پیمونگه‌های استان مازندران و گلستان توزیع خاصی برتری ندارد و با تغییر دوره آماری داده‌ها، مناسب‌ترین توزیع در ۸۸ درصد پیمونگه‌ها تغییر کرده و این اهمیت نیاز به استفاده از داده‌های بیشتر را می‌رساند؛ با وجود این، توزیع بهنجار دو فراسنجی بهترین برآزش را در همه دوره‌ها دارد (مهدوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۶۱). اگر چه به طور سنتی از توزیع گامای دو فراسنجی برای بارش استفاده می‌شود؛ اما ارزیابی نتایج آزمون نیکویی برآزش بر سری‌های بارش روزانه دستکاری نشده (هانسون و وگل، ۲۰۰۹: ۱۰) و بارش سالانه پیمونگه‌های استان کرمانشاه (حیدری و خزائی، ۱۳۸۲: ۱۰) توزیع پیرسون سه را مناسب می‌داند. توزیع بهنجار؛ به ویژه لوگ بهنجار سه فراسنجی به طور قابل توجهی داده‌های واقعی (شبری و آریف، ۲۰۰۹: ۱۰۵) و ویژگی‌های بارش را نمایش می‌دهد؛ اما به واسطه تغییرات ذاتی بارش، امکان انتخاب یک توزیع وجود ندارد. با وجود این، توزیع لوگ بهنجار دو فراسنجی برای سواحل مرطوب دریای مازندران و نواحی کوهستانی غیرمرتفع (مدرس، ۲۰۰۶: ۲۰) و برای داده‌های بارش ماهانه استان اصفهان توزیع گاما (رضیئی و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۰۷) مناسب است.

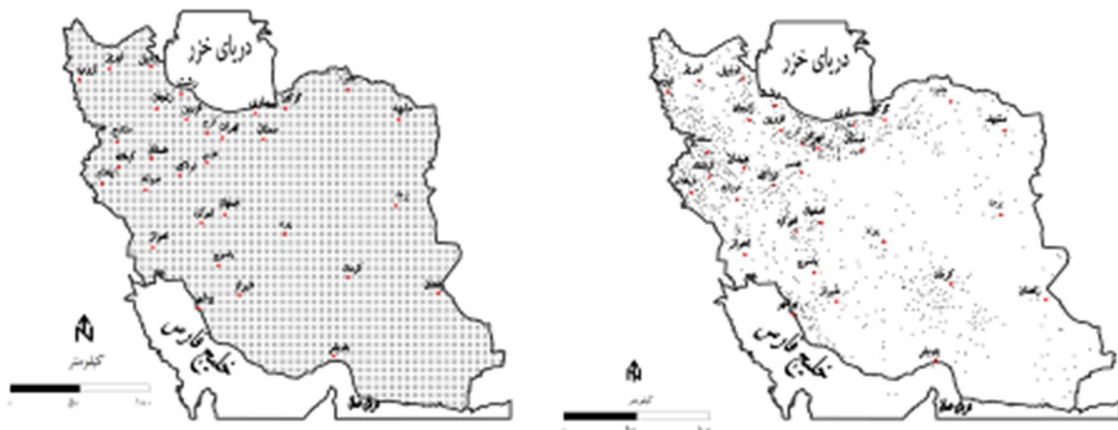
توزیع گامای دو فراسنجی برای داده‌های بارش روزانه بر اساس مطالعه اکسوی و نتایج مطالعات قبلی که ویلکس (۱۹۸۹) و کاتز (۱۹۷۷) انجام داده‌اند، مناسب است (اکسوی، ۲۰۰۰: ۴۲۷). واکاوی فراسنج‌های تابع توزیع گاما در اسرائیل تغییرات معنی‌دار آماری را نشان می‌دهد؛ به طوری که در جنوب تا ۶۰ درصد افزایش فراسنج شکل (بن-گایی، ۱۹۹۸: ۱۸۰) و در بارش سالانه ایران با برآزش توزیع گاما و تخمین فراسنج‌های آن در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۳ سه فاز تغییر در بارش مشهود است (عساکره، ۲۰۰۸: ۸۴).

بررسی نتایج حاصل از مطالعات پیشینه پژوهش، حکایت از آن دارد که با توجه به نوع داده‌ها، طول دوره آماری مورد مطالعه و بسته به شرایط بارش در مناطق مختلف، روش مطالعه تغییر خواهد کرد و امکان ارائه روشی یکسان و مشخص برای بررسی توزیع فراوانی بارش وجود ندارد. به همین جهت، در این مطالعه سعی بر آن است که با لحاظ نقاط ضعف و قوت روش‌های گوناگون مورد استفاده در پیشینه پژوهش و با توجه به هدف مطالعه یک روش ترکیبی به کار گرفته شود.

## داده‌ها و روش پژوهش

برای شناسایی و محاسبه فراسنج‌های توزیع فراوانی بارش‌های روزانه روزهای بارشی، در این پژوهش داده‌های بارش روزانه ۱۴۳۷ پیمونگاه همدید، اقلیمی و باران‌سنجی ایران (شکل ۱) در بازه زمانی ۱۳۴۰/۱/۱ تا ۱۳۸۲/۱۲/۲۹ (برابر با ۱۵۷۰۵ روز) به روش کریگینگ میانجی شد و در یاخته‌هایی به ابعاد ۱۵ \* ۱۵ کیلومتر قرار گرفت (شکل ۲).

آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف در هر یاخته برای توزیع‌های خانواده بهنجار (بهنجار استاندارد و لوگ بهنجار) و خانواده توزیع گاما (گامای دو فراسنجی و نمایی) محاسبه و برازنده‌ترین توزیع (مدل احتمال) یاخته‌ها بر اساس احراز شرایط لازم آماره آزمون مشخص شد. فراسنج‌های میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی برازنده‌ترین توزیع محاسبه و نگاشت آن رسم و نقشه‌ها تفسیر شد.



شکل ۱) موقعیت پیمونگاه‌های همدید، اقلیمی و باران‌سنجی مورد استفاده  
شکل ۲) شبکه‌بندی منظم ۷۱۸۷ یاخته به ابعاد ۱۵ \* ۱۵ کیلومتر

## توابع توزیع خانواده بهنجار و گاما

در عمل کمتر مشاهدات و رویدادهای طبیعی از توزیع بهنجار تبعیت کامل می‌کنند؛ زیرا در این توزیع نظری، دنباله‌ها با وجود نزدیکی به محور افقی از دو طرف تا مثبت و منفی بی‌نهایت ادامه پیدا می‌کنند و این ویژگی در عمل با واقعیت سازگاری ندارد و با واقعیت‌های طبیعی متناقض است. چنین محدودیت‌هایی موجب شده که توزیع فراوانی مقادیر واقعی تنها بتواند تقریبی از توزیع بهنجار باشد. بنابراین، ساده‌تر و عملی‌تر است که هر متغیر مورد مطالعه با استفاده از قاعده بهنجار، بر حسب نمره‌های استاندارد بیان شود؛ بدین معنی که مقادیر مربوط به متغیر تصادفی  $X$  که دارای توزیع بهنجار است، استاندارد شود. بنابراین، متغیر تصادفی استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ به وجود می‌آید. با تبدیل متغیر تصادفی به متغیر تصادفی، استاندارد مقیاس متغیر تغییر می‌کند، بنابراین، شکل واقعی توزیع بهنجار استاندارد وابسته به پراکندگی نمره‌های انحراف معیار در طول محور افقی است. این رده از توابع، بهنجار با فراسنج‌های میانگین صفر و انحراف معیار یک توزیع بهنجار استاندارد خوانده می‌شود. در این صورت، تابع چگالی احتمال توزیع بهنجار استاندارد به شرح رابطه ۱ به دست می‌آید (عساکره، ۱۳۹۰: ۳۷۵).

$$F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] \quad (1)$$

برآورد فراسنج‌های این توزیع با استفاده از شیوه گشتاورها و بیشینه درست‌نمایی مشابه است. برای توزیع بهنجار، فراسنج موقعیت و مقیاس به ترتیب بر میانگین و انحراف معیار منطبق هستند؛ اگرچه چنین چیزی لزوماً برای بیشتر توزیع‌ها صادق نیست.

گاهی برخی متغیرهای تصادفی از چولگی به راست کمی برخوردارند که برای مقارن شدن این متغیرها می‌توان آنها را به مقیاس لگاریتمی تبدیل کرد؛ به عبارت دیگر، در این توزیع به جای داده‌ها از مقادیر لگاریتمی<sup>۴</sup> معادل آنها استفاده می‌شود. روش برازش منحنی لگاریتمی مانند منحنی بهنجار است؛ با این تفاوت که به جای استفاده از مقادیر متغیر از لگاریتم آنها استفاده می‌شود. تابع چگالی توزیع لوگ بهنجار به شکل رابطه (۲) است:

$$F(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right], x > 0 \quad (2)$$

در این رابطه  $\mu_y$  میانگین و انحراف معیار، متغیر تبدیل یافته هستند. در واقع، نام توزیع لوگ بهنجار قدری گیج‌کننده است؛ زیرا متغیر تصادفی  $x$  آنتی لوگ متغیر است که از توزیع بهنجار پیروی می‌کند. برای متغیرهای اقلیمی که ارزش‌های بزرگتر از صفر اختیار می‌کنند و در عین حال، در بسیاری موارد دارای چوله به راست هستند، توزیع‌های خانواده گاما مناسبند؛ بارش و سرعت باد دو نمونه از این نوع متغیرها هستند. این تابع دارای کمیتی به نام تابع گاما  $\Gamma(\alpha)$  است (ویلکس، ۲۰۰۶: ۹۶).

تابع چگالی احتمال توزیع گاما به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$F(x) = \frac{(x/\beta)^{\alpha-1} \exp(-x/\beta)}{\beta\Gamma(\alpha)}, x, \alpha, \beta \in \mathcal{C} \quad (3)$$

فراسنج‌های میانگین (امید ریاضی) این توزیع برابر با  $\alpha\beta$ ، انحراف معیار آن برابر با  $\sqrt{\alpha\beta^2}$ ، چولگی برابر با  $\frac{1}{2\sqrt{\alpha}}$ ، و کشیدگی برابر با است.

تابع چگالی احتمال توزیع گاما بسته به فراسنج شکل از تنوع وسیعی شکل برخوردار است. برای  $\alpha = 1$  تابع محور عمودی را در مرکز قطع می‌کند. این مورد ویژه از توزیع گاما، توزیع نمایی نامیده می‌شود. به عبارت دیگر، برای مقدار توزیع گاما به توزیع نمایی تبدیل می‌شود و تابع چگالی احتمال آن به شکل رابطه (۴) است (واکازاکی، ۲۰۱۱: ۳۱):

$$F(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right), x \geq 0 \quad (4)$$

شکل تابع چگالی احتمال این توزیع، در واقع به صورت نمایی رو به کاهش می‌گذارد. رابطه ۴ برای واکاوی، انتگرال‌پذیر است. فراسنج‌های میانگین (امید ریاضی) این توزیع برابر با  $\beta$ ، چولگی برابر ۲ و کشیدگی برابر ۹ است.

4 -Log(x) یا Ln(x)

## آزمون نیکویی برازش

هرچند توزیع احتمال واقعی مشاهدات در عمل مجهول است؛ اما می‌توان با مطالعه تعدادی توزیع نظری و بر اساس نمونه‌های موجود، بهترین توزیع نظری مناسب را از طریق آزمون‌های آماری برگزید. به این توزیع‌های نظری، گاهی مدل‌های احتمال هم گفته می‌شود. انتخاب بهترین توزیع نظری (مدل احتمال)، برازش نامیده می‌شود. برازش دادن یک مدل در واقع انتخاب مدلی است که بهتر از هر مدل دیگری، رفتار مشاهدات را بیان کند و نمایشی از واقعیت‌هایی است که در طبیعت رخ داده و می‌دهد. روش‌های نیکویی برازش را می‌توان به دو گروه ترسیمی (شهودی، غیر رسمی، عینی و یا کیفی) و روش‌های برآورد فراسنج‌ها (کمی، رسمی) مبتنی بر آزمون فرض طبقه‌بندی کرد. در روش‌های کمی تشخیص نیکویی برازش، مجموعه‌ای از آزمون فرض‌ها برای ارزیابی فرض صفر (داده‌ها از توزیع مفروض استخراج شده‌اند) استفاده می‌شوند.

برای آزمون نیکویی برازش به کمک این آزمون، گام نخست استفاده از فرض صفر (بین توزیع تئوری و توزیع داده‌های تجربی هیچ گونه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد) است. گام بعدی انتخاب یک سطح اعتماد برای آزمون است؛ مثلاً سطح اعتماد ۵ درصد این پژوهش به این معنی است که آزمون در ۵ درصد موارد اشتباه و در ۹۵ درصد موارد صحیح است (علیزاده، ۱۳۹۰: ۷۴۱). آماره این آزمون در رابطه زیر مشخص شده است (اسلامیان و سلطانی، ۱۳۸۱: ۴۷):

$$D_n = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (5)$$

در اینجا احتمال تجمعی تجربی است که برای کوچک‌ترین مقدار  $I$  امین داده برآورد می‌شود و تابع توزیع تجمعی نظری است که در  $X$  ارزیابی می‌شود. بنابراین، آماره آزمون کلموگراف - اسمیرنوف بیشینه قدر مطلق تفاضل تابع توزیع تجربی و نظری را آشکار می‌کند:

$$C_\alpha = \frac{k_\alpha}{\sqrt{n} + 0.12 + 0.11/\sqrt{n}} \quad (6)$$

$$\alpha = 0.05 \text{ برای } k_\alpha = 1.358 \text{ و برای } k_\alpha = 1.628$$

فرض صفر برای رد می‌شود (ویلکس، ۲۰۰۶: ۱۴۸).

## برآورد فراسنج‌ها به روش گشتاورها

روش گشتاور یکی از قدیم‌ترین روش‌های برآورد فراسنج‌ها به‌شمار می‌آید که کارل پیرسون<sup>۵</sup> آماردان انگلیسی در ۱۸۹۴ به کار برده است. در این روش، بسته به تعداد فراسنج‌های هر توزیع از گشتاور مرتبه نخست، دوم، سوم و ... استفاده خواهد شد (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰: ۱۸۷). برآورد فراسنج‌های یک تابع توزیع احتمال در روش گشتاورها به وسیله معادل قرار دادن گشتاورهای نمونه با گشتاور تابع توزیع احتمال به دست می‌آیند. برای یک توزیع با  $k$  فراسنج،  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  باید برآورد شوند. ابتدا گشتاور نمونه معادل با گشتاورهایی که بر حسب فراسنج‌های مجهول معین

شده‌اند، قرار داده می‌شود. سپس این معادله به طور همزمان برای فراسنج‌های مجهول  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$  حل می‌شود (عساکره، ۱۳۹۰: ۳۴۶).

گرینود و همکارانش<sup>۶</sup> در سال ۱۹۷۹ مفهوم گشتاور موزون احتمال را معرفی کردند. گشتاور خطی مشابه گشتاورهای معمولی است که به وسیله آماره‌های مورد نظر ترکیب خطی تخمین زده می‌شود. گشتاور خطی همچنین به وسیله ترکیب خطی گشتاور موزون احتمال بیان می‌شود (رائو و حامد، ۱۹۹۷: ۱۷۰). برآورد فراسنج‌ها در روش گشتاور موزون (وزنی) احتمال<sup>۷</sup> مشابه گشتاورهای معمولی، مشخصه‌های توزیع احتمال را توصیف می‌کند. در این روش، مشابه با روش گشتاورها، با معادل قرار دادن گشتاورهای توزیع با گشتاورهای مربوط به نمونه‌ها به دست می‌آیند. برای یک توزیع با  $k$  فراسنج،  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k$  باید برآورد شوند. ابتدا  $k$  گشتاور نمونه معادل با گشتاورهای مربوط به جامعه قرار می‌گیرد. سپس معادلات حاصل به طور همزمان برای فراسنج‌های مجهول  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_k$  حل می‌شوند (اسلامیان و سلطانی، ۱۳۸۱: ۸۶).

یکی از فنون رایج در روش گشتاور، به گشتاور خطی<sup>۸</sup> موسوم است. این رویه گونه‌ای از گشتاورهای موزون احتمال را به کار می‌گیرد. در مقایسه گشتاور خطی با گشتاورهای معمولی که در آن ارزش داده‌ها، مربع، مکعب و ... می‌شود، احتمالات در گشتاورهای خطی ضرب می‌شود. در این رویه وزن کمتری به مقادیر بسیار کوچک و بسیار بزرگ داده می‌شود (عساکره، ۱۳۹۰: ۳۴۶). گشتاورهای موزون احتمال را به شکل رابطه (۷) تعریف می‌کنند:

$$\beta_r = E[x\{F(x)\}^r] \quad (7)$$

که به شکل رابطه (۸) هم بازنویسی می‌شود:

$$\beta_r = \int_0^1 x(F)F^r dF \quad (8)$$

در این رابطه  $F = F(x)$  تابع توزیع تجمعی برای  $x$  است. معکوس تابع توزیع تجمعی در احتمال  $F$  ارزیابی می‌شود و  $0, 1, 2, \dots, r$  عدد صحیح غیر منفی است. وقتی  $r = 0$  باشد  $\beta_0$  برابر میانگین توزیع  $E[x] = \mu$  است. برای هر توزیع  $r$  امین  $\lambda_r$  گشتاور خطی وابسته به  $r$  امین تابع موزون احتمال به طریق رابطه (۹) است:

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^r \beta_k (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad (9)$$

## یافته‌های پژوهش

### مقایسه میزان برازش توزیع‌های خانواده گاما و بهنجار

هدف این قسمت، مقایسه آماره آزمون نیکویی برازش برای چهار توزیع برازش داده شده بر داده‌هاست و مقایسه مقدار آماره با سطح بحرانی برای آزمون فرض صفر و مقابل در قسمت بعد صورت می‌گیرد. در میان توزیع‌ها، توزیع گاما مناسب‌ترین آماره‌های آزمون را به خود اختصاص داده است؛ زیرا قدر مطلق آماره‌های این توزیع کمترین مقدار را دارد. توزیع نمایی در رتبه دوم و توزیع لوگ بهنجار در رتبه سوم و توزیع بهنجار استاندارد در رتبه آخر قرار دارد

6 - Greenwood et al.

7 -Probability Weighted Moment

8 -L-Moment

(جدول ۱). به عبارتی، توزیع تجربی داده‌های بارش روزانه روزهای بارشی ۷۱۸۷ یاخته روی ایران با توزیع نظری گاما و نمایی شباهت بیشتری از توزیع نظری لوگ بهنجار و بهنجار استاندارد دارد.

جدول (۱) آماره‌های آزمون کلموگروف-اسمیرنف بارش روزانه برای توزیع‌های چهارگانه خانواده بهنجار و گاما

آماره	توزیع	بهنجار استاندارد	لوگ بهنجار	گاما	نمایی
مجموع		۴۵۵۱	۴۱۵۲	۷۰۰	۹۲۱
کمینه		۰/۶	۰/۵	۰/۰۵	۰/۰۵
بیشینه		۰/۷	۰/۷	۰/۱۶	۰/۲۴
میانگین		۰/۶۳	۰/۶	۰/۰۹	۰/۱۳

مقایسه قدر مطلق آماره آزمون در هر یاخته با میانگین قدر مطلق آماره در تمام یاخته‌ها برای توزیع گاما نشان می‌دهد در ۵۰ درصد مساحت کشور شامل ارتفاعات زاگرس و دامنه‌های آن، شمال غرب، ارتفاعات البرز و دامنه‌های شمالی تا دریای مازندران و دامنه‌های جنوبی تا شمال سمنان و جنوب تهران و کرج، شمال شرق تا جنوب بیرجند، اطراف کرمان و یزد و جنوب شرق در محدوده شهرستان سرپاز و نیک‌شهر، قدر مطلق آماره آزمون کمتر از میانگین است؛ یعنی این مناطق نسبت به دیگر مناطق کشور، توزیع تجربی نزدیک‌تری به توزیع نظری گاما دارند. در عوض، ۴۹ درصد از مساحت کشور شامل ایران مرکزی، سراسر سواحل جنوب و استان سیستان و بلوچستان مناطقی هستند که توزیع تجربی آنها نسبت به مناطق طبقه قبل شباهت کمتری به توزیع نظری گاما دارند و در ۱ درصد از کشور که در یک منطقه متمرکز نیست، آماره آزمون قدر مطلق برابر با میانگین قدر مطلق آماره در تمام یاخته‌ها برای توزیع گاما دارند (شکل ۳). نگاشت مقایسه آماره قدر مطلق آماره آزمون با میانگین آماره در توزیع نمایی نشان می‌دهد در ۵۳/۳ درصد از مساحت کشور شامل ارتفاعات زاگرس و دامنه‌های آن تا مرزهای غربی و جنوب غربی، شمال غرب کشور به غیر از مرکز آذربایجان، ارتفاعات البرز و دامنه‌های شمالی آن تا دریای مازندران و دامنه‌های جنوبی تا شمال سمنان و جنوب تهران و کرج، شمال شرق کشور تا جنوب بیرجند به غیر از محدوده قائنات خراسان جنوبی، جنوب شرق استان سیستان و بلوچستان و سواحل جنوب کشور در استان خوزستان از غرب بوشهر تا جلگه خوزستان و سواحل چابهار قدر مطلق آماره آزمون کمتر از میانگین این آماره است؛ یعنی این مناطق نسبت به دیگر مناطق کشور، توزیع تجربی نزدیک‌تری به توزیع نظری نمایی دارند. در مقابل، ۴۴ درصد از مساحت کشور شامل ایران مرکزی و سواحل جنوب کشور از غرب جاسک تا بوشهر و مناطق اطراف تبریز، اردبیل، زنجان و قزوین و قائنات در خراسان جنوبی، مناطقی هستند که توزیع تجربی آنها نسبت به منطقه قبلی شباهت کمتری به توزیع نظری نمایی دارد و در ۲/۷ درصد از مساحت کشور که بیشتر در مناطق حائل دو منطقه قبل قرار دارد و در یک منطقه متمرکز نیست.

قدر مطلق آماره آزمون برابر با میانگین آماره آزمون نمایی است (شکل ۴).



شکل ۳ مقایسه آماره آزمون K-S هر یاخته با میانگین آزمون برای توزیع گاما (شکل ۴) مقایسه آماره آزمون K-S هر یاخته با میانگین آزمون برای توزیع نمایی

با توجه به شکل (۵) از جهت مقایسه‌ای ۵۱/۹ درصد از مساحت کشور شامل ایران مرکزی از سمنان تا شمال بندرعباس، بخش‌های شمالی استان سیستان و بلوچستان و بخشی از شمال استان هرمزگان و بخشی از مرکز و جنوب استان خراسان شمالی، جنوب و غرب خراسان رضوی و بخش شمالی آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل قدر مطلق آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف آنها از میانگین کمتر است؛ به عبارتی، در این مناطق نسبت به دیگر مناطق ایران توزیع تجربی داده‌ها به تابع توزیع نظری لوگ بهنجار شباهت بیشتری دارد، در حالی که ۴۵/۷ درصد مساحت کشور در شمال-شرق، نوار البرز، سواحل دریای مازندران، مرزهای غربی و جنوب غربی تا جلگه باهو کلات در جنوب شرق که از طرف شرق تا اراک و اصفهان کشیده شده و پهنه زاگرس را در بر می‌گیرند، مناطقی هستند که اختلاف تابع تجربی آنها با تابع نظری لوگ بهنجار نسبت به مناطق قبل بیشتر است و حدود ۲/۴ درصد از مساحت کشور دارای قدر مطلق برابر با میانگین آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف هستند. این مناطق در محل انتقال بین دو منطقه قبل قرار دارند.



شکل ۵ مقایسه آماره آزمون K-S هر یاخته با میانگین برای توزیع لوگ بهنجار کل (شکل ۶) مقایسه آماره آزمون K-S هر یاخته با میانگین برای توزیع بهنجار استاندارد

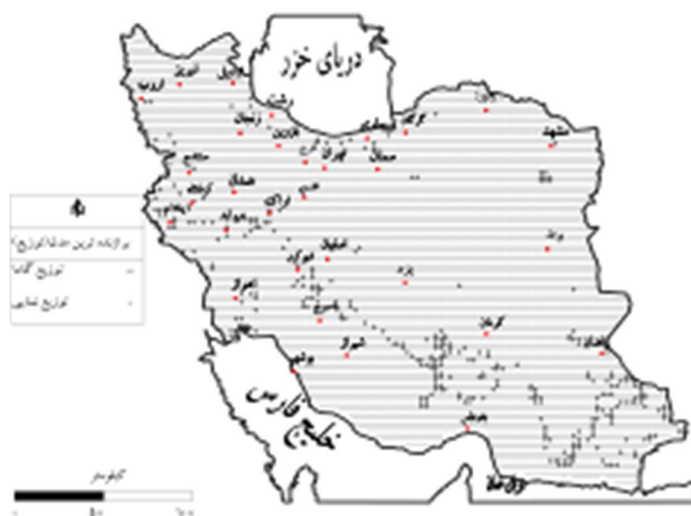
بر اساس نقشه نگاشت آماره آزمون برای توزیع بهنجار استاندارد از جهت مقایسه‌ای ۴۸ درصد از مساحت کشور شامل ایران مرکزی، بخش‌های شمالی استان سیستان و بلوچستان و مرکز استان هرمزگان و بخشی از استان‌های خراسان

شمالی، قزوین، زنجان و آذربایجان شرقی و غربی قدر مطلق آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف آنها از میانگین کمتر است؛ به عبارتی، نسبت به دیگر مناطق ایران توزیع تجربی داده‌های این مناطق به تابع توزیع نظری بهنجار استاندارد شباهت بیشتری دارد، در حالی که ۴۶ درصد مساحت کشور که گوشه شمال شرق، بخش شمالی و اطراف بیرجند در استان خراسان جنوبی، دامنه شمالی و جنوبی البرز، سواحل دریای مازندران، شمال غرب، غرب و جنوب غرب تا نزدیکی بندر لنگه و یک نوار بین میناب هرمزگان تا سراوان سیستان و بلوچستان را در بر می‌گیرد، مناطقی را شامل می‌شود که اختلاف تابع تجربی آنها با تابع نظری بهنجار استاندارد نسبت به مناطق قبل بیشتر است و حدود ۶ درصد از مساحت کشور دارای قدر مطلق برابر با میانگین آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف است. این مناطق در محل انتقال بین دو منطقه قبل قرار دارند (شکل ۶). به سخنی دیگر، مقایسه شکل (۳) تا شکل (۶) را این گونه می‌توان تفسیر کرد که اگر ما ملزم به برازش توزیع گاما بر بارش روزانه کشور باشیم، از جهت مکانی مناطق کوهستانی شمال شرق، شمال غرب، ارتفاعات زاگرس، ارتفاعات ایران مرکزی در اطراف یزد و کرمان و جنوب شرق کشور که بارش دارای چولگی است، برازش بهتری با تابع نظری گاما نسبت به سایر مناطق ایران دارد. در شکل (۴) پهنه‌هایی از ایران شامل شمال شرق، سواحل دریای مازندران، ارتفاعات البرز، ارتفاعات زاگرس و دامنه‌های آن و جنوب شرق که بارش روزانه چولگی زیادی دارد، برازش بهتری با تابع نظری نمایی نسبت به سایر مناطق ایران دارند. و اما در شکل‌های (۵) و (۶) که به توزیع لوگ بهنجار و بهنجار استاندارد مربوط است، این مناطق مرکزی و شرقی ایران هستند که نسبت به سایر مناطق ایران با توابع نظری این دو توزیع برازش بهتری دارند. از لحاظ تئوری هم این نکته مورد تأیید است که توزیع لوگ بهنجار با بارش مناطق با چولگی کم، برازش بهتری نسبت به مناطق دارای چولگی شدید دارد. بر این نکته، مجدد تأکید می‌شود که بررسی شباهت بین تابع توزیع تجربی داده‌ها در این مناطق و توزیع‌های نظری که در این قسمت صورت گرفت، به معنی تأیید آماری برازش این توزیع‌ها بر داده‌های بارش این مناطق نیست و جنبه مقایسه‌ای دارد.

### پهنه‌بندی ایران بر اساس مدل‌های احتمال

برازنده‌ترین توزیع هر یاخته از بین چهار توزیع بهنجار استاندارد، لوگ بهنجار، گاما و نمایی انتخاب شده و توزیعی که توانسته مطلوب‌ترین شرایط لازم آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف در هر یاخته را کسب کند، به عنوان برازنده-ترین توزیع (مدل) برازش یافته بر هر یاخته انتخاب شده است. دو توزیع گامای دو فراسنجی و توزیع نمایی موفق به احراز شرایط لازم آزمون و به عنوان برازنده‌ترین توزیع‌های روزهای بارشی روزانه در ایران شناخته شدند. از میان ۷۱۸۷ یاخته ۱۵\*۱۵ کیلومتری که مساحت ایران را در بر می‌گیرد، تابع تجربی بارش روزهای بارشی ۶۸۶۱ یاخته از تابع نظری گاما و تابع تجربی ۳۲۶ یاخته از توزیع نظری نمایی پیروی می‌کنند. توزیع تجربی بارش روزانه روزهای بارشی مناطق بین سمنان، تهران، کرج و ساری، محدوده تربت حیدریه در خراسان رضوی، دامنه شرقی زاگرس، مناطق بین حاجی‌آباد هرمزگان تا حاجی‌آباد فارس، شمال چابهار تا مرز ایران و پاکستان در محدوده شهرستان سراوان و لکه‌های پراکنده اطراف زاهدان، قزوین، زنجان، ارومیه، سنندج، کرمانشاه، اصفهان، اهواز و ایلام که حدود ۴/۵ درصد از مساحت ایران را در بر می‌گیرد، از تابع توزیع نظری نمایی پیروی می‌کند و در مجموع، دامنه‌های شرقی زاگرس و گوشه جنوب شرق ایران بیشترین تمرکز در مناطق با چولگی شدید و تبعیت از تابع توزیع نظری نمایی را به خود

اختصاص داده است. در مقابل، توزیع تجربی ۹۵/۵ درصد از مساحت کشور شامل سراسر سواحل دریای مازندران، سواحل دریای عمان و خلیج فارس، دامنه‌های غربی زاگرس تا مرزهای غربی و جنوب غربی، شمال غرب، شمال شرق، ایران مرکزی و شرق ایران در شمال زاهدان از توزیع گامای دو فراسنجی تبعیت می‌کند (شکل ۱۱).



شکل ۷) مدل (توزیع) انتخابی هر یاخته

### برآورد فراسنج‌های برازنده‌ترین مدل هر یاخته

به جهت عدم تأیید برآزش توزیع‌های خانواده بهنجار با آزمون نیکویی برآزش کلموگروف-اسمیرنف بر داده‌ها، نگاشت فراسنج‌های برازنده‌ترین مدل در هر یاخته محاسبه و رسم شده است. میانگین (امید ریاضی) بارش ارزش مورد انتظار متغیر بارش است؛ به عبارتی، مقدار میانگین دراز مدت بارش مورد انتظار بر اساس تابع احتمال برازنده بر بارش است. در ۶۸ درصد از مساحت کشور شامل ایران مرکزی، دامنه‌های جنوبی البرز، شمال شرق، شمال غرب، گوشه جنوب غرب و استان‌های قم، البرز، مرکزی و قسمتی از استان‌های زنجان، قزوین و همدان، انتظار میانگین بارش بین ۱ تا ۵ میلی‌متر را بر اساس تابع توزیع برازنده بر هر مدل داریم. این محدوده از کشور پایین‌ترین طبقه بارش را به خود اختصاص داده است. این میزان بارش در صورتی که در روزهای با دمای بالا اتفاق بیفتد، در عمل از دسترس خارج شده و بارش مؤثری برای کشاورزی و منابع آب محسوب نمی‌شود. در ۲۷ درصد از مساحت کشور که منطبق بر ارتفاعات زاگرس و دامنه‌های غربی تا مرزهای غربی کشور، سواحل دریای عمان با کمترین پهنا در سواحل چابهار، سواحل خلیج فارس، لکه‌های پراکنده منطبق بر ارتفاعات کرمان و سواحل دریای مازندران (به غیر از سواحل شرقی و مناطق مجاور رشت) میانگین مورد انتظار بارش بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر است. با این تفسیر، در ۹۵ درصد از مساحت کشور ما انتظار میانگین بارش روزانه درازمدت زیر ۱۰ میلی‌متر را داریم و این نشانی از کم بودن بارش مورد انتظار در یک روز است؛ به عبارتی، این مناطق قلمرو سامانه‌های بارشی است که توان ایجاد بارش محدود را دارند. در ۴ درصد از مساحت کشور که بیشتر در جنوب شرق، سواحل شمال در اطراف رشت، نقاط مرتفع زاگرس و دامنه‌های شرقی زاگرس (به خصوص در زاگرس جنوب شرقی) قرار گرفته، انتظار بارش بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر را داریم. در ۰/۸ درصد از مساحت کشور که بزرگترین پهنه آن در سواحل اطراف ساری و ارتفاعات زاگرس در محدوده یاسوج تا شهر کرد قرار دارد، میانگین بارش

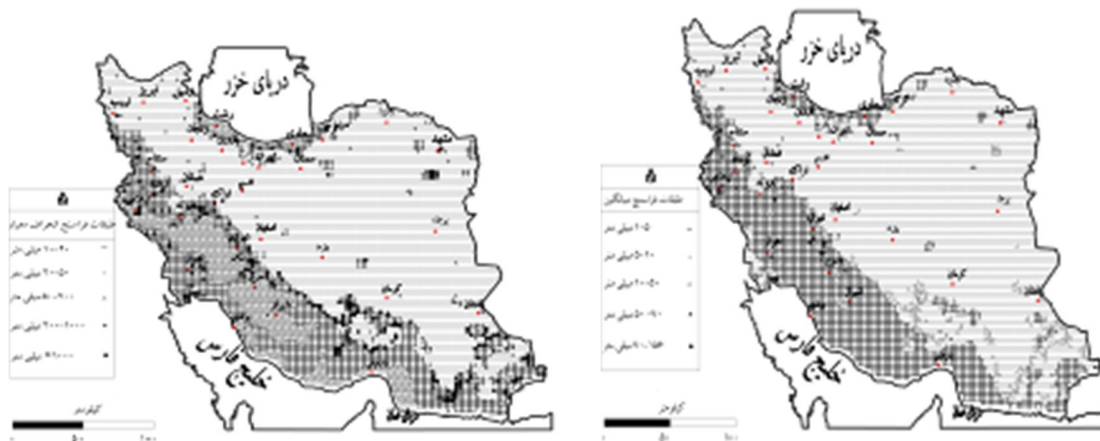
مورد انتظار بین ۵۰ تا ۷۰ میلی‌متر و در ۰/۳ درصد از مساحت کشور که بیشینه میانگین بارش مورد انتظار کشور را به خود اختصاص داده، انتظار بارش بین ۷۰ تا ۱۵۶ میلی‌متر داریم. این مناطق به صورت لکه‌هایی بین ارتفاعات یاسوج تا شهر کرد، اطراف اهواز، غرب ایلام و جنوب غرب رشت به چشم می‌خورد (شکل ۸).

بر اساس نقشه فراسنج انحراف معیار برازنده‌ترین تابع توزیع هر یاخته، کمترین میانگین انحراف بارش از میانگین مربوط به ایران مرکزی، شمال شرقی، ترکمن صحرا در استان گلستان و شمال غرب است. این مناطق که ۶۲/۵ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد، بارش نسبت به میانگین به طور متوسط بین ۱ تا ۲۰ میلی‌متر انحراف دارد. در این پهنه از کشور کمترین تغییرپذیری بارش روزانه نسبت به دیگر نواحی ایران وجود دارد؛ اما با توجه به کم بودن میانگین بارش این میزان انحراف از میانگین قابل توجه است. در دومین طبقه از انحراف معیار با میانگین انحراف معیار بین ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر بارش که حدود ۲۲/۴ درصد از مساحت کشور شامل دامنه‌های شرقی و غربی زاگرس، ارتفاعات بارز کرمان، ارتفاعات سیاه‌کوه خراسان رضوی، پس کرانه‌های سواحل خلیج فارس و دریای عمان و دامنه جنوبی البرز را در بر می‌گیرد، بارش روزانه به طور میانگین بین ۲۰ تا ۵۰ میلی‌متر تغییر می‌کند. سومین طبقه از جهت نوسان و عدم اطمینان به بارش که ۱۰/۵ درصد از مساحت کشور را شامل می‌شود، بر نقاط مرتفع زاگرس، سواحل شمال تنگه هرمز و سواحل اطراف بندر لنگه و بوشهر و دامنه‌های جنوبی البرز منطبق است. در حدود ۴/۵ درصد از کشور که بیشتر در حد فاصل مناطق ورود از ارتفاعات زاگرس به ایران مرکزی قرار دارد و لکه‌های پراکنده‌ای بین بافت تا سیرجان در استان کرمان، اطراف ایران شهر و نیک‌شهر در استان سیستان و بلوچستان و ارتفاعات اطراف تربت حیدریه در خراسان رضوی نوسان بارش به بیشینه خود رسیده و عدم اطمینان به بارش کشور بیشینه می‌شود (شکل ۹).

فراسنج چولگی توزیع برازنده بر داده‌های ایران در سه طبقه قرار گرفته است، بخش‌هایی از جنوب شرق ایران، مرز استان هرمزگان و سیستان و بلوچستان و مناطق اطراف سیرجان و استهبان دارای قدر مطلق فراسنج چولگی ۲ هستند. مناطق با این مقدار از فراسنج چولگی، مناطق با توزیع گامای یک فراسنجی (نمایی) را نشان می‌دهد. در این محدوده احتمال وقوع بارش‌های زیاد کاهش یافته و بارش به شدت چوله حاکم می‌شود. این مناطق مساحتی نزدیک به ۴/۵ درصد از مساحت کشور را در بر می‌گیرد. در سرتاسر شمال غرب تا حوالی خرم‌آباد و ایلام، شمال شرقی، دامنه‌های جنوبی البرز و ایران مرکزی از غرب تا مرزهای غربی استان‌های اصفهان و یزد و از جنوب تا مرزهای جنوبی استان کرمان و بخش‌های شمالی استان سیستان و بلوچستان قدر مطلق فراسنج چولگی توزیع گامای دو فراسنجی بین ۱ تا ۲ قرار دارد. در ۶۹/۶ درصد از مساحت کشور چنین شرایطی حاکمیت دارند. در این محدوده از ایران اگرچه بارش روزانه چوله به راست است؛ اما نسبت به دو محدوده دیگر ایران از چولگی با شدت کمتری برخوردار است. در عوض ارتفاعات زاگرس از جنوب خرم‌آباد و ایلام، سواحل دریای عمان و خلیج فارس و سواحل دریای مازندران در کنار لکه‌هایی در اطراف شهرستان‌های بانه در استان کردستان، شاهرود در استان سمنان و رفسنجان در استان کرمان با مساحتی نزدیک به ۲۶ درصد از مساحت کشور مقدار فراسنج چولگی بین ۲ تا ۲/۵ است. این مناطق بیشترین چولگی به راست را در بین مناطق با داده‌های بارشی که از توزیع گاما پیروی می‌کنند، به خود اختصاص داده‌اند. در این مناطق فراوانی وقوع بارش‌های زیر میانگین بیشتر از وقوع بارش‌های بالاتر از میانگین است (شکل ۱۰).

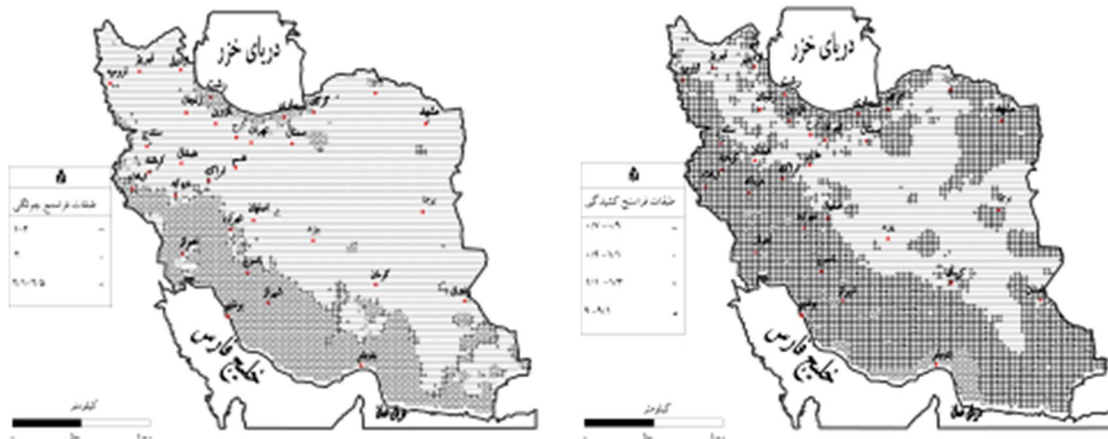
در مساحتی حدود ۴/۵ درصد از مساحت کشور شامل بخش‌هایی از جنوب شرق ایران، محدوده ارتفاعات اطراف تربت حیدریه در خراسان رضوی، مرز استان هرمزگان و سیستان و بلوچستان و مناطق اطراف سیرجان در استان کرمان استهبان در استان فارس قدر مطلق فراسنج کشیدگی ۹ است. مناطق با این مقدار از فراسنج کشیدگی، مناطق با توزیع گامای یک فراسنجی (نمایی) را نشان می‌دهند. این مناطق کمترین تقارن در وقوع بارش روزانه کشور را به خود اختصاص داده‌اند.

ایران مرکزی با زبانه‌هایی به سمت شمال غرب، شمال شرق در محدوده بجنورد و بیرجند، جنوب شرق استان کرمان محدوده جیرفت و جنوب زابل و با مساحتی بالغ بر ۳۷/۳ درصد مساحت کشور کمترین میزان افراستگی و تمرکز در داده‌های بارش به میزان بین ۰/۷ تا ۰/۹ وجود دارد. در ۵۵ درصد از مساحت کشور که از جنوب ارومیه شروع شده و نیمه غربی، جنوب غربی، جنوب شرقی و سواحل جنوب کشور به غیر از سواحل تنگه هرمز را در بر می‌گیرد. با حرکت در راستای زاگرس، گستره این نوار ممتد افزایش یافته و از جنوب کرمان تا آخرین نقطه مرز ایران و عراق در جلگه خوزستان را در بر می‌گیرد. بخش‌هایی از شمال شرق، شرق و مرکز استان خراسان رضوی و سواحل دریای مازندران هم در طبقه قدر مطلق افراستگی بین ۰/۹ تا ۱/۱ قرار می‌گیرند. در این مناطق افراستگی و تمرکز در داده‌های بارش نسبت به منطقه قبل افزایش می‌یابد. در سواحل دریای مازندران بین رشت و ساری، سواحل جنوب کشور حد فاصل سواحل بندر جاسک تا غرب بندر چارک در استان هرمزگان و محدوده دزفول و اندیمشک استان خوزستان و لکه‌های پراکنده‌ای در ارتفاعات زاگرس با ۳/۲ درصد مساحت ایران از بیشترین قدر مطلق فراسنج کشیدگی در مناطقی که توزیع تجربی آنها از توزیع نظری گاما پیروی می‌کند، برخوردارند (شکل ۱۱).



شکل ۹) طبقات فراسنج انحراف معیار بارش مدل احتمال

شکل ۸) طبقات فراسنج میانگین بارش مدل احتمال



شکل ۱۱) طبقات فراسنج کشیدگی بارش مدل احتمال

شکل ۱۰) طبقات فراسنج چولگی بارش مدل احتمال

بخشی از ارتفاعات زاگرس و جنوب شرق کشور میانگین بارش مشابه دارند؛ اما عدم اعتماد به بارش و چولگی در جنوب شرق نسبت به سایر مناطق کشور بیشینه شده و تعداد بارش‌های کم افزایش پیدا می‌کند. در دامنه‌های شرقی زاگرس و در حد فاصل ورود از ارتفاعات زاگرس به بدنه داخلی ایران، میزان بارش مورد انتظار از بخش زیادی از زاگرس بیشتر است؛ اما کمینه اعتماد به بارش ایران هم در این مناطق به چشم می‌خورد و تعداد بارش‌های کم زیاد است.

### نتیجه‌گیری

پهنای ایران و موقعیت آن در ارتباط با سامانه‌های متنوع بارشی موجب شده بارش کشور از پراکندگی مکانی و زمانی، تنوع و ناهمگونی زیادی برخوردار باشد. بنابراین، در هر مطالعه‌ای که بر روی بارش صورت می‌گیرد، باید به این ویژگی‌های ذاتی توجه شود.

محاسبه آماره آزمون کلموگروف-اسمیرنف در مورد چهار توزیع از خانواده بهنجار و گاما نشان می‌دهد از جهت مقایسه‌ای تابع توزیع تجربی داده‌های بارش روزانه روزهای بارشی به ترتیب با توزیع نظری گاما، توزیع نظری نمایی، توزیع نظری لوگ بهنجار و توزیع نظری بهنجار استاندارد شباهت دارد. نتایج برازش هر چهار توزیع بر داده‌های بارش روزهای بارشی تک‌تک یاخته‌ها نشان می‌دهد تنها دو تابع توزیع گامای دو فراسنجی و نمایی توانسته‌اند شرایط آزمون کلموگروف-اسمیرنف را به عنوان برآورده‌ترین توزیع کسب کنند. از میان ۷۱۸۷ یاخته  $15 \times 15$  کیلومتری که کل مساحت ایران را پوشش می‌دهد، تابع تجربی بارش روزهای بارشی ۶۸۶۱ یاخته معادل ۹۵/۵ درصد از مساحت کشور در سراسر سواحل دریای مازندران، سواحل دریای عمان و خلیج فارس، دامنه‌های غربی زاگرس تا مرزهای غربی و جنوب غربی کشور، شمال غرب، شمال شرق، ایران مرکزی و شرق در شمال زاهدان از توزیع نظری گامای دو فراسنجی و تابع تجربی ۳۲۶ یاخته معادل ۴/۵ درصد از مساحت کشور شامل مناطق بین سمنان، تهران، کرج و ساری، محدوده تربت-حیدریه در خراسان رضوی، دامنه شرقی زاگرس، مناطق بین حاجی‌آباد هرمزگان تا حاجی‌آباد فارس، شمال چابهار تا مرز ایران و پاکستان در محدوده شهرستان سراوان از توزیع نظری نمایی پیروی می‌کنند.

فراسنج‌های میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی برازنده‌ترین توزیع محاسبه و نگاشت آن رسم شد. در ۶۸ درصد از مساحت کشور شامل ایران مرکزی، شمال شرق، شمال غرب و جلگه خوزستان انتظار میانگین بارش بین ۱ تا ۵ میلی‌متر را بر اساس تابع توزیع برازنده بر هر مدل داریم. این محدوده از کشور پایین‌ترین طبقه بارش را به خود اختصاص داده است. این میزان بارش در صورتی که در روزهای بادماي بالا اتفاق بیفتد، در عمل از دسترس خارج شده و بارش مؤثری برای کشاورزی و منابع آب محسوب نمی‌شود. در ۲۷ درصد از مساحت کشور منطبق بر ارتفاعات زاگرس تا مرزهای غربی کشور، سواحل دریای عمان و خلیج فارس، ارتفاعات کرمان و سواحل دریای مازندران میانگین مورد انتظار بارش بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر است و در ۵ درصد از کشور انتظار بلندمدت بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر است.

در ۱۵ درصد از مساحت کشور در ارتفاعات زاگرس، ارتفاعات البرز و گوشه جنوب شرق، میانگین انحراف از میانگین به بیش از ۵۰ میلی‌متر می‌رسد و تغییرپذیری بارش بیشینه و اطمینان به بارش کمینه می‌شود و در عوض تغییرپذیری بارش نواحی شمال شرق، شمال غرب و ایران مرکزی به طور میانگین کمتر از ۵۰ میلی‌متر است. بارش روزانه ایران دارای چولگی به راست است و در سواحل جنوب و شمال کشور و نیمه جنوبی زاگرس این چولگی به راست بارش ایران بیشینه می‌شود.

## منابع

- ۱- رام‌چاندر، راتو؛ آ، حامد و خالد، ح. ترجمه سید سعید اسلامیان، و سعید سلطانی. (۱۳۸۱). *تحلیل فراوانی سیل*، انتشارات ارکان.
- ۲- رحیم‌زاده، فاطمه. (۱۳۹۰). *روش‌های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی*، انتشارات حسینی.
- ۳- رضیئی، طیب و عزیزی، قاسم. (۱۳۸۸). شناخت مناطق همگن بارشی در غرب ایران، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، سال ۲۰، شماره پیاپی ۳۴.
- ۴- عساکره، حسین. (۱۳۸۷). کاربرد روش کریگینگ در میانمایی بارش مطالعه موردی: میانمایی بارش ۱۳۷۶/۱۲/۲۶ در ایران زمین، *جغرافیا و توسعه*، ش ۱۲، ۲۵-۴۲.
- ۵- \_\_\_\_\_ (۱۳۹۰). *مبانی اقلیم‌شناسی آماری*، انتشارات دانشگاه زنجان.
- ۶- \_\_\_\_\_ (۱۳۹۱). *تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ش ۴۵، ۶۶-۵۱.
- ۷- مسعودیان، سید ابوالفضل. (۱۳۹۰). *اقلیم‌شناسی ایران*، اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ دوم.
- ۸- \_\_\_\_\_ (۱۳۷۷). *بررسی نظام تغییرات زمانی- مکانی بارش در ایران زمین*، پایان نامه دوره دکترا، به راهنمایی دکتر حسنعلی غیور، گروه جغرافیا، دانشگاه اصفهان.

9-Aksoy, H. (2000). *Use of Gamma Distribution in Hydrological Analysis*, Turk. J. Engin. Environ. Sci., 24, pp. 419 – 428.

10-Asakereh, H. (2008). *The changes of precipitation frequency distribution in Iran*, Journal of Humanities , University of Isfahan, Vol. 30(2),pp. 81-90.

- 11- Ben-Gai T., A. Bitan, A. Manes, P. Alpert, and S. Rubin. (1998). **Spatial and temporal changes in rainfall frequency distribution patterns in Israel**. Theoretical Applied Climatology, Vol.61, pp.177-190.
- 12-Ferdows,M. and Hossain, M. (2005). **Flood frequency analysis at different rivers in Bangladesh A: comparison study on probability distribution functions**, Thammasat Int. J. Sc. Tech., vol. 10,No. 3, pp.53-62.
- 13-Hosking, J. R. M. (1996). **Some theoretical results concerning L-moments**, IBM Research Division, Yorktown Heights, NY 10598, pp.1-9.
- 14-Koshinchanov,G and Dimitrov, D.(2008), **Precipitation intensity probability distribution modeling for hydrological and construction design purposes**, XXIVth conference of the Danubian countries, pp.1-12.
- 15-Mahdavi, M., Osati, Kh., Sadeghi, S.A.N., Karimi, B., and Mobaraki, j. (2010). **Determining suitable probability distribution models for annual precipitation data (a case study of Mazandaran and Golestan provinces)**, Journal of Sustainable Development, Vol 3(1), pp. 159-168.
- 16-Modarres, R. (2006). **Regional precipitation climates of Iran**, Journal of Hydrology (NZ) 45 (1), pp. 13-27.
- 17- Modarres, R. (2010). **Regional Dry Spells Frequency Analysis by L-Moment and Multivariate Analysis**, Water Resour. Manage., pp.2365-2380.
- 18-Pathak, C,S.(2001). **Frequency analysis of daily rainfall maxima for central and south Florida**, technical publication EMA 390, pp.1-71.
- 19-Shabri, A., and Ariff, N.M. (2009). **Frequency analysis of maximum daily rainfalls via L-moment approach**. Sains Malaysiana 38(2), pp. 149-158.
- 20-Wakazuki ,Y.(2011). **New distribution functions for hourly and daily precipitation intensities during the snowless season in Japan**, Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 89, No. 1, pp. 29-45.
- 21-Wilks,D.S. and Eggleston,K.(1992),**Notes and Correspondence estimating monthly and seasonal precipitation distributions using the 30 and 90 day outlooks**, journal of climate,Vol.5, pp.252-259.
- 22-Wilks, D. S. (2006). **Statistical methods in the atmospheric sciences**, Second Edition, Academic Press. Elsevier Inc.U.S.A.pp. 627.
- 23-Yurekli, K., Kurunc, A. and Gul, S. (2005), **Frequency analysis of low series from cekerek stream basin**, tarim bilimleri dergisi, 11 (1) 72-77.
- 24- Zafirakou-Koulouris, A., Vogel, R. M. Scott M. Craig, S .M., and Habermeier,J., (1998), **L moment diagrams for censored observations**, Water Resources Research, Vol. 34, No. 5, pp. 1241-1249.