تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال ششم، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹
Volume 6, No. 1, Spring 2010 (IR-WRR)
۵۱-۵۵

تحلیل توزیع احتمال بارش سالانه استان گلستان

حسین عساکره[۱]* و فرشته مازینی[۲]

چکیده

برازش توزیع‌های احتمالاتی مناسب بر عناصر اقلیمی نظیر بارش قادر است نوع توزیع و فراسنج‌های شکل و مقیاس مربوط را برآورد نماید. در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های ماهانه ۵۱ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران سنجی طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۵، مربوط به سازمان هواشناسی کل کشور و آب منطقه‌ای استان گلستان، توزیع احتمال، فراسنج شکل و فراسنج مقیاس سری‌های زمانی بارش هر ایستگاه برآورد و توزیع مکانی آن در پهنه استان گلستان به روش آماری ـ ترسیمی تحلیل شده است.

نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان دادند که توزیع احتمالات بارش فصل بارانی (اکتبر تا مارس) ایستگاه‌های استان غالباً از توزیع گاما تبعیت می‌کند. طی فصل کم باران (آوریل تا سپتامبر)، توزیع نیمه نرمال و نمایی، برازش بهتری بر بارش ماهانه دارد. با توجه به توزیع برازنده بر مشاهدات و نیز بر پایه روش‌های رایج، فراسنج‌های شکل و مقیاس برای بارش محاسبه شدند. براساس این فراسنج‌ها، عموماً هم در نواحی کم باران و هم نواحی پرباران، چولگی مثبت مشخصه بارز توزیع احتمال است. با این وصف، نواحی پربارش مقدار افزون بارش خود را از دفعات بیشترِ بارندگی دریافت می‌دارند و ضریب تعیین بارش و فراسنج شکل بسیار کم و حدود ۱۹ درصد است. فراسنج مقیاس رابطه قوی تری با میزان بارندگی دارد. حدود ۴۰ درصد از تغییرات بارش با تغییرات فراسنج مقیاس توجیه می شود. در واقع، نواحی پرباران از تنوع مقدار بارش برخوردارند.

با توجه به توزیع احتمال برازنده بر هر ایستگاه و نیز بر پایه چندک‌های بارندگی، مقادیر بارش برای صدک ۲۵ (خشکسالی) و ۷۵ (ترسالی) برآورد و ناهنجاری‌های مربوط محاسبه گردید. نتایج حاصل از این بخش نشان دادند که مقادیر فرین بارندگی در منطقه جنوبی دامنه بالاتری را نسبت به منطقه نیمه خشک شمالی استان تجربه می‌کند. چرا که ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها دراین بخش از استان نمایان‌تر عمل می‌کنند. این وضعیت، تفسیری از بزرگی فراسنج مقیاس به شمار می‌آید.

کلمات کلیدی: فراسنج شکل، فراسنج مقیاس، توزیع‌های احتمالی، بارش، استان گلستان

تاریخ دریافت مقاله: ۱۹ آبان ۱۳۸۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۷ دی ۱۳۸۸

۱- استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه زنجان،زنجان، ایران
۲- کارشناس ارشد اقلیم شناسی از دانشگاه زنجان،زنجان، ایران
*- نویسنده مسئول

Analysis of the Probability Distribution for the Annual Precipitation in the Golestan Province

H. Asakereh [1] and F. Mazini [2]*

Abstract

Some characters of time series probability distribution are described by shape and scale parameters. These parameters show skewness and kurtosis of probability distribution. Suitable fitting of probability distribution on climatic elements e.g. precipitation can estimate the related scale and shape parameters. In this paper based on daily data from 51 synoptic, climatologic, and rain gage stations in the Golestan province in the north of Iran, the suitable probability distribution have fitted and the shape and the scale parameters were estimated. In the next step the spatial distribution of these parameters were statistically-graphically analyzed. Results of this paper show that in the wet months (October to March) the probability distributions of precipitation are best described with the Gamma distribution. While in the dry months (April to September) the precipitation are fitted to Half Normal and Exponential distributions. Based on the common methods the shape and the scale parameters have been calculated. The positive skewness is the main character of the probability distribution shape both in wet and dry regions of the province. The wet regions however get their high precipitation from the frequent precipitation. In spite of this, the coefficient of precipitation and the shape parameter is low and about 19%. The scale parameter has a stronger relation with precipitation. Their common variance is about 40%.

Based on the best fitted probability distribution and based on the precipitation quintiles, the 25 and 75 percentiles and their anomaly have been estimated. The results show a high range in extreme precipitation in the southern area of the Golestan province.

Keywords: Scale Parameter, Shape Parameter, Probability Distribution, Precipitation, Golestan Province

1- Assistant Professor, Department of Geography , University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email: asakereh@znu.ac.ir
2- MS in Climatology, Department of Geography , University of Zanjan, Zanjan, Iran, Email:Mazini_f@yahoo.com
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

از آن جا که بخش عمده‌ای از منابع آب کشور تحت تأثیر توزیع احتمال[۱] بارش و رویدادهای فرین (حدی)[۲] آن (نظیر سیل و خشکسالی) است، شناخت توزیع احتمال ویژگی‌های بارش، توان مدیریتی این منبع طبیعی را فزونی بخشیده و امکان پیش بینی و برنامه ریزی مبتنی بر آن را آسان تر می سازد.

توزیع‌های احتمال از هر نوع (پیوسته یا گسسته)، به برخی مشخصات متغیرهای تصادفی (نظیر شکل، تغییرپذیری و...) اشاره دارند (Montgomery and Runger, 2006). برای مثال در یک سری زمانی منطبق بر توزیع بهنجار[۳]، فراسنج[۴]های مرکزی (نظیر میانگین و میانه) دارای بالاترین احتمال وقوع خواهند بود. در این توزیع، احتمال وقوع مقادیر پایین‌تر از میانگین با احتمال وقوع مقادیر بالاتراز میانگین، متقارن و برابر رخ می‌دهند (Navidi, 2005). بسیاری از پدیده‌های طبیعی از این نوع توزیع پیروی نموده و برخی نظیر بارش چنین نیستند. توزیع احتمال داده‌های بارش در بازه‌های زمانی ـ مکانی شکل‌های مختلفی از شکل توانی تا چوله[۵] به راست یا نزدیک به شکل متقارن را نشان می‌دهد. این ویژگی به دلیل تغییرپذیری قابل توجه بارش در بعد زمان و مکان و بیانگر شکل توزیع احتمال آن است. با این وصف در برخی نواحی، میانگین، بیشترین احتمال وقوع را دارا بوده و توزیع بارندگی به توزیع نرمال نزدیک خواهد بود (Juras, 1994 ، Vinnikov et al., 1990). چولگی مثبت بیانگر این است که دنبالهٔ یک توزیع به طرف $+\infty$ است، یعنی احتمال وقوع مشاهدات کوچک، بیش از احتمال وقوع مشاهده‌های بزرگ خواهد بود. بزرگی مقدار چولگی، میزان انحراف از قرینگی را نشان می‌دهد (Olofsson, 2007). برای مثال در نواحی خشک توزیع احتمال بارش سالانه با شکلی نامتقارن و چولگی شدیداً مثبت ظاهر می‌شود (Ben-Gai et al., 1998). چولگی در توزیع فراوانی به وسیله شاخص "شکل[۶]" و مشخصه "مقیاس[۷]" برای بیان تخت یا مرتفع بودن منحنی توزیع مشاهدات نسبت به توزیع نرمال به کار می‌رود. اگر مشاهدات نسبت به توزیع نرمال پراکنده‌تر باشند، توزیع کشیده‌تر و اگر پراکنش آن‌ها نسبت به توزیع نرمال کم‌تر باشند، توزیع متمرکزتر است. هر چه مقدار فراسنج مقیاس بیشتر باشد، تفاوت توزیع از نظر پراکندگی با توزیع نرمال بیشتر خواهد بود (Bhattacharya and Waymire, 2007 و Lang, 2003).

مطالعه توزیع احتمال بارش به وسیله اندیشمندان پرشماری انجام گرفته است. برای مثال Ben-Gai et al. (1998) تغییرات مکانی الگوی توزیع احتمال بارندگی در فلسطین اشغالی را بر اساس فراسنج‌های شکل و مقیاس توزیع گاما[۸] ارائه نموده و نتیجه گرفته‌اند که بیشترین مقدار فراسنج شکل و مقیاس در جنوب این کشور رخ داده است. Aksoy (2000) نیز توزیع گاما دو فراسنجی را در تحلیل هیدرولوژیکی به کار گرفته و فراسنج شکل و مقیاس توزیع گاما را برای بارش روزانه و نقطه اوج منحنی هیدروگراف روزانه برآورد نمود. Husak et al. (2004) با برازش توزیع گاما بر بارندگی ماهانه، دوره بازگشت خشکسالی آفریقا را مورد مطالعه قرار دادند. براساس یافته‌های ایشان، توزیع گاما بهترین برازش را بر انواع بارندگی آفریقا نشان دادند. Suhaila and Jemain (2007) مقادیر بارندگی روزانه جزیره مالزی[۹] را با استفاده از انواع توزیع‌های نمایی[۱۰] (گاما، ویبول مرکب[۱۱] و نمایی مرکب[۱۲]) برازش دادند. نتایج مطالعات ایشان بیان گر برتری توزیع ترکیبی نسبت به توزیع‌های منفرد است.

در ایران، مطالعات معدودی برای تحلیل احتمالی – فراوانی بارش انجام شده‌اند. برای مثال قطره سامانی (۱۳۷۹) با استفاده از روش آماری دهک‌های بارش و فراوانی تکرار آن‌ها، روند خشکسالی در استان چهارمحال بختیاری را برآورد نمود. ساری صراف و ریحانی نیا (۱۳۷۹)، فراوانی وقوع دوره‌های خشک و مرطوب ایستگاه‌های استان کرمان را بر روی نمودار نیمه لگاریتمی بررسی کردند.کیخائی و محمدی (۱۳۷۹) براساس توزیع فراوانی و میانگین متحرک بارش، احتمال وقوع و روندخشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در سیستان (زابل) را مورد توجه قرار داده، ارزیابی نمودند. نصرتی و آذر نیوند (۱۳۸۱) با به کارگیری شاخص درصد از نرمال بارش حوزه آبخیز اترک به تحلیل منطقه ای شدت – مدت و دوره بازگشت‌های متفاوت خشکسالی پرداختند. نوحی و عسگری (۱۳۸۴) با استفاده از توزیع گاما، دوره‌های برگشت مختلف بارندگی سالانه، ترسالی – خشکسالی منطقه قم را تحلیل کردند. مدرس (۱۳۸۶) به مطالعه توابع توزیع منطقه‌ای بارش ایران پرداخت و ضمن یافتن نواحی همگن بارشی، از تابع لوگ نرمال سه فراسنجی برای توزیع منطقه ای بارش بهره گرفت.

همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد، شناخت توزیع احتمال ویژگی‌های بارش، امکان برآورد، پیش‌بینی، مدیریت و برنامه ریزی منابع آب فزونی می‌بخشد. این امر به ویژه برای کشور ما که با بحران آب مواجه است، از اهمیت درخور توجهی برخوردار است. اهمیت این مطالعه در نواحی کم آب و یا نواحی که اقتصاد محلی – ناحیه‌ای آن متکی بر منابع آب حاصل از بارش است، دو چندان می باشد.

۲- مواد

درتحقیق حاضر از داده‌های بارندگی ۵۱ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و باران سنجی استان گلستان مربوط به سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو با حداقل ۲۰ سال طول دوره آماری، استفاده شده است. علاوه بر این، به منظور افزودن دقت میان‌یابی در نقشه‌های تولید شده چند ایستگاه با شرایط مناسب در خارج از استان نیز اختیار گردید (جدول شماره ۱ و شکل شماره ۱). از آن جا که داده‌های بارندگی سازمان هواشناسی در قالب ماه‌های میلادی و داده‌های وزارت نیرو در قالب ماه‌های شمسی ثبت می‌شود، ناگزیر آمار وزارت نیرو در مقیاس روزانه اخذ و در قالب ماه‌های میلادی تنظیم گردید.

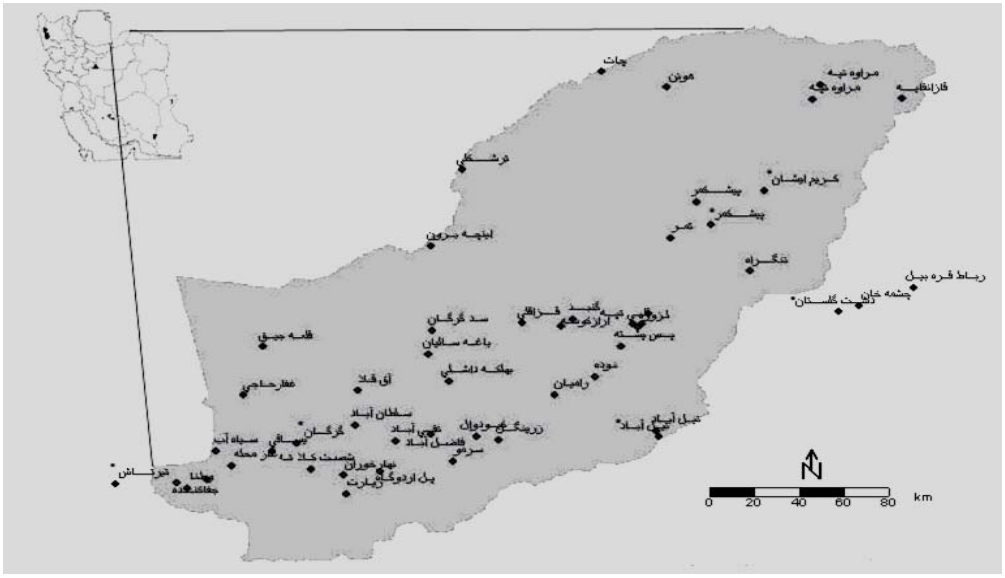
استان گلستان بین "۲ ´۳۰ °۳۶ و "۶ ´۷ °۳۸ عرض شمالی و ´۵۱ °۵۳ و "۴ ´۲۱ °۵۶ طول شرقی در بخش شمالی کشور واقع شده است. از شمال به کشور ترکمنستان، از جنوب به استان سمنان، از شرق به خراسان شمالی و از غرب به دریای خزر و استان مازندران محدود می شود. ارتفاع استان نیز از ۲۶- متر در ساحل دریای مازندران تا ۲۵۰۰ متر در ارتفاعات جنوبی متغیر است.

۳- روش‌ها

بسیاری از توزیع‌های آماری معمولاً حاوی دو فراسنج شکل و مقیاس هستند. فراسنج شکل میزان قرینگی داده‌ها حول یک مرکز (معمولاً اندازه‌های مرکزی) را بازگو می‌کند. کاهش و افزایش فراسنج شکل، چولگی توزیع داده‌ها را نشان می‌دهد. مقیاس نیز بیان گر چگونگی پراکنش احتمال‌ها در دامنه مشاهدات است. با افزایش آن پراکنش فزونی یافته و با کاهش آن تمرکز می‌یابند (Ben-Gai et al, 1998, Suhov and Kelbert, 2005). به منظور به دست آوردن تمامی فراسنج‌ها انجام کلیه عملیات محاسباتی بر روی داده‌های ماهانه انجام شده و نتایج برای مقیاس سالانه برآورد گردیده است.

دراین تحقیق، با برازش توزیع‌های مختلف آماری بر مشاهدات بارندگی و براساس آزمون نیکوئی برازش به روش شهودی (نمودارهای چندکی (Q-Q)) و رقومی (آماره خی دو (χ^2)) برازنده‌ترین توزیع‌ها بر بارش ایستگاه‌های مورد بررسی انتخاب شد. مناسب‌ترین توزیع‌ها برای مشاهدات ایستگاه‌های مورد بررسی شامل توزیع‌های بهنجار، نیمه بهنجار[۱۳]، توزیع گاما و نمایی می‌باشند. نتایج برازش این توزیع‌ها درجدول (۲) ارائه شده‌اند. پس از برازش، توزیع مناسب فراسنج‌های شکل و مقیاس برای هر توزیع محاسبه گردید. به منظور رعایت ایجاز و نیز به دلیل محدودیت حوصله این مقاله، نمونه ای از برازش توزیع گاما بر بارش ماه ژانویه ایستگاه مینودشت در شکل (۲) ارائه شده است. شکل ۲ الف تابع چگالی احتمال و مقدار برازش یافته برآن، شکل ۲ ب نمودار چندکی (Q-Q) ، شکل ۲ ج نمودار احتمال وفاصله ۹۵ درصد اطمینان و شکل ۲ د نمودار چندک ـ بارش به همراه فاصله ۹۵ درصد اطمینان را نمایش می‌دهد:

همان گونه که اشاره شد، از میان تمامی توزیع‌های آزمون شده، توزیع‌های بهنجار، نیمه بهنجار، توزیع گاما و نمایی برازش بهتری بر داه‌ها داشته است. در دنباله بحث برخی مشخصات این توزیع‌ها مختصرا معرفی خواهد شد:

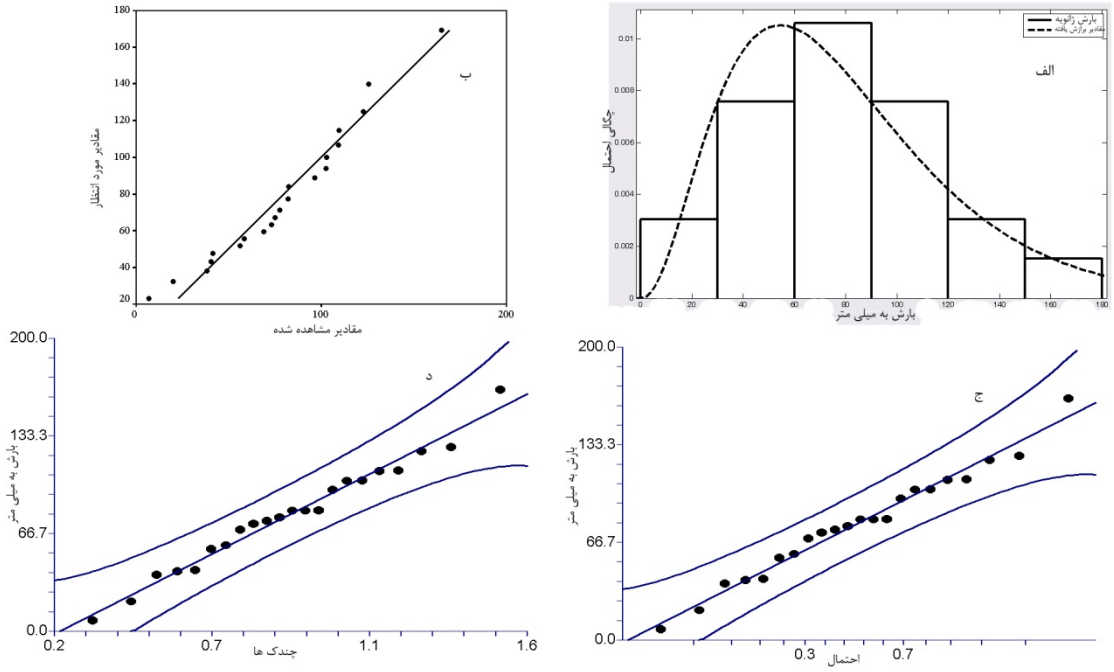


شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		ارتفاع (متر)	دوره آماری		متوسط بارش سالانه(میلی متر)
			دقیقه	درجه	دقیقه	درجه		آغاز	پایان	
۱	آق قلا	باران سنجی	۲۸	۵۴	۰۱	۳۷	۱۲	۱۹۸۳	۲۰۰۴	۴۱۵/۸۸
۲	اراز کوسه	باران سنجی	۰۸	۵۵	۱۳	۳۷	۳۴/۵	۱۹۶۶	۲۰۰۴	۴۵۴/۲۷
۳	اینچه برون	باران سنجی	۴۳	۵۴	۲۷	۳۷	۱۰	۱۹۷۵	۲۰۰۴	۲۱۶/۰۱
۴	باغو	باران سنجی	۰۳	۵۴	۴۵	۳۶	۲۶	۱۹۷۲	۲۰۰۲	۵۴۲/۸۲
۵	باغه سالیان	باران سنجی	۴۰	۵۴	۰۷	۳۶	۲۰	۱۹۷۱	۲۰۰۴	۳۳۹/۸۳
۶	بهلکه داشلی	باران سنجی	۴۷	۵۴	۰۴	۳۷	۲۴	۱۹۷۱	۲۰۰۴	۴۳۷/۱۸
۷	پیشکمر	باران سنجی	۳۷	۵۵	۳۱	۳۷	۹۷۶	۱۹۷۰	۲۰۰۲	۵۱۸/۸۶
۸	پل اردوگاه	باران سنجی	۳۴	۵۴	۴۷	۳۶	۴۶۵	۱۹۸۴	۲۰۰۴	۶۸۶/۶۴
۹	پس پشته	باران سنجی	۲۱	۵۵	۱۰	۳۷	۱۸۰	۱۹۷۲	۱۹۹۹	۹۶۴/۸۸
۱۰	پیشکمر *	باران سنجی	۳۷	۵۵	۲۱	۳۷	۹۷۶	۱۹۶۹	۲۰۰۵	۵۳۶/۶۶
۱۱	تیرتاش *	کلیماتولوژی	۴۴	۵۵	۴۵	۳۶	-۱۴	۱۹۸۹	۲۰۰۵	۵۹۳/۹۴
۱۲	تیل آباد *	باران سنجی	۲۸	۵۵	۵۴	۳۶	۹۷۶	۱۹۸۳	۲۰۰۵	۲۴۳/۷۵
۱۳	تیل آباد	باران سنجی	۲۸	۵۵	۵۵	۳۶	۱۰۰۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۲۴۹/۶۴
۱۴	تقی آباد	باران سنجی	۳۸	۵۴	۵۲	۳۶	۱۰۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۵۹۶/۴۹
۱۵	ترشکلی	باران سنجی	۴۸	۵۴	۴۰	۳۷	۲۵	۱۹۷۵	۲۰۰۴	۲۱۸/۳
۱۶	تنگراه	باران سنجی	۴۴	۵۵	۲۷	۳۷	۳۳۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۷۱۱/۴۷
۱۷	تمر	باران سنجی	۳۰	۵۵	۲۹	۳۷	۱۳۲	۱۹۶۶	۲۰۰۴	۵۰۲/۴۷
۱۸	جفا کنده	باران سنجی	۵۷	۵۳	۴۵	۳۶	۳۰	۱۹۷۱	۱۹۹۹	۵۰۷/۰۲
۱۹	چات	باران سنجی	۱۰	۵۵	۵۷	۳۷	۱۰	۱۹۸۴	۲۰۰۴	۱۷۷/۴۲
۲۰	چشمه خان	باران سنجی	۰۷	۵۶	۱۸	۳۷	۱۲۵	۱۹۷۵	۲۰۰۴	۲۳۱/۳۴
۲۱	دشت گل *	کلیماتولوژی	۰۱	۵۶	۱۷	۳۷	۱۰۰۰	۱۹۸۶	۲۰۰۵	۱۵۷/۴۴۳
۲۲	رباط قره بیل	باران سنجی	۱۸	۵۶	۲۱	۳۷	۱۴۵۰	۱۹۷۵	۲۰۰۴	۱۹۹/۶۵
۲۳	رامیان	باران سنجی	۰۸	۵۵	۰۱	۳۷	۲۰۰	۱۹۸۴	۲۰۰۴	۸۹۵/۶۴
۲۴	زرینگل	باران سنجی	۵۷	۵۴	۵۲	۳۶	۲۸۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۸۱۹
۲۵	زیارت	باران سنجی	۲۸	۵۴	۴۲	۳۶	۹۵۰	۱۹۸۲	۲۰۰۴	۵۶۵/۲۹
۲۶	سیاه آب	باران سنجی	۰۳	۵۴	۴۹	۳۶	-۲۶	۱۹۶۹	۲۰۰۴	۴۹۴/۵۲
۲۷	سرمو	باران سنجی	۴۹	۵۴	۴۹	۳۶	۵۰۰	۱۹۸۳	۲۰۰۴	۷۷۷/۷۳
۲۸	سد گرگان	باران سنجی	۴۴	۵۵	۱۲	۳۷	۱۲	۱۹۶۷	۲۰۰۴	۳۳۱/۸۶
۲۹	سلطان آباد	باران سنجی	۳۰	۵۴	۵۵	۳۶	۱۲	۱۹۷۲	۱۹۹۸	۴۷۲/۵۲
۳۰	شصت کلاته	باران سنجی	۲۰	۵۴	۴۵	۳۶	۱۵۰	۱۹۷۴	۲۰۰۴	۷۰۷/۳۵
۳۱	غفار حاجی	باران سنجی	۰۸	۵۴	۰۰	۳۷	-۲۲	۱۹۶۷	۲۰۰۴	۴۴۵/۷
۳۲	غاز محله	باران سنجی	۰۶	۵۴	۴۷	۳۶	۵۱۵	۱۹۸۳	۲۰۰۴	۵۹۸/۴۲
۳۳	فاضل آباد	باران سنجی	۴۵	۵۴	۵۴	۳۶	۲۱۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۶۸۷/۷۵
۳۴	قلعه جیق	باران سنجی	۳۰	۵۴	۰۸	۳۷	-۲۰	۱۹۷۴	۲۰۰۴	۳۵۳/۶۱
۳۵	قازانقایه	باران سنجی	۱۴	۵۶	۵۶	۳۷	۲۲۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۲۷۶/۱۸
۳۶	قلی تپه	باران سنجی	۲۵	۵۲	۱۴	۳۷	۲۵۰	۱۹۷۲	۱۹۹۹	۸۵۳/۴۶
۳۷	قزاقلی	باران سنجی	۰۱	۵۵	۱۴	۳۷	۳۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۳۶۶/۱۴
۳۸	کبود وال	باران سنجی	۵۳	۵۴	۵۴	۳۶	۲۰۰	۱۹۸۰	۲۰۰۳	۵۶۷/۲۹
۳۹	کریم ایشان	باران سنجی	۴۶	۵۵	۴۰	۳۷	۲۸۷	۱۹۶۹	۲۰۰۵	۵۵۳/۱۷
۴۰	گرگان	سینوپتیک	۱۶	۵۴	۵۱	۳۶	۱۳/۳	۱۹۵۲	۲۰۰۵	۶۰۲/۲۱
۴۱	گالیکش	باران سنجی	۲۷	۵۵	۱۵	۳۷	۲۵۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۷۷۱/۶۴
۴۲	گنبد	باران سنجی	۰۹	۵۵	۱۴	۳۷	۳۶	۱۹۶۴	۲۰۰۴	۴۲۲/۲۳
۴۳	لزوره	باران سنجی	۲۴	۵۵	۱۳	۳۷	۱۹۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۸۷۴/۲۸
۴۴	مراوه تپه *	باران سنجی	۵۷	۵۵	۵۷	۳۷	۳۳۰	۱۹۶۹	۲۰۰۴	۳۶۰/۰۸
۴۵	مراوه تپه	باران سنجی	۵۶	۵۵	۵۵	۳۷	۱۹۰	۱۹۵۹	۲۰۰۴	۳۶۳/۲۲
۴۶	مینو دشت	باران سنجی	۲۲	۵۵	۱۴	۳۷	۱۵۵	۱۹۷۹	۲۰۰۰	۷۶۹/۸
۴۷	ناهار خوران	باران سنجی	۲۸	۵۴	۴۶	۳۶	۵۰۰	۱۹۷۲	۲۰۰۲	۷۳۹/۹۸
۴۸	نوده	باران سنجی	۱۶	۵۵	۰۴	۳۷	۲۸۰	۱۹۷۲	۲۰۰۴	۸۳۳/۵۵
۴۹	وطنا	باران سنجی	۵۷	۵۳	۴۳	۳۶	۱۰۰	۱۹۷۴	۲۰۰۴	۵۴۷/۰۴
۵۰	هوتن	باران سنجی	۳۱	۵۵	۵۷	۳۷	۱۰۰	۱۹۷۱	۲۰۰۴	۲۷۸/۳۸
۵۱	یساقی	باران سنجی	۱۴	۵۴	۵۰	۳۶	۶	۱۹۷۲	۱۹۹۹	۵۴۴/۷۶

ایستگاه‌هایی که با * مشخص شده اند ایستگاه‌های باران سنجی مربوط به سازمان هواشناسی است.



شکل ۲- انواع روش‌های ترسیمی ارزیابی نیکوئی برازش بر ماه ژانویه ایستگاه مینودشت

توزیع نرمال یکی از مهم‌ترین توزیع‌های احتمال پیوسته است که شکل و مقیاس را به وسیله دو فراسنج چولگی و کشیدگی نشان می‌دهد. اگرچه درتوزیع نرمال فرض بر این است که توزیعی متقارن حاصل می‌شود، اما در سنجش عناصر اقلیمی به دلیل استفاده از مقادیر حاصل از نمونه‌گیری، کمی انحراف از شکل و مقیاس در توزیع مشاهدات مورد انتظار است. همچنین در حالت ویژه‌ای از توزیع نرمال که نوعی توزیع نرمال بریده است (توزیع نیمه نرمال، Pewsey, 2002) فراسنج شکل (a) و مقیاس (β) مشابه توزیع نرمال و با استفاده از میانگین ($\bar{x}$)، انحراف معیار(s) و تعداد مشاهدات (n) وبراساس روش گشتاورها به شکل زیر حاصل می‌شود (Suhov and Kelbert, 2005):

$$a = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{s_x^3} \qquad (۱)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4}{ns^4} - 3 \qquad (۲)$$

اگر توزیع احتمال مشاهدات با چولگی به راست شدید مشاهده شود، این مشاهدات بر توزیع گاما منطبق خواهند بود. توزیع گاما معمولاً برای برازش بر مقادیر مثبت (نظیر بارش سالانه) مورد استفاده قرار می‌گیرد. به نظر Ben-Gai et al. (1998) توزیع گاما انتخابی رایج برای برازش توزیع احتمالی مجموع بارندگی سالانه به ویژه در مناطق خشک می‌باشد. براساس میانگین ($\bar{x}$) و واریانس(s^2) نمونه یک متغیر تصادفی گاما، فراسنج‌های شکل (a) و مقیاس (β) را می‌توان براساس روش گشتاورها به صورت زیر تعیین نمود (راماچاندرا و حامد، ۱۳۸۱):

$$a = \frac{\bar{x}^2}{s^2} \qquad (۳)$$

$$\beta = \frac{s^2}{\bar{x}} \qquad (۴)$$

توزیع نمایی حالت ویژه‌ای از توزیع‌های خانواده گاما می‌باشد و برای متغیرهای تصادفی، همانند زمان انتظار بین ورودی‌های مکرر در یک مکان به کار می‌رود. دراین توزیع فاصله زمانی بین هر دو پیشامد متوالی دارای همان توزیع متغیر تصادفی می‌باشد (قهرمانی ۱۳۸۳). برآورد فراسنج‌های شکل (a) برابر واریانس و مقیاس (β) برابر تفاضل فراسنج شکل از میانگین است. بنابراین برای این توزیع می‌توان نوشت (راماچاندرا و حامد، ۱۳۸۱):

$$a = \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \qquad (۵)$$

$$\beta = \bar{x} - a \qquad (۶)$$

روش‌های مناسب برای تهیه نقشه‌های فراسنج‌های شکل و مقیاس بارش ماهانه با آزمایش و خطا برگزیده شدند. سپس نقشه فراسنج‌های شکل و مقیاس ماهانه و نیز نقشه‌های صدک ۲۵ و صدک ۷۵ بارش سالانه، به کار گرفته، تهیه و تحلیل شد.

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- توزیع مکانی بارش سالانه استان گلستان

به منظور محاسبه میانگین بارش پهنه استان و برای به دست آوردن یاخته‌های هم اندازه از سطح استان مختصات جغرافیایی به مختصات متریک تبدیل شد. بر این اساس متوسط بارش روزانه برای کل استان ۳/۶ میلی متر و میانگین بارش استان گلستان ۴۵۸ میلی متر حاصل گردید. توزیع مکانی بارش سالانه درشکل۳ ارائه شده است. همچنین میزان تیرگی زمینه نقشه گویای میزان ارتفاع است. میانگین بارش سالانه در استان گلستان از شمال به جنوب روبه فزونی می‌نهد. همچنین تراکم کم‌تر هم باران‌ها در شمال و افزایش تراکم آن‌ها در بخش‌های جنوبی استان گویای تنوع مکانی بیشتر بارش در بخش‌های جنوبی است. روند افزایشی بارش در تمامی سطح استان به طور یکسان رخ نمی دهد. بدین دلیل منطقه حداکثر بارندگی دقیقاً بر جنوب استان منطبق نیست. از این رو در قسمت جنوب شرقی ضمن فزونی بارش، تراکم خطوط هم باران افزون‌تر است.

به منظور داوری علمی درخصوص تغییرات مکانی بارش، رابطه بارندگی سالانه (R) با عوامل مکانی (طول جغرافیایی (λ)، عرض جغرافیایی (φ) و ارتفاع (h)) توسط یک معادله رگرسیون خطی چند متغیره به شرح زیر برآورد شده است:

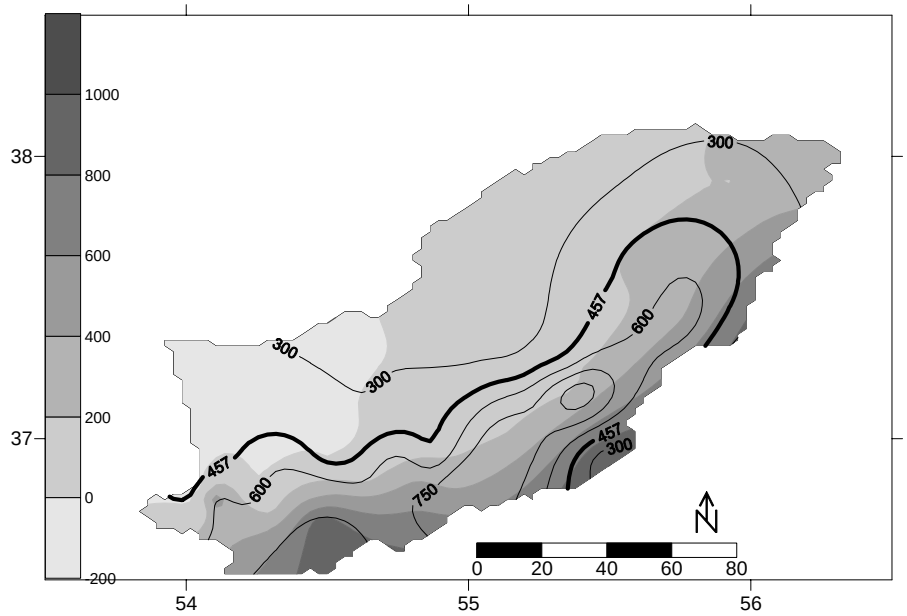
$$R=۷۱۳۳/۴۰۱ + ۲۳۵/۰۸۸\lambda - ۵۲۶/۰۲۶\varphi - /۰۶۹h$$

ضرایب حاصل از این مدل در هرسطح اعتماد دلخواه قابل قبول است. چنان که دیده می‌شود، به شرط ثابت بودن عرض جغرافیایی و ارتفاع ، با افزایش هر درجه طول جغرافیایی حدود ۲۳۵ میلی متر افزایش بارندگی و با ثابت بودن طول جغرافیایی و ارتفاع به ازای افزایش هر درجه عرض جغرافیایی حدود ۵۲۶ میلی متر کاهش در بارندگی حاصل خواهد شد. درحالی که با هر متر افزایش ارتفاع، به شرط ثابت بودن بقیه شرایط، حدود ۰/۰۶۹ میلی‌متر کاهش بارش مورد انتظار است. اگرچه درنگاه اول به نظر می‌رسد که نقش طول و عرض جغرافیایی بیش از ارتفاع باشد؛ اما چنان که در شکل ۳ نیز دیده می‌شود، تغییرات ارتفاع بیش از دو عامل دیگر بوده و از این رو عامل ارتفاع، تغییرات مکانی بیشتری را می‌تواند تولید نماید. ضمناً نوع تأثیر ارتفاع که به صورت کاهنده است را می‌توان از شکل ۳ استنباط نمود. چرا که هسته‌های بیشینه بارش بر مراکز ارتفاعی بیشینه منطبق نیست. از این رو ارتفاع، تأثیر متفاوتی بر میزان بارش می‌نهد. یعنی تا ارتفاعی معین موجب فزونی و از آن پس موجب کاهش بارندگی می‌گردد.

حاصل جمع جبری این اثرات گویای برتری اثر کاهنده آن است. علیجانی (۱۳۷۴) و مرادی (۱۳۸۳) نیز رابطه منفی ارتفاعات شمالی البرز بر بارندگی را تجربه و ثابت نموده‌اند.

۴-۲- توزیع احتمال بارندگی سالانه استان گلستان

نتایج حاصله از برازش توزیع‌های احتمال مختلف بر بارندگی ماهانه ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که چهار توزیع گاما، نرمال، نیمه نرمال و نمایی بر بارش‌های ماهانه استان گلستان برازنده‌اند (جدول ۲). مطابق جدول شماره ۲ طی فصل خشکی (آوریل تا سپتامبر)



شکل ۳- توزیع مکانی بارش سالانه در استان گلستان

توزیع نمایی و نیمه نرمال بر بارش اغلب ایستگاه‌های استان گلستان برازنده است. طی ماه‌های پرباران اکتبر تا مارس (بیش از ۹۵ درصد ماه‌های بارانی) بارش اغلب ایستگاه‌ها از توزیع گاما تبعیت می‌کند. این امر گویای چولگی به راست شدید در بارش استان می‌باشد. در واقع احتمال بارش‌های کم بر احتمال بارش‌های زیاد فائق است. Alijani et al. (2007) در کار مشابهی برای ایران نیز به این نتیجه دست یافتند که بارش‌های کم، بیش از بارش‌های زیاد رخ می‌دهند. برپایه تقسیم بندی پنج گانه ایشان جدول ۳ تنظیم و سهم مقدار و روزها برای شدت‌های مختلف بارندگی، استخراج گردید.

همان گونه که دیده می‌شود، هر چند سهم بارش‌های با شدت پایین از کل بارندگی‌ها، کم است (۰/۲۵۵-۰/۱۹۵) اما فراوانی روزهایی که این نوع بارش را تجربه نموده‌اند بسیار زیاد (۰/۷۴-۰/۶۴) است. با وجودی که سهم بارش‌های شدید در میزان بارندگی زیاد است، اما فراوانی وقوع آن کم و حداکثر یک سوم تعداد روزهای همراه با بارش‌های کم است. بنابراین و طبق ستون آخر جدول ۳ عمدتاً روزهای بارانی، بارش‌های کمتر از ۵ میلی‌متر در روز را تجربه می‌کرده‌اند.

توزیع مکانی برآورد فراسنج شکل، براساس توزیع‌های برازنده بر بارش سالانه در شکل ۴ الف نمایش داده شده است. فراسنج شکل از الگوی منظمی در مقادیر برخوردار نیست. به طوری که مقادیر زیاد هم در نواحی شمالی (کم باران) و هم در نواحی جنوبی (پر باران) مشهود است، هرچند تغییرات مکانی آن در ناحیه پرباران بیشتر است. این وضعیت شاهدی دیگر بر چولگی بارش در تمامی پهنه استان است. لذا از روی فراسنج شکل نیز می توان استنباط نمود که فراوانی بارش‌های کم مقدار در سرتاسر پهنه استان بیش از فراوانی بارش‌های پر مقدار است. شکل ۴ ب، توزیع مکانی فراسنج مقیاس را براساس توزیع‌های برازنده بر بارش نشان می‌دهد. حداقل فراسنج مقیاس بارندگی در شمال استان و جنوب شرق دریای مازندران واقع شده است. تمام منطقه شمالی استان حداقل فراسنج مقیاس را تجربه می‌کند. از شمال به سمت جنوب بر میزان فراسنج مقیاس افزوده می‌شود. مقدار فوق در جنوب استان حداکثر مقدار خود را تجربه می‌کند.

۴-۳- توزیع صدک‌های بحرانی بارش

با توجه به توزیع احتمال برازنده بر هر ایستگاه و نیز بر پایه چندک‌های بارندگی، مقادیر بارش برای صدک‌های ۲۵ (شکل ۵ الف) و ۷۵ (شکل ۵ ب) برآورد گردید. بدیهی است صدک ۲۵ گویای شرایط خشک و صدک ۷۵ ، ترسالی را بیان می دارد. میزان انحراف بارش از میانگین برای صدک ۲۵ (شکل ۵ ج) و صدک ۷۵ (شکل ۵ د) محاسبه گردید.

با توجه به این شکل‌ها طی دوره خشکسالی مقدار بارندگی سطح استان تا کم تر از ۵۰ درصد بارندگی سالانه کاهش می‌یابد. با این وصف در دوره خشک منطقه کم باران استان نسبت به منطقه پرباران تغییر کم تری را متحمل می شود. به طوری که در نواحی شمالی ۱۰۰-۲۰۰ میلی متر و در نواحی جنوبی بیش از ۳۰۰ میلی‌متر کاهش بارندگی مورد انتظار است. بنابراین شرایط خشکسالی بر نواحی پر باران‌تر به ویژه بر نواحی با بارندگی بیش از۷۵۰ میلی متر بسیار آشکار است. همچنین ترسالی نیز با تغییرات شدید در نواحی جنوبی با افزایش حدود ۱۰۰ درصدی بارش رخ می‌دهد. ولی در همین هنگام نواحی شمالی تا حدود ۵۰ درصد افزایش بارندگی را تجربه می‌کنند. به تعبیر دیگر تغییرات مکانی بارش به هنگام رویدادهای فرین بارش در منطقه جنوبی استان دامنه بالاتری را نسبت به منطقه نیمه خشک شمالی استان تجربه می‌کند. در واقع طی دوره‌های ترسالی فعل و انفعالات جوی مولد تغییرات مکانی، به فراوانی و طی خشکسالی‌ها رکود جوی در سرتاسر استان رخ داده و تفاوت چندک‌های کم و زیاد را افزون می‌سازد.

۵- نتیجه گیری

بارندگی سالانه استان گلستان با کم‌ترین مقدار (کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌متر)، در منطقه شمالی استان دیده می‌شود. بارش سالانه به سمت جنوب افزایش (بیش از ۹۵۰ میلی‌متر) نشان می‌دهد. حداکثر بارندگی در جنوب استان بر بالاترین میزان ارتفاعات منطبق نیست بلکه بر ارتفاع کم تراز ۱۰۰۰ متر قرار دارد. از آن جا که تغییرات ارتفاع بیش از دو عامل طول و عرض جغرافیایی بوده، عامل ارتفاع، تغییرات مکانی بیشتری را می‌تواند تولید نماید. ضمناً نوع تأثیر ارتفاع از جنوب به شمال در ابتدا به صورت فزاینده و سپس کاهنده است. چراکه هسته‌های بیشینه بارش بر مراکز ارتفاعی بیشینه منطبق نیست. ازاین رو ارتفاع تأثیر متفاوتی بر میزان بارش می‌نهد. یعنی تا ارتفاعی معین موجب فزونی و از آن پس موجب کاهش بارندگی می‌گردد. حاصل جمع جبری این اثرات گویای برتری اثر کاهنده آن است که در مطالعات پیشین نیز به اثبات رسیده است. اگر چه عرض جغرافیایی اثر زیادی بر بارش نشان می‌دهد اما تغییرات محدود آن در سطح استان (۲۲ دقیقه و ۵۶ ثانیه) برتری آن را می‌کاهد. همچنین رابطه آن با بارش معکوس است. یعنی به سمت عرض‌های بالاتر استان بارش کاهش می‌یابد.

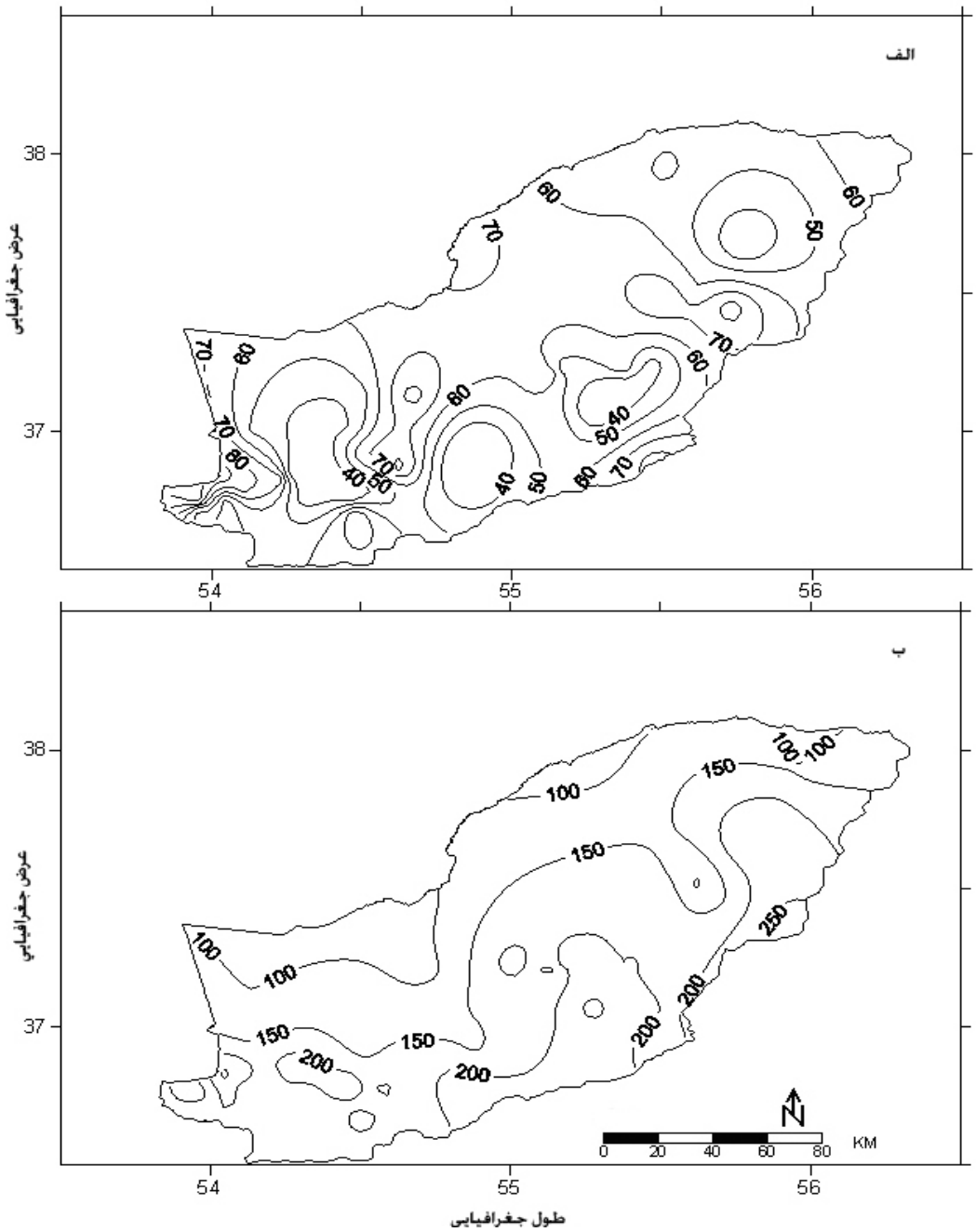
جدول ۲- توزیع آماری برازنده بر بارش ماهانه ایستگاه‌های مورد بررسی

ردیف	ایستگاه‌ها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱	آق قلا	G	G	G	H	H	H	E	E	H	G	G	G
۲	اراز کوسه	G	G	G	H	E	H	E	E	H	G	G	G
۳	اینچه برون	G	G	G	H	E	E	E	E	E	G	H	H
۴	باغو	G	G	G	H	H	E	E	H	G	G	H	G
۵	باغه سالیان	G	G	G	H	E	H	E	E	E	G	G	G
۶	بهلکه داشلی	G	G	G	H	H	E	E	H	H	G	G	G
۷	پس پشته	G	G	G	G	H	H	H	H	H	G	G	G
۸	پل اردوگاه	G	G	G	G	G	H	H	G	G	G	G	N
۹	پیشکمر	G	G	G	H	E	E	E	H	H	H	G	G
۱۰	پیشکمر	G	G	G	H	E	E	E	H	H	H	G	G
۱۱	ترشکلی	G	G	G	H	E	E	E	E	E	G	G	G
۱۲	تقی آباد	G	G	G	G	H	H	E	E	H	G	G	G
۱۳	تمر	G	G	G	H	H	E	E	E	E	G	G	G
۱۴	تنگراه	G	G	G	H	E	H	H	H	H	G	G	G
۱۵	تیرتاش*	G	G	G	G	G	E	E	E	H	G	G	G
۱۶	تیل آباد	G	G	G	H	E	E	E	E	E	G	G	G
۱۷	تیل آباد*	G	G	G	H	E	E	E	E	E	G	G	H
۱۸	جفاکنده	G	G	G	H	E	E	E	H	H	G	H	G
۱۹	چات	G	H	G	H	E	E	E	E	H	G	G	G
۲۰	چشمه خان	G	G	G	G	G	E	E	E	E	H	G	G
۲۱	دشت گلستان*	G	G	G	H	H	E	E	E	E	G	G	G
۲۱	رامیان	G	G	G	G	H	H	E	H	H	G	G	G
۲۳	رباط قره بیل	G	G	G	H	E	E	E	E	E	E	G	G
۲۴	زرین گل	G	G	G	G	E	H	H	H	H	G	G	G
۲۵	زیارت	G	G	G	G	H	G	E	H	E	G	G	G
۲۶	سدگرگان	G	G	G	H	E	H	E	E	H	G	G	G
۲۷	سرمو	G	G	G	G	H	H	H	H	H	G	G	G
۲۸	سلطان آباد	G	G	G	H	H	H	E	E	H	G	G	G
۲۹	سیاه آب	G	G	G	G	H	H	E	H	H	G	G	G
۳۰	شصت کلاته	G	G	G	G	H	H	H	G	G	G	G	G
۳۱	غاز محله	G	G	G	G	H	H	E	E	H	G	G	G
۳۲	غفارحاجی	G	G	G	H	H	H	E	H	H	H	G	G
۳۳	فاضل آباد	G	G	G	G	H	H	H	H	H	G	G	G
۳۴	قازانقایه	G	G	G	H	E	E	E	E	E	H	G	G
۳۵	قراقلی	G	G	G	G	E	E	E	E	H	G	G	G
۳۶	قلعه جیق	G	G	G	G	E	E	E	E	H	G	G	G
۳۷	قلی تپه	G	G	G	G	H	H	E	H	H	G	G	G
۳۸	کبودوال	G	G	G	H	H	H	H	H	H	G	H	N
۳۹	کریم ایشان	G	G	G	G	H	H	H	H	H	G	G	G
۴۰	گالیکش	G	G	G	G	H	H	E	H	H	H	G	G
۴۱	گرگان*	G	G	G	G	H	H	H	H	G	G	G	G
۴۲	گنبد	G	G	G	H	H	H	E	H	H	G	G	G
۴۳	لزوره	G	G	G	G	H	H	E	H	H	G	G	G
۴۴	مینودشت	G	G	N	H	H	H	E	G	E	G	H	G
۴۵	مراوه تپه	G	G	G	H	H	H	E	E	E	G	G	G
۴۶	مراوه تپه*	G	G	G	H	H	H	E	E	E	G	G	G
۴۷	ناهارخوران	G	G	G	G	H	G	E	H	H	G	G	G
۴۸	نوده	G	G	G	G	H	H	H	H	G	G	G	G
۴۹	وطنا	G	G	G	G	G	E	H	H	H	G	G	G
۵۰	هوتن	G	G	G	H	E	H	E	E	E	H	G	G
۵۱	یساقی	G	G	G	G	G	H	E	E	G	G	G	G

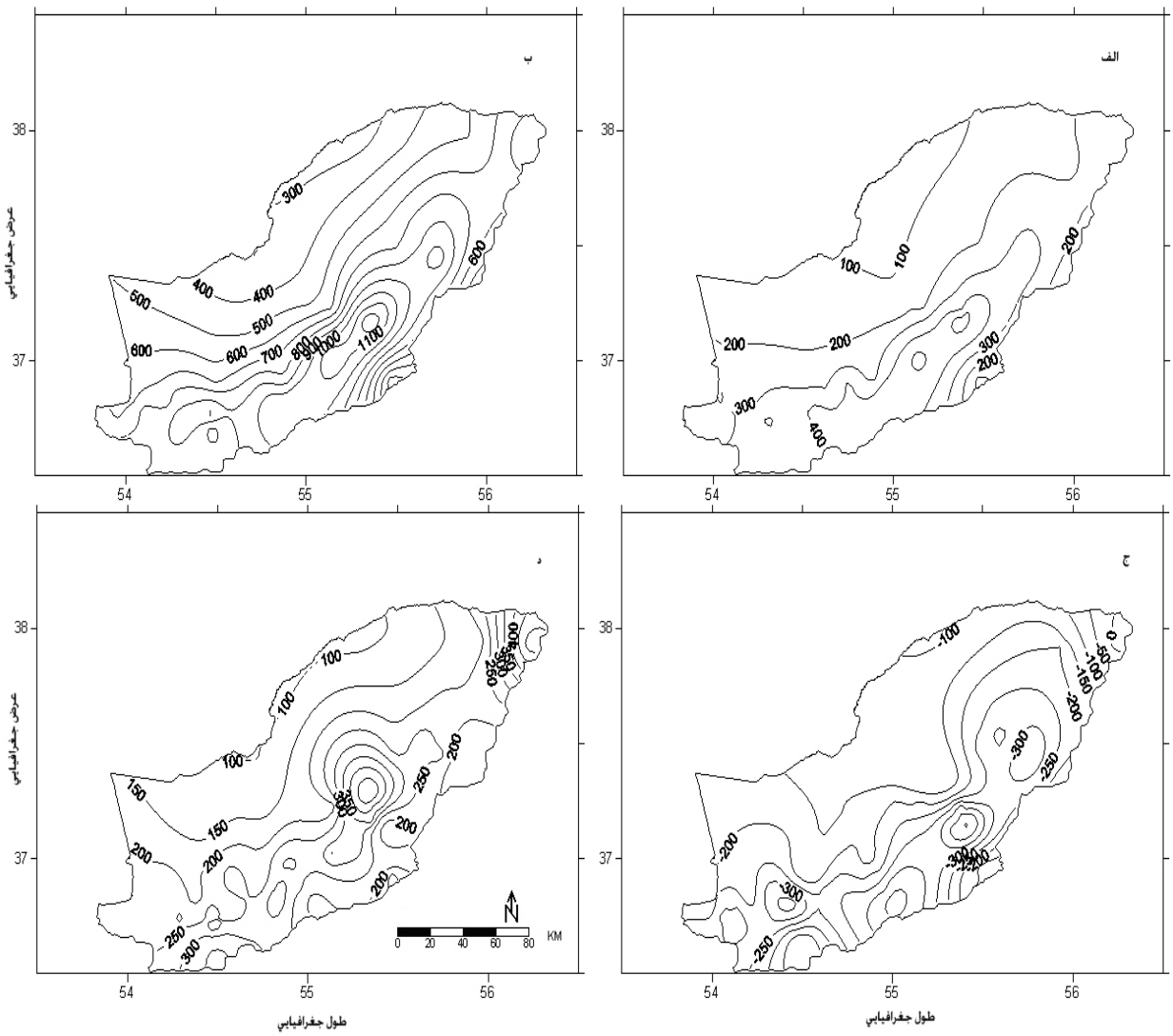
(توزیع گاما=G، توزیع نیمه نرمال = H ، توزیع نرمال= N توزیع نمایی= E (ایستگاه‌هایی که با * مشخص شده اند ایستگاه‌های باران سنجی مربوط به سازمان هواشناسی هستند.)

جدول ۳- سهم مقدار و روزهای بارش برای شدت‌های مختلف (به نقل از *Alijani et al. (2007)* با تصرف)

شدت	میزان بارش به میلی متر	سهم بارندگی از کل بارش	سهم روزهای بارندگی از کل روزهای بارانی
بسیار کم شدت	کم تر از ۱	۰/۰۱۵-۰/۰۲۵	۰/۳-۰/۳۶
کم شدت	۱- ۴/۹	۰/۱۸-۰/۲۳	۰/۳۴-۰/۳۸
ملایم	۵-۹/۹	۰/۰۹-۰/۱۴	۰/۲۵-۰/۳۱
شدید	۱۰-۲۹/۹	۰/۳۹-۰/۴۱	۰/۱۳-۰/۱۹
خیلی شدید	بیش از ۳۰	۰/۰۴-۰/۱۱	۰/۰۱-۰/۰۲



شکل ۴- توزیع مکانی فراسنج‌های شکل (الف) و مقیاس (ب) بارندگی سالانه استان گلستان



شکل ۵- نقشه صدک ۲۵ (الف) و ۷۵ (ب) بارش و انحراف از میانگین آنها (ج)و(د)

درحالی که طول جغرافیایی با رابطه مثبت، گویای رابطه مستقیم طول جغرافیایی با بارش است. ازاین رو قسمت‌های شرقی استان سهم بیشتری از بارش را نسبت به قسمت‌های غربی دریافت می‌دارد. جمع تمامی این عوامل موجب تمرکز هسته‌های بارش در بخش‌های جنوب شرقی شده است.

برازش توزیع‌های احتمال و نیز مطالعه فراسنج شکل (چولگی) و فراسنج مقیاس (کشیدگی) وضعیت توزیع احتمال بارش استان را نمایش داد. براین اساس معلوم شد که چولگی مثبت بربارش تمامی پهنه استان حاکم است. ازاین رو می‌توان استنباط نمود که فراوانی بارش‌های کم مقدار بسیار بیش تر از فراوانی بارش‌های پرمقدار است. همچنین فزونی فراسنج مقیاس از سمت جلگه (شمال) به کوهستان (جنوب) گویای تفاوت دامنه (کمینه و بیشینه) بارش در بخش‌های جنوبی است. این وضعیت را احتمالاً می‌توان به توع سیستم‌های باران‌زایی در نواحی کوهستانی نسبت داد. چه، سیستم‌های متنوع، امکان تکوین مقادیر متنوع بارش را مهیا می‌سازند.

همبستگی بین فراسنج مقیاس (کشیدگی) با میزان بارندگی، مثبت و قابل توجه (۰/۶۳۲) است. لذا نزدیک به ۴۰ درصد تغییرات فراسنج مقیاس با مقدار بارش قابل توجیه است. به عبارت دیگر فزونی بارش در دفعات تکرار بیش تری رخ می‌دهد. ازاین رو و نیز براساس صدک‌های ۲۵ و ۷۵ درصد معلوم شد که مقادیر فرین بارندگی در منطقه جنوبی استان دامنه بالاتری را نسبت به منطقه نیمه خشک

شمالی استان تجربه می کند. در واقع اختلاف بارش در ترسالی و خشکسالی ارقام بزرگی را نشان می دهد. بنابراین ضمن فزونی شیب و تنوع مکانی بارش در نواحی جنوبی، تغییرپذیری زمانی نیز دراین ناحیه نمایان‌تر است.

پی‌نوشت‌ها

1-Probability Distribution
2-Extreme
3-Normal
4-Parameter
5-Skew
6-Shape
7-Scale
8-Gamma
9-Penin Sular Malaysia
10-Exponential
11-Mixed Weibull
12-Mixed Exponential
13-Half- Normal

۶- مراجع

راماچاندرا رائو.آ، حامد. خالد ح(۱۳۸۱)، *تحلیل فراوانی سیل* ، ترجمه سید سعید اسلامیان و سعید سلطانی کوپایی، انتشارات ارکان، اصفهان، ۳۳۲ صفحه.

ساری، صراف، بهروز، ریحانی نیا سیدرضا(۱۳۷۹)، تعیین دوره‌های خشک و مرطوب ایستگاه‌های منتخب استان کرمان، مجموعه *مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی*، صفحه ۸۸۷.

علیجانی ، بهلول(۱۳۷۴) ، نقش کوه‌های البرز در توزیع ارتفاعی بارش ، شماره ۳۸، صفحه ۵۲-۳۷.

قطره سامانی، سعید (۱۳۷۹)، بررسی روند خشکسالی و ترسالی در استان چهار محال و بختیاری، مجموعه *مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی*، صفحه ۳۶.

قهرمانی، سعید(۱۳۸۳) ، *مبانی احتمال* ، ترجمه غلامحسین شاهکار وابوالقاسم بزرگ نیا ، دانشگاه صنعتی شریف ،موسسه انتشارات علمی، تهران، ۵۳۵ صفحه.

کیخائی، فاطمه، محمدی کوروش(۱۳۷۹)، جایگاه خشکسالی در سیستان و بررسی روند آن از دیدگاه کشاورزی، مجموعه *مقالات اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با کم آبی و خشکسالی*، صفحه ۹۲۶.

مدرس، رضا (۱۳۸۶)، توابع توزیع منطقه ای بارش ایران، مجله پژوهش و سازندگی، ش۷۵، ص ۸۶ .

مرادی ، حمیدرضا(۱۳۸۳)، نقش دریای خزر در شرایط بارشی سواحل شمال کشور، مجله علوم دریایی ایران ، دوره ۲، ش ۲و۳، صص ۸۴ و ۸۵ .

معاونت آمار و اطلاعات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گلستان (۱۳۸۴) ، *سالنامه آماری استان گلستان* ، نشر سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان گلستان ،شماره ۲۰۶، صص ۲۵-۳

نصرتی، کاظم،آذر نیوند(۱۳۸۱)، حسین، تحلیل منطقه ای شدت ـ مدت ـ دوره بازگشت خشکسالی با استفاده از داده‌های بارندگی (مطالعه موردی، حوزه آبخیز اترک) جلد۷،شماره۱، صفحه ۴۹.

نوحی، کیوان، عسکری، احمد(۱۳۸۴)، مطالعه خشکسالی و دورهای برگشت تر سالی‌ها وخشکسالی‌ها در منطقه قم، خشکی و خشکسالی کشاورزی، ش۱۵، صفحه ۴۷.

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

Alijani.B, O'Brient. J ,Yarnal .B . (2008), " Spatial Analysis of Precipitation Intensity and Concentration in Iran . *Theor.Appl.Climatol*. 94; 107-124 .

Ben-Gai.T, Bitan.A, Manes.A Alpert.P, and Rubin.s(1998), "Spatial and Temporal Changes in Rainfall Frequency Distribution Patterns in Israel" , *Theorical and Applied Climatology* ,Vol 61, PP 177-190 .

Bhattacharya , Rabi and Waymire , Edward, C. (2007), *A Basic Course in Probability Theory*, Springer. 212p .

Husak .G., Michaelsen.J and Chris Funk, (2004),"Use of the gamma distribution to represent monthly rainfall in Africa for drought monitoring applications", *International Journal of Climatology*, Vol 27, PP 944-935 .

Juras, J., (1994)," Some Common Features of Probability Distributions for Precipitation", *Theor.Appl.Climatol*, 49, 69-76 .

Lang , Kenneth, (2003), Applied Probability, Springer, 367p .

Montgomery , Douglas , C. and Runger , George , C. (2006), *Applied Statistics and Probability for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc.767p

Journal of Applied Sciences Research, vol 3(10), PP 1027-1036 .

Suhov ,Yuri and Kelbert , Mark (2005), *Probability and Statistics by Example* : Volum I . Basic Probability and Statistics, Cambridge University press, 360p .

Vinnikov, K.Ya, Groisman, P.Ya.,Lugina,K.M. (1990): "Empirical Data on Contemporary Golobal Climate Change (Temperature and Precipitation)" *J. Climate*. 3, 662-677 .

Navidi , William, (2005), Statistics for Engineers and Scientists, McGrow-Hill Companies. 869p .

Olofsson , Peter , (2007), *Probabilities*, John Wiley & Sons, Inc. 267p.

Peswey, A. (2002), "Large-Sample Inference for the General Half-Normal Distribution", Commu, *Statistic Theory Meth*, Vol 31, P 1024 .

Suhaila.j, Jemain.Abdol.a(2007), "Fitting Daily Rainfall Amount in Peninsular Malaysia Using Several Types of Exponential Distributions",