

پایش و پهنه بندی خشکسالی در گیلان

مرضیه تاتینا* - عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت
محمود روشنی - دانشجوی دکتری دانشگاه عثمانیا، حیدرآباد، هند
آتوسا بیگدلی - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

پذیرش نهایی: ۸۹/۶/۲۵

دریافت مقاله: ۸۹/۲/۳

چکیده

پژوهش حاضر جهت پایش خشکسالی و همچنین بررسی ویژگی‌های پدیده فوق در سطح استان گیلان انجام شده است. بدین منظور ابتدا داده‌های مورد نیاز برای انجام کار از سازمان آب منطقه ای استان به مدت ۳۰ سال (سال آبی ۱۳۵۷ تا شهریور ۱۳۸۷) اخذ گردید. برای آنالیز داده‌های بارش از روش شاخص استاندارد شده بارش (*SPI*) استفاده شده است. باتوجه به قابلیت این روش در پایش خشکسالی و آنالیز شدت، مدت، فراوانی و سطح درگیر این پدیده، نتایج نشان داد که خشکسالی به طور متناوب و با سیکل‌های نسبتاً منظم در منطقه اتفاق می‌افتد فراوانی وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های مرطوب و خشک با هم متفاوت بوده و فراوانی وقوع خشکسالی در شدت‌های متوسط و شدید نسبت به ایستگاه‌های مرطوب بیشتر رخ می‌دهد. رابطه مدت - فراوانی حاکی از وجود همبستگی معکوس بین دو ویژگی خشکسالی بوده و از تابع لگاریتمی نیز پیروی می‌نماید. همبستگی مقادیر *SPI* در ۱۹ ایستگاه مورد مطالعه نشان دهنده هم زمانی وقوع خشکسالی در ایستگاه‌های مجاور هم است و با افزایش فاصله، میزان آن کاهش می‌یابد همچنین عدم هم زمانی وقوع خشکسالی بین ایستگاه‌های مناطق خشک با مرطوب از ضریب همبستگی بسیار پایین آن کاملاً مشهود است. همچنین الگوی مکانی- زمانی خشکسالی بعد از پایش، حاکی از وقوع خشکسالی‌های پیوسته و ناپیوسته در محدوده مورد مطالعه است که شرایط بحرانی برای منابع طبیعی و انسانی ایجاد می‌نماید.

واژگان کلیدی: خشکسالی، شاخص استاندارد شده بارش (*SPI*)، استان گیلان

۱. مقدمه

هر پدیده طبیعی که موجب ضعف و نابودی توانمندی‌های اقتصادی، اجتماعی و فیزیکی همچون خسارات مالی و جانی، تخریب تأسیسات زیر بنایی و منابع اقتصادی شود به عنوان بلایای طبیعی تعریف می‌شود (فرج زاده، ۱۳۸۴). با توجه به پیشرفت‌های علمی و تکنیکی هنوز انسان در مقابل پدیده‌های طبیعی از جمله خشکسالی‌ها آسیب پذیر بوده و درصدد یافتن روش‌هایی است که بتواند رخداد این پدیده را شناسایی نماید. این پدیده اثرات چند بعدی داشته و نه تنها دانشمندان بلکه نظر سیاستمداران را به خود جلب کرده است. از این رو بنا به اهمیت موضوع، شناخت آن می‌تواند راهکارهای عملی جهت مقابله با آن ارائه دهد. با توجه به اهمیت مسئله خشکسالی مطالعات گسترده‌ای در سطح کشور و دنیا انجام شده است. انصافی مقدم (۱۳۸۲) با بررسی خشکسالی و روند بیابانی شدن در حوضه مرکزی ایران با استفاده از شاخص Z نشان داد که در یک دوره چهل ساله، ۱۷ سال دارای شرایط اقلیمی مطلوب بوده است و ۲۳ سال از دوره به درجات خشکی ضعیف با تمایل به خشکی متوسط گرایش داشته است. همچنین رضیئی و همکاران (۱۳۸۲) در محدوده اصفهان و یزد نشان دادند که منطقه در سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۹ سیکل‌های نسبتاً بلند مدت خشکسالی و ترسالی را پشت سر نهاده است که هر کدام از آنها نزدیک به ۱۰ سال بر منطقه حاکم بوده و شاخص SPI با مقیاس ۱۲ و ۲۴ ماهه در ایستگاه‌های منطقه مؤید این مطلب می‌باشد. محمدی و همکاران (۱۳۸۲) با پهنه بندی خشکسالی اقلیمی در حوضه مارون با استفاده از شاخص آماری $SIAP^e$ در جنوب غرب ایران، در ابتدا سال‌های معرف خشک، نرمال و تر را برای حوضه تعیین و سپس نشان دادند در سال آبی ۱۳۷۲-۱۳۷۳ از ۲۴ ایستگاه مورد مطالعه ۱۶ ایستگاه (۶۷٪) با میزان شاخص $-1/8$ و بقیه با میزان شاخص -1 خشکترین سال دوره محسوب می‌شوند. ترنکا و همکاران (۲۰۰۶)^e با ترکیب سه روش مهم بررسی خشکسالی ($PDSI$ ، $ZIND$ و SPI) شاخص جدید CDI^e را در جمهوری چک بررسی کردند. نتایج نشان داد که در حدود ۳٪ از وسعت کشور در منطقه خطر بالا (در حدود ۶۰ درصد از ماه‌ها توسط وقایع خشکسالی متوسط تا حدی متأثر شده‌اند) و ۱۲/۳ درصد با ۵۰ تا ۶۰ درصد شانس خطر رو به رو بوده و به طور چشمگیر مناطق مستعد خشکسالی در نواحی اصلی تولیدات کشاورزی در جنوب شرقی و شمال غربی

1-Standard Index of Annual Precipitation

2-Trnka et. al(2006)

3-Climatological Drought Indicator

واقع می‌باشند. بوردی و همکاران (۲۰۰۹)^۱ روند خطی و غیر خطی خشکسالی و ترسالی را بر مبنای شبکه بندی شاخص بارش استاندارد شده (*SPI*) که از بارش ماهانه در اروپا (*NCEP/NCAR*) تعیین شده، تحلیل کردند. نتایج، حاکی از آن است که پوشش سطحی سری‌های زمانی خشکسالی و ترسالی، روند خطی مشخصی تا انتهای قرن اخیر نشان می‌دهد که در طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۹ برعکس می‌شود، که نشانه روند غیر خطی است که در مقیاس‌های زمانی هیدرولوژیکی مشخص‌تر است. سیرداس و سن (۲۰۰۳)^۲ با تحلیل فضایی- زمانی خشکسالی در منطقه *Trakya* در ترکیه با روش آماری *Run* و *z-Score* و روش میانبایی *Kriging* وجود ارتباط مستقیم بین مدت و بزرگی خشکسالی را اثبات کردند. در همین راستا یلدیز (۲۰۰۹)^۳ با برآورد و تخمین خصوصیات زمانی و مکانی خشکسالی‌ها در ترکیه جهت تحلیل منطقه‌ای خشکسالی، ابتدا شدت خشکسالی- گستره سطحی- منحنی فراوانی برای دوره برگشت‌های مختلف را محاسبه، سپس با استفاده از این روش گستره سطحی شدت را تعیین و دوره‌های برگشت خشکسالی‌های قدیمی در منطقه را بررسی و ارزیابی از خشونت خشکسالی در منطقه را ارائه نمود. بارلو و همکاران (۲۰۰۲)^۴ با بررسی خشکسالی در آسیای مرکزی و جنوب شرقی آن نشان دادند که در طی فصل سرد شمالی رابطه معکوسی بین آنومالی‌های بارش در اقیانوس هند و آسیای مرکزی و جنوب شرقی وجود دارد. قطع بارش در مرکز و جنوب شرق آسیا با واکنش بین طوفان‌های همدید محلی و موج انرژی ایجاد شده توسط افزایش بارندگی حاره‌ای در اقیانوس هند شرقی هماهنگ است. این رابطه منطقه‌ای خارج از فاز بارش با تغییر پذیری بزرگ مقیاس اقلیم مرتبط است آن که به صورت زیر گروهی از وقایع نوسان جنوبی ال نینو با پیشرفت و تشدید سیگنال در منطقه چاله گرم اقیانوس آرام غربی مشخص می‌شود. یاهیا اویی و همکاران (۲۰۰۹)^۵ با تحلیل فراوانی رژیم خشکسالی هیدرولوژیک در غرب الجزایر نشان دادند که فراوانی و شدت خشکسالی هیدرولوژیک بعنوان یک پدیده تصادفی محسوب شده و نتایج حاکی از آنست که بزرگی وقایع خشکسالی جریان رودها با توابع احتمال مثل ویبول، پارتو و لوگ نرمال همخوانی دارند. تراکریس و وانگلیس (۲۰۰۴)^۶ در مقاله‌ای با عنوان "به طرف سیستم مشاهده خشکسالی

1-Bordi et. al(2009)

2-Sirdas and Şen(2003)

3-Yildiz(2009)

4-Barlow et. al(2002)

5-Yahiaoui et. al (2009)

6- Tsakiris and Vangelis (2004)

بر مبنای *SPI* مکانی " نشان دادند خشکسالی منطقه‌ای را می‌توان از طریق روش‌های متنوع که به همراه پیامدهای پیش بینی شده هستند بر آورد کرد. آنها معتقدند که آگاهی عمومی از وقوع، سطح تأثیر، شدت و مدت خشکسالی برای تصمیم‌گیری مهم می‌باشد. بنابراین شاخص استاندارد شده بارش (*SPI*) از این نظر قابلیت استفاده جهانی دارد. این روش با استفاده از یک مدل زمینی و محاسبه روتین کامپیوتری ساده قابل انجام بوده و این روش قادر به حمایت از سیستم مشاهده خشکسالی یک ناحیه در مقیاس متوسط و تحلیل مکانی آن است. در همین راستا به منظور تحلیل دقیق‌تر وضعیت خشکسالی، تحقیق حاضر جهت شناخت، پایش و تعیین مؤلفه‌های خشکسالی (شدت، مدت و فراوانی) و همچنین پهنه بندی آن با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)^۵ در سطح استان گیلان براساس نمایه استاندارد شده صورت گرفته است.

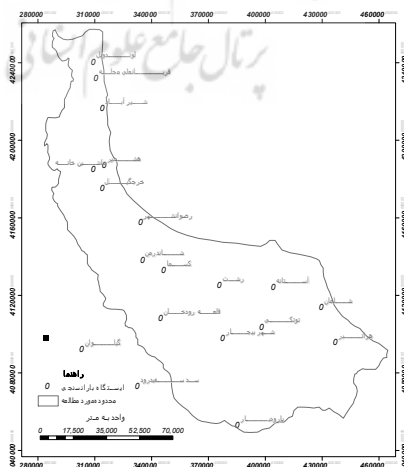
۲. داده‌ها و روش‌ها

۲-۱. داده‌ها

در این پژوهش به منظور بررسی وضعیت خشکسالی هواشناسی در جلگه ساحلی دریای خزر، داده‌های بارش ماهیانه مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات مورد نیاز از سازمان آب منطقه‌ای استان تهیه گردید بعد از جمع آوری داده‌های بارش ۱۹ ایستگاه (جدول ۱) به مدت ۳۰ سال (سال آبی ۱۳۵۷ تا شهریور ۱۳۸۷)، اقدام به ایجاد فایل داده‌ها با فرمت مورد نیاز در نرم افزار *Excel* گردید. سپس با استفاده از اطلاعات مربوط به مختصات متریک ایستگاه‌های مورد مطالعه، در نرم افزار *Arc view* ابتدا جدول اطلاعات توصیفی مختصات *x* و *y* تهیه و با توجه به مختصات هر ایستگاه بروی نقشه *Link* گردید در شکل (۱) موقعیت ریاضی ایستگاه‌ها روی نقشه استان گیلان دیده می‌شود.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان گیلان

نام ایستگاه	کد ایستگاه	ارتفاع	جغرافیایی ۱. طول	جغرافیایی ۱. عرض	جغرافیایی ۲. طول	جغرافیایی ۲. عرض
آستانه	۱۷-۰۵۷	۳	۴۹ ۵۶ ۰۴	۳۷ ۱۵ ۲۰	۴۰۵۵۰۷	۴۱۳۳۷۶۴
پارودبار	۱۷-۰۶۶	۴۹۳	۴۹ ۴۳ ۳۶	۳۶ ۳۶ ۲۵	۳۸۶۱۳۲	۴۰۵۲۰۲۵
توتکی	۱۶-۲۰۵	۲۰۵	۴۹ ۵۲ ۲۶	۳۷ ۰۴ ۰۸	۳۹۹۸۲۹	۴۱۰۲۹۵۰
خرجگیل	۱۸-۰۲۷	۱۴۵	۴۸ ۵۳ ۰۰	۳۷ ۴۲ ۰۰	۳۱۴۵۲۹	۴۱۷۵۸۵۱
رشت	۱۷-۰۸۲	۰	۴۹ ۳۶ ۴۲	۳۷ ۱۵ ۳۰	۳۷۶۸۹۵	۴۱۲۴۴۳۱
رضوانشهر	۱۸-۷۰۲	۷۰	۰۸ ۰۰	۳۷ ۳۳ ۰۰	۳۳۵۱۰۸	۴۱۵۷۵۲۶
سد	۱۷-۰۷۰	۲۳۲	۴۹ ۲۳ ۲۵	۳۶ ۴۵ ۵۴	۳۳۶۳۳۹	۴۰۷۰۰۰۸
شاندرمن	۱۸-۰۱۷	۴۶	۰۹ ۱۴	۳۷ ۲۲ ۳۶	۳۳۶۵۵۸	۴۱۳۸۲۵۸
شیرآباد	۱۸-۰۳۵	-۱۱	۵۳ ۱۰	۳۸ ۰۵ ۰۹	۳۱۴۶۲۰	۴۲۱۷۴۳۶
شلمان	۱۶-۰۶۱	-۱۶	۱۳ ۱۲	۳۷ ۰۹ ۳۴	۴۳۰۷۵۴	۴۱۱۲۸۲۳
شهر	۱۷-۰۵۱	۱۰۷	۴۹ ۳۸ ۱۷	۳۷ ۰۰ ۴۱	۳۷۸۸۳۱	۴۰۹۷۰۰۸
قربانعلی	۱۸-۰۴۴	۸۰	۴۸ ۵۰ ۴۳	۳۸ ۱۳ ۴۳	۳۱۱۳۹۱	۴۲۳۳۳۷۴
قلعه	۱۸-۰۰۳	۱۸۶	۴۹ ۱۵ ۵۲	۳۷ ۰۶ ۱۶	۳۴۵۷۹۰	۴۱۰۷۸۸۰
کسما	۱۸-۰۰۷	۵	۴۹ ۱۶ ۵۷	۳۷ ۱۹ ۲۷	۳۴۷۸۲۶	۴۱۳۲۲۱۹
گیلوان	۱۷-۰۳۳	۳۰۷	۴۹ ۰۷ ۵۶	۳۶ ۴۶ ۴۳	۳۳۳۳۳۴	۴۰۷۱۹۳۶
لوندویل	۱۸-۰۴۷	-۱۹	۴۸ ۴۹ ۴۲	۳۸ ۱۸ ۰۲	۳۱۰۱۰۷	۴۲۴۱۳۸۵
ماشین	۱۸-۰۲۹	۳۰۰	۵۰ ۱۲	۳۷ ۴۷ ۴۴	۳۰۹۵۳۹	۴۱۸۵۳۳۳
هراتیر	۱۶-۰۵۹	۱۱۰	۱۸ ۱۱	۳۶ ۵۹ ۵۱	۴۳۷۹۴۰	۴۰۹۵۴۰۲
هشتیر	۱۸-۰۳۱	۹۹	۴۸ ۵۴ ۲۵	۳۷ ۴۹ ۱۲	۳۱۵۸۷۱	۴۱۸۷۱۹۹



شکل ۱. نقشه و موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

در ادامه جهت تجزیه و تحلیل و تعیین شاخص خشکسالی در ایستگاه‌های فوق از شاخص استاندارد شده بارش (SPI)، که مراحل انجام آن در زیر می‌آید استفاده شده است.

۲-۲. روش

شاخص استاندارد شده بارش، روشی است که در ابتدا برای تعیین خشکسالی‌ها توسط اقلیم شناسان مورد استفاده قرار گرفت این روش قابلیت تحلیل خشکسالی‌ها را در هر مقیاس زمانی و مکانی برای محقق فراهم می‌سازد. به لحاظ ریاضی SPI^e براساس احتمال تجمعی بارندگی پایه‌ریزی شده است. بدین ترتیب که در ابتدا داده‌ها با توزیع احتمال دو پارامتری گاما برازش داده، سپس به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند (ادوارد و مک کی، ۱۹۹۷).^۱ توزیع گاما بهترین توزیع برای برازش داده‌ها در این روش است زیرا از طریق این تابع حداکثر همجواری پارامتر توزیع گاما α و β برآورد می‌گردد (میکائیل، ۲۰۰۷).^۲

جدول ۲. طبقه بندی خشکسالی از طریق مقدار SPI و احتمال وقوع متناظر با آن

مقدار SPI	طبقه	احتمال %
> 2	تر سالی بسیار شدید	۲.۳
(۱.۵)-(۱.۹۹)	تر سالی شدید	۴.۴
(۱)-(۱.۴۹)	تر سالی متوسط	۹.۲
(۰)-(۰.۹۹)	تر سالی ملایم	۳۴.۱
(۰)-(-۰.۹۹)	خشکسالی ملایم	۳۴.۱
(-۱)-(-۱.۴۹)	خشکسالی متوسط	۹.۲
(-۱.۵)-(-۱.۹۹)	خشکسالی شدید	۴.۴
< -2	خشکسالی بسیار شدید	۲.۳

$$\alpha = \frac{1}{4U} \left[1 + \sqrt{\frac{4U}{3}} \right] \quad (1)$$

و

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad (2)$$

در همین راستا از تابع گاما که جزء خلاصه شده توزیع نمایی است جهت تفسیر مقادیر شکل و مقیاس استفاده می‌شود.

1-Standardized precipitation index

2-Edward and McKee(1997)

3-Michael(2007)

$$G(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma \beta} \int_0^x X^{\beta-1} e^{-x/\alpha} dx \quad (3)$$

در این فرمول $\alpha, \beta > 0$ و $x > 0$ و $\Gamma(\beta)$ تابع گاما می باشد. بنابراین احتمال تجمعی آن:

$$F(x) = q + (1-q) G(x) \quad (4)$$

که در اینجا $G(x)$ تابع توزیع برآورد شده بدون توجه به مقادیر تهی است و q نیز نسبت صفر در سری های تجمعی بارش می باشد. در نهایت با جابجایی احتمال توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال مقادیر SPI بدست می آید. ساده ترین روش برای محاسبه مقادیر SPI استفاده از تقریب آبراموتیزو- استوگان است که به صورت زیر انجام می گیرد. برای $0 < H(x) \leq 0.5$ مقدار t برابر با

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad (5)$$

و برای $0.5 < H(x) \leq 1$ برابر با

$$t = \sqrt{\text{Ln} \left[\frac{1}{(1-H(x))^2} \right]} \quad (6)$$

خواهد بود. در نهایت مقادیر جابه جا شده گاما با استفاده از فرمول های زیر بر طبق مقادیر جابه جا شده، برای بار دوم جا به جا می گردد. در این حالت اگر $0.5 < H(x) \leq 1$ باشد مقدار SPI از فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$SPI = - \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (7)$$

و برای $0.5 < H(x) \leq 1$ از فرمول شماره ۸ محاسبه می شود.

$$SPI = + \left[t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad (8)$$

مقادیر ثابت در فرمول ۷ و ۸ که در فرمول SPI قرار می گیرد برابر با

$$\begin{array}{lll} c_0 - 2/515517 & c_1 - 0/802853 & c_2 - 0/010328 \\ d_1 - 1/432788 & d_2 - 0/189269 & d_3 - 0/00130 \end{array}$$

می‌باشد. بنابراین شاخص استاندارد شده بارش از جابجایی که با فرمول‌های مختلف بر طبق بزرگی مقادیر جابه جا شده گاما حاصل می‌شود. اعداد بدست آمده جهت تعیین خشکسالی‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد.

۳. یافته‌های تحقیق و بحث

با بررسی و مطالعه داده‌های بارش در ایستگاه‌های باران‌سنجی استان گیلان مشخص گردید که میزان متوسط بارش در ۱۹ ایستگاه مورد مطالعه از کمترین مقدار (۲۱/۹۲ میلی‌متر) در پارود بار تا بیشترین مقدار (۱۲۹/۴۱ میلی‌متر) در توتکی در طی دوره مورد مطالعه (۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵) تغییر کرده است. مقایسه سری‌های ماهانه بارش هر ایستگاه با متوسط آن حاکی از آن است که ایستگاه‌های منطقه به طور مکرر دچار خشکسالی شده‌اند. در همین راستا مقایسه درصد احتمال وقوع مشاهده شده با توزیع احتمال نرمال حاکی از اختلاف بین آنها می‌باشد. زیرا درصد احتمال وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با توزیع احتمال نرمال همخوانی نداشته و بطور کامل از آن پیروی نمی‌کند (جدول ۳ و شکل ۲). در ابتدا باید گفت مجموع درصد احتمال وقوع ترسالی‌ها بیشتر از جمع درصد احتمال وقوع خشکسالی‌ها در چهار بازه تعریف شده در تمامی ایستگاه‌ها می‌باشد (بیش از ۵۰ درصد) و عدم تقارن بین احتمال وقوع خشکسالی و ترسالی کاملاً بیانگر این مسئله است. در کل منطقه، خشکسالی‌های شدید نسبت به خشکسالی‌های بسیار شدید از فراوانی وقوع کمتری برخوردار هستند که از کمترین میزان در ایستگاه پارودبار (۱۷/۵ درصد) تا بیشترین مقدار در ایستگاه هراتبر (۳۸/۳۳۳ درصد) متغییر می‌باشد و فراوانی و احتمال وقوع خشکسالی‌های ملایم در سایر ایستگاه‌ها بین دو بازه فوق یعنی ۱۷/۵ تا ۳۸/۳۳۳ در نوسان می‌باشد. همان گونه که پیداست بیشترین و کمترین احتمال خشکسالی‌های ملایم در دو ایستگاه منطقه شرقی یعنی پارودبار (در ارتفاع ۴۹۳ متر) و هراتبر (در ارتفاع ۱۱۰ متر) محاسبه شده است. همچنین مقایسه درصد وقوع خشکسالی‌های رخ داده در یک بازه مشخص با توزیع نرمال، نشان دهنده تغییر قابل توجه در ایستگاه‌های مختلف می‌باشد.

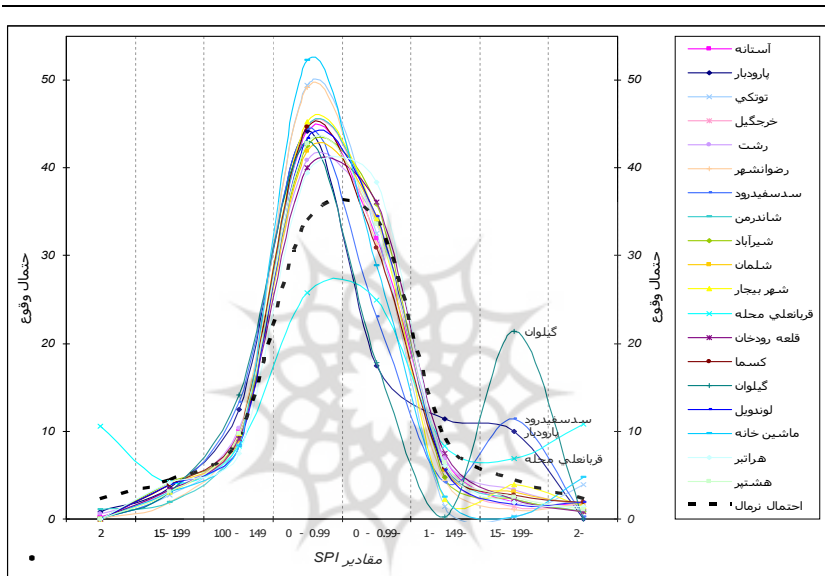
جدول ۳. مقایسه توزیع احتمال مشاهده شده با توزیع احتمال *SPI* در ایستگاه‌های مورد مطالعه

خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	خشکسالی ضعیف	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید	طیقه
۲- یا کمتر	۱-۵ تا -۱-۹	۱-۱ تا -۱-۴۹	۰ تا -۰-۹۹	۰ تا ۰-۹۹	۱-۰ تا ۱-۴۹	۱-۰ تا ۱-۴۹	۱-۰ تا ۱-۴۹	مقادیر <i>SPI</i>
۲-۳	۴-۴	۹-۲	۲۴-۱	۲۴-۱	۹-۲	۴-۴	۲-۳	احتمال نرمال %
احتمال وقوع مشاهده شده در ایستگاه‌ها به درصد %								
۱-۶۶۷	۱-۹۴۴	۶-۹۴۴	۳۱-۹۴۴	۴۴-۱۶۷	۱-۰	۳-۰۵۶	۰-۲۷۸	آستانه
۰	۱-۰	۱۱-۳۸۹	۱۷-۵	۴۴-۱۶۷	۱۲-۵	۳-۶۱۱	۰-۸۳۳	پارودبار
۳-۸۸۹	۰-۲۷۸	۱-۳۸۹	۳۲-۵	۴۹-۴۴۴	۹-۴۴۴	۲-۷۷۸	۰-۲۷۸	توتکی
۱-۶۶۷	۱-۳۸۹	۵-۵۵۶	۳۲-۸۸۹	۴۴-۷۲۲	۹-۴۴۴	۳-۲۳۳	۰	خرجگیل
۱-۳۸۹	۳-۳۳۳	۶-۹۴۴	۲۳-۶۱۱	۴-۰۸۳۳	۱۰-۲۷۸	۳-۰۵۶	۰-۵۵۶	رشت
۱-۹۴۴	۱-۱۱۱	۴-۴۴۴	۳۱-۳۸۹	۴۹-۱۶۷	۹-۷۲۲	۱-۹۴۴	۰-۲۷۸	رضوانشهر
۰-۲۷۸	۱۱-۳۸۹	۴-۱۶۷	۲۳-۰۵۶	۴۴-۴۴۴	۱۳-۳۳۳	۳-۰۵۶	۰-۲۷۸	سدسفیدرود
۰-۸۳۳	۲-۳۳۳	۶-۱۱۱	۳۴-۱۶۷	۴۴-۷۲۲	۸-۸۸۹	۱-۹۴۴	۱-۱۱۱	شاندرمن
۰-۸۳۳	۲-۳۳۳	۴-۷۲۲	۳۵-۸۳۳	۴۲-۵	۹-۱۶۷	۴-۱۶۷	۰-۵۵۶	شیرآباد
۱-۶۶۷	۳-۰۵۶	۵-۵۵۶	۳۴-۴۴۴	۴۱-۹۴۴	۸-۸۸۹	۳-۸۸۹	۰-۵۵۶	شلمان
۱-۳۸۹	۳-۸۸۹	۲-۲۲۲	۲۴-۱۶۷	۴۵-۲۷۸	۹-۷۲۲	۳-۰۵۶	۰-۲۷۸	شهر بیجار
۱۰-۸۳۳	۶-۹۴۴	۸-۳۳۳	۲۵	۲۵-۸۳۳	۸-۳۳۳	۴-۱۶۷	۱۰-۵۵۶	قربانعلی محله
۰-۸۳۳	۲-۳۳۳	۷-۵	۳۶-۱۱۱	۴۰	۹-۱۶۷	۲-۲۳۳	۰-۸۳۳	قلعه رودخان
۱-۹۴۴	۲-۷۷۸	۵-۸۳۳	۳۰-۸۳۳	۴۴-۷۲۲	۹-۷۲۲	۳-۸۸۹	۰-۲۷۸	کسما
۰	۲۱-۳۸۹	۰-۲۷۸	۱۷-۷۷۸	۴۳-۰۵۶	۱۴-۱۶۷	۳-۰۵۶	۰-۲۷۸	گیلوان
۱-۹۴۴	۱-۶۶۷	۵-۵۵۶	۳۴-۴۴۴	۴۳-۳۳۳	۸-۳۳۳	۳-۸۸۹	۰-۸۳۳	لوندویل
۴-۷۲۲	۰-۲۷۸	۲-۵	۲۸-۸۸۹	۵۲-۲۲۲	۸-۳۳۳	۳-۰۵۶	۰	ماشین خانه
۱-۳۸۹	۱-۹۴۴	۶-۱۱۱	۳۸-۳۳۳	۲۹-۴۴۴	۷-۵	۴-۱۶۷	۱-۱۱۱	هراتبر
۱-۱۱۱	۲-۵	۶-۳۸۹	۲۳-۶۱۱	۴۲-۷۷۸	۹-۷۲۲	۳-۰۵۶	۰-۸۳۳	هشتبر

بعنوان مثال در بازه دوم (۱- تا ۱/۴۹-) طبق جدول (۳) درصد وقوع خشکسالی به ترتیب در ایستگاه‌های مورد مطالعه یعنی آستانه، پارودبار، توتکی، خرجگیل، رشت، رضوانشهر، سدسفیدرود، شاندرمن، شیرآباد، شلمان، شهر بیجار، قربانعلی محله، قلعه رودخان، کسما، گیلوان، لوندویل، ماشین خانه، هراتبر و هشتبر برابر با: ۶/۹۴۴، ۱۱/۳۸۹، ۱/۳۹۸، ۵/۵۵۶، ۶/۹۴۴، ۴/۴۴۴، ۴/۱۶۷، ۴/۱۱۱، ۶/۱۱۱، ۴/۷۲۲، ۵/۵۵۶، ۲/۲۲۲، ۸/۳۳۳، ۷/۵، ۵/۸۳۳، ۰/۲۷۸، ۵/۵۵۶، ۲/۵، ۶/۱۱۱ و ۶/۳۸۹ برآورد شده است. تغییر فوق در سایر بازه‌ها نیز مشاهده می‌شود. همچنین احتمال و فراوانی وقوع خشکسالی‌های ضعیف نسبت به خشکسالی‌های بسیار شدید بیشتر بوده و احتمال وقوع خشکسالی‌های ضعیف تا متوسط نسبت به خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید با سیکل‌های کوتاه مدت بالاتر می‌باشد.

زیرا طبق اطلاعات مندرج در جدول (۳) احتمال وقوع خشکسالی‌های ضعیف، به ترتیب ایستگاه‌های ذکر شده در بالا برابر با: ۳۱/۹۴۴، ۱۷/۵، ۳۲/۵، ۳۳/۸۸۹، ۳۳/۶۱۱،

۳۰/۸۳۳، ۳۶/۱۱۱، ۲۵، ۳۴/۱۶۷، ۳۴/۴۴۴، ۳۵/۸۳۳، ۳۴/۱۶۷، ۲۳/۰۵۶، ۳۱/۳۸۹، ۱۷/۷۷۸، ۳۴/۴۴۴، ۲۸/۸۸۹، ۳۸/۳۳۳ و ۳۳/۶۱۱، به خشکسالی های شدید ۱/۹۴۴، ۱۰، ۰/۲۷۸، ۱/۳۸۹، ۳/۳۳۳، ۱/۱۱۱، ۱۱/۳۸۹، ۲/۲۲۲، ۲/۲۲۲، ۳/۰۵۶، ۳/۸۸۹، ۶/۹۴۴، ۲/۲۲۲، ۲/۷۷۸، ۲۱/۳۸۹، ۱/۶۶۷، ۰/۲۷۸ و ۱/۹۴۴ درصد از صد درصد بوده است. در نتیجه در تمامی ایستگاه‌ها فراوانترین خشکسالی‌ها از نوع ملایم (*SPI* بین ۰ تا ۰/۹۹-) و نادرترین خشکسالی‌ها از نوع شدید علی‌الخصوص بسیار شدید (*SPI* بیشتر از ۲-) می‌باشند.



شکل ۲. مقایسه احتمال وقوع خشکسالی با احتمال نرمال *SPI* در ایستگاه‌های مورد مطالعه

در بعضی از ایستگاه‌ها بی نظمی در توزیع احتمال خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید دیده می‌شود (مثل سد سفید رود با احتمال وقوع خشکسالی شدید ۱۱/۳۸۹ درصد یا گیلوان با احتمال وقوع ۲۱/۳۸۹ درصد). این نشان دهنده کاهش احتمال وقوع خشکسالی‌های کوتاه مدت و افزایش خشکسالی‌های بلند مدت در ایستگاه‌های فوق الذکر می‌باشد. بنابر این نظم و روند احتمال وقوع خشکسالی‌های کوتاه مدت به بلند مدت در ایستگاه‌های پارودبار، سد سفید رود، قربانعلی محله و گیلوان نسبت به سایر ایستگاه‌ها تا حدودی متفاوت است (شکل ۲). اطلاعات مربوط به احتمال وقوع خشکسالی در بازه‌های مورد مطالعه بطور کامل در جدول (۳) و نمودار ترسیمی آن در شکل (۲) نمایش داده شده است.

به منظور بررسی فراوانی خشکسالی‌های رخ داده در گستره استان گیلان، در ابتدا خشکسالی‌ها با مدت‌های رخ داده در ۱۹ ایستگاه منتخب شمارش، سپس در جدول

(۴) درج گردید. نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که فراوانی خشکسالی‌های یک تا سه ماهه در تمامی ایستگاه‌ها دارای بیشترین تکرار و فراوانی خشکسالی‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ ماهه دارای کمترین تکرار هستند. تعداد خشکسالی‌ها از یک ماهه به نه ماهه در کل ایستگاه‌ها یکسان نبوده و از روند خطی پیروی نمی‌کند. بلکه فراوانترین خشکسالی‌های یک ماهه را ایستگاه توتکی با ۴۷ بار تکرار و کمترین آن را دو ایستگاه پارودبار و سد سفیدرود با ۱۷ بار تکرار دارند. این مسئله در مورد خشکسالی‌های ۲ ماهه مصداق نداشته و فراوانی خشکسالی‌ها با مدت‌های دیگر نامنظم بوده و قائده خاصی را دنبال نمی‌کند. در کل ایستگاه‌ها رابطه بین مدت - فراوانی از نوع روند کاهشی غیر خطی می‌باشد زیرا با وجود کاهش در فراوانی از یک ماهه به ۹ ماهه، اوج ثانویه در فراوانی خشکسالی‌ها در ماه‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود. مقدار R^2 در تمامی ایستگاه‌ها از ۰/۷ بیشتر می‌باشد و رابطه مدت- فراوانی از نوع لگاریتمی بوده و از این تابع پیروی می‌کند (جدول ۵).

جدول ۴. فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در مدت‌های تعریف شده در محدوده مورد مطالعه

ایستگاه	مدت به ماه									
	دوره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
آستانه	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۲	۱۶	۵	۳	۵	۴	۱	۰	۰
پارودبار	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۱۷	۹	۵	۱۲	۷	۱	۰	۰	۰
توتکی	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۴۷	۱۶	۱۱	۲	۲	۱	۰	۰	۰
خرجگیل	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۴۰	۲۲	۸	۶	۱	۱	۰	۱	۰
رشت	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۲۷	۲۰	۹	۶	۴	۲	۱	۰	۰
رضوانشهر	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۵	۲۰	۷	۴	۴	۰	۱	۰	۰
سدسفیدرود	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۱۷	۷	۳	۱۳	۳	۳	۱	۱	۰
شاندرمن	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۴۱	۲۳	۱۱	۴	۱	۱	۱	۰	۰
شیرآباد	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۴	۲۲	۹	۴	۱	۱	۲	۱	۰
شلمان	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۶	۱۵	۸	۳	۳	۲	۳	۱	۰
شهر بیجار	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۴۳	۱۸	۱۲	۲	۲	۱	۰	۱	۰
قربانعلی محله	۱۳۹۷-۱۳۵۷	۲۴	۲۱	۱۰	۵	۷	۰	۱	۳	۰
قلعه رودخان	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۵	۳۰	۱۱	۲	۲	۲	۰	۱	۰
کسما	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۳	۱۷	۱۲	۳	۴	۱	۱	۰	۰
گیلوان	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۲۴	۹	۷	۹	۵	۳	۰	۰	۰
لوندویل	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۵	۱۷	۱۶	۲	۶	۰	۰	۰	۰
ماشین خانه	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۷	۲۶	۷	۲	۱	۰	۱	۰	۰
هراتبر	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۰	۱۷	۱۲	۵	۴	۳	۱	۰	۰
هشتپر	۱۳۸۷-۱۳۵۷	۳۴	۲۲	۱۳	۷	۲	۰	۱	۰	۰

جدول ۵. معادلات برآورد رابطه فراوانی وقوع با مدت خشکسالی به ماه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	میزان همبستگی مدت - فراوانی	معادلات
آستانه	$0.8683R^2 =$	$26.57 Ln(x) + 13.52y = -$
پارودبار	$0.7799 R^2 =$	$16.36 Ln(x) + 7.52y = -$
تونکی	$0.8422R^2 =$	$36.76 Ln(x) + 19.67y = -$
خرجگیل	$0.8987R^2 =$	$34.395 y = -18 Ln(x) +$
رشت	$0.9587R^2 =$	$26.264 Ln(x) + 13.07y = -$
رضوانشهر	$0.9041R^2 =$	$30.40 Ln(x) + 15.83y = -$
سد سفید رود	$0.6706R^2 =$	$14.91 Ln(x) + 6.74y = -$
شاندرمن	$0.9105R^2 =$	$35.82 Ln(x) + 18.78y = -$
شیرآباد	$0.9047R^2 =$	$30.63 Ln(x) + 15.75y = -$
سلمان	$0.8596R^2 =$	$28.96 Ln(x) + 14.82y = -$
شهر بیجار	$0.8735 R^2 =$	$35.19 Ln(x) + 18.57y = -$
قربانعلی محله	$0.9077R^2 =$	$24.75 Ln(x) + 11.86y = -$
قلعه رودخان	$0.8746 R^2 =$	$34.49 Ln(x) + 17.76y = -$
کسماء	$0.9299R^2 =$	$29.09 Ln(x) + 14.91y = -$
گیلوان	$0.8938R^2 =$	$20.51 Ln(x) + 9.97y = -$
لووندویل	$0.9095R^2 =$	$31.24 Ln(x) + 16.02y = -$
ماشین خانه	$0.8685R^2 =$	$33.39 Ln(x) + 17.69y = -$
هراتیر	$0.9633R^2 =$	$27.51Ln(x) + 13.71y = -$
هشتیر	$0.9473R^2 =$	$31.69 Ln(x) + 16.27y = -$

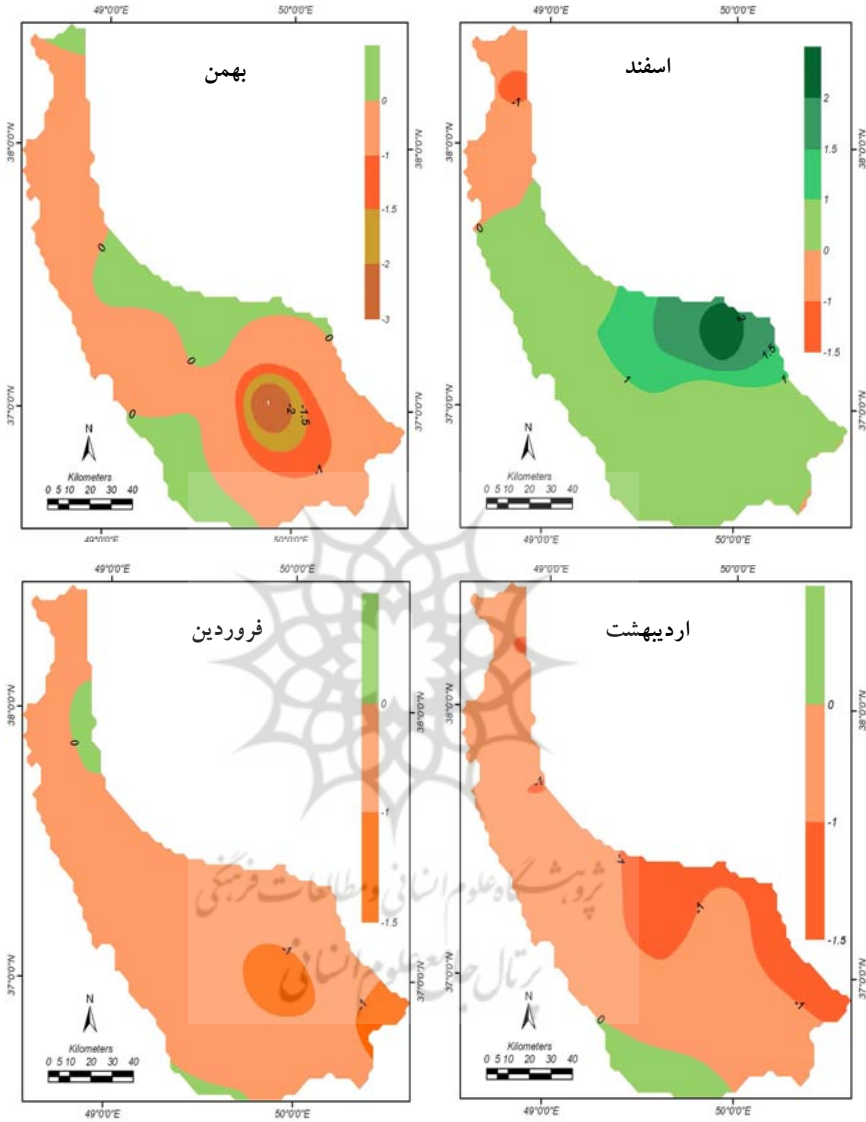
بررسی‌های صورت گرفته بر روی رابطه ضرایب شاخص استاندارد شده بارش در ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه، حاکی از ضریب بالای همبستگی و روابط قوی بین ایستگاه‌های نزدیک به هم می‌باشد. این میزان از کمترین (۰/۰۹) تا بیشترین (۰/۸۹) تغییر می‌کند. ضریب همبستگی نسبتاً قوی در بین ایستگاه‌ها در راستای طولی (شرق به غرب) و عرضی (از شمال به جنوب) در محور جلگه و جلگه به کوهستان دیده می‌شود. روند تغییر در راستای طول و عرض جغرافیایی ثابت و نشانه عدم همگنی تغییرات ضریب *SPI* در کل منطقه است. بنابراین از یک طرف خشکسالی‌ها در منطقه گیلان فراگیر بوده و منشاء محلی نداشته و مقیاس عملکرد آن بسیار وسیعتر از سطح مورد مطالعه می‌باشد و از طرف دیگر، زمان وقوع این پدیده در تمامی ایستگاه‌های مجاور هم با احتمال زیاد، یکی است. از این رو باید علت وقوع این پدیده، علتی به غیر از عوامل محلی نیز جستجو گردد. ولی نباید از نقش عوامل محلی در شدت و ضعف این پدیده غافل ماند. همچنین بین ایستگاه‌های دامنه شمالی (دارای اقلیم مرطوب) و ایستگاه‌های دامنه جنوبی دارای اقلیم خشک و نیمه خشک (پارودبار و سد سفیدرود و گیلوان) اختلاف فاحش در میزان همبستگی وجود دارد که آن بر عدم هم زمانی وقوع این پدیده در دو منطقه دلالت دارد (ارقام پر رنگ جدول ۶). با توجه به این مطالب پراکندگی مکانی و علل غیر محلی ایجاد خشکسالی‌ها از ویژگی‌های بارز این پدیده در

خشکسالی در این ماه بر روی شرق گیلان و در محدوده لاهیجان، لنگرود و رودسر واقع است و شهرستان انزلی، رودبار و محدوده باریکی در شهرستان آستارا در همین زمان با ترسالی ضعیف مواجه می‌باشند.

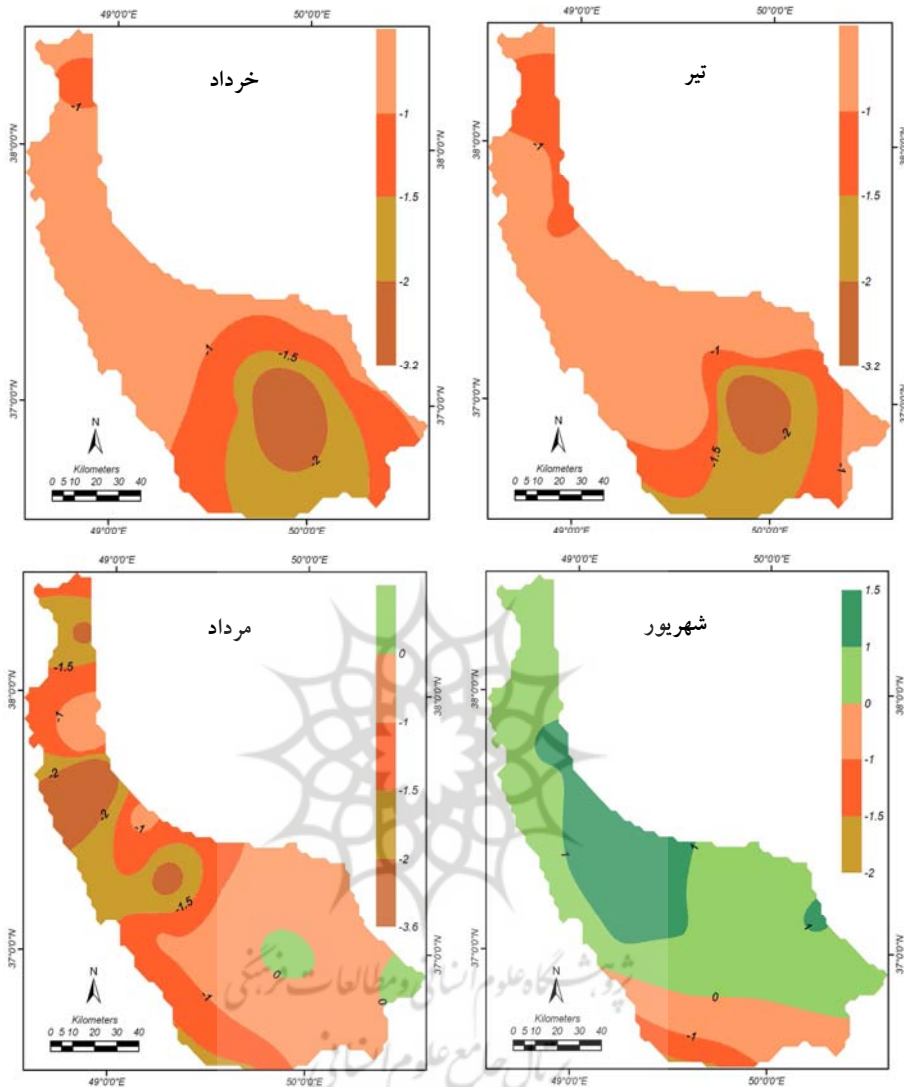
در عبور از ماه بهمن به اسفند شرایط کاملاً تغییر یافته و حاکمیت با ترسالی است در این زمان هسته بیشینه شدت ترسالی در محدوده کیاشهر و قسمت اعظم استان با ترسالی ضعیف روبه رو می‌باشد فقط از اسالم به طرف آستارا شرایط تغییر و خشکسالی ضعیف حاکم می‌گردد. مجدداً در فروردین شرایط خشک با شدت ضعیف و متوسط حاکم می‌گردد. این وضعیت برای ماه اردیبهشت نیز غالب می‌باشد. در ادامه روند وقوع خشکسالی کاملاً واضح است که در ماه خرداد شرایط بسیار سخت و بحرانی بر منطقه حاکم می‌شود.

زیرا تداوم خشکسالی از دو ماه قبل میزان تأثیر آن را با توجه به افزایش دما مضاعف می‌نماید در این ماه هسته بیشینه خشکسالی در شرق دره سفیدرود بوده و مناطق شرقی آن را پوشش می‌دهد همین شرایط با ویژگی‌های تعریف شده در ماه تیر هم وجود دارد. با گذر از تیر ماه و ورود به مرداد ماه هسته بیشینه خشکسالی از شرق به غرب جابه جا می‌شود.

مسئله مهم در ارتباط با خشکسالی رخ داده، طول مدت و فراگیر بودن آن (از فروردین تا مرداد) می‌باشد که باعث ایجاد شرایط سخت در منطقه گیلان می‌شود. در ادامه وضعیت رخ داده در ماه شهریور، شرایط تغییر و ترسالی حاکم می‌شود(اشکال ۳و۴).



شکل ۳. تغییرات و پایش مکانی- زمانی خشکسالی از بهمن ۱۳۶۳ تا شهریور ۱۳۶۴ در استان گیلان



شکل ۴. تغییرات و پایش مکانی-زمانی خشکسالی از بهمن ۱۳۶۳ تا شهریور ۱۳۶۴ در استان گیلان

۴. نتیجه گیری

با توجه به شرایط اقلیمی حاکم در سواحل جنوبی دریای خزر و حساسیت اکوسیستم این منطقه به پدیده‌های اقلیمی بحران زا، نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی (شدت، مدت، فراوانی و سطح درگیر) در استان گیلان نشان دهنده عدم همخوانی و پیروی درصد احتمال وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با توزیع احتمال نرمال

بوده و درصد احتمال وقوع خشکسالی‌ها در تمامی ایستگاه‌ها از درصد احتمال وقوع ترسالی نیز بیشتر است.

فراوانی وقوع خشکسالی‌های شدید نسبت به خشکسالی‌های ضعیف بیشتر می‌باشد. بیشترین فراوانی در این منطقه از آن خشکسالی‌های کوتاه مدت (یک ماهه) و در بعضی از ایستگاه‌ها بی‌نظمی در توزیع احتمال خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید دیده می‌شود (مثل سد سفید رود با احتمال وقوع خشکسالی شدید ۱۱/۳۸۹ درصد یا گیلوان با احتمال وقوع ۲۱/۳۸۹ درصد). علاوه بر این فراوانی دوره‌های خشک در تمامی ایستگاه‌ها در بازه‌های مورد مطالعه از شدت‌های کم (۰ تا ۰/۹۹-) به شدت‌های بالاتر (۱/۵- تا ۱/۹۹-) یا بیشتر) به طور منظم و یکنواخت به استثناء چهار ایستگاه (پارودبار، سد سفید رود، قربانعلی محله و گیلوان) کاهش می‌یابد.

زیرا تعداد و فراوانی خشکسالی چهار ایستگاه فوق در بازه (۱/۵- تا ۱/۹۹-) نسبت به سایر ایستگاه‌ها و احتمال نرمال *SPI* افزایش نشان می‌دهد. در همین راستا درصد احتمال وقوع خشکسالی‌ها در دامنه ($1/5 > SPI > -1/5$) در بیشتر ایستگاه‌ها بالاتر از ۸۵ درصد می‌باشد (به استثنای قربانعلی محله، با احتمال وقوع ۶۷ درصدی کمترین احتمال برآورد شده را در بازه فوق دارا است). احتمال وقوع خشکسالی یا ترسالی در خارج از دامنه تعریف شده ($1/5 > SPI > -1/5$) در تمامی ایستگاه‌ها بین ده تا بیست درصد (قربانعلی محله در حدود ۳۰ درصد) متغییر است. از این رو احتمال وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های متوسط تا ضعیف بیشتر از خشکسالی‌های شدید و بسیار شدید بوده و احتمال می‌رود بین هر هشت تا ده ماه یک بار خشکسالی یا ترسالی با شدت بیشتر از بازه تعریف شده در منطقه مورد مطالعه رخ دهد. بررسی تواتر، روند و نوسان خشکسالی، حاکی از نوسانات منظم این پدیده در ایستگاه‌های مورد مطالعه است. زیرا خشکسالی با شدت‌های متفاوت در ایستگاه‌های مورد مطالعه، رخ داده است. فقط شدت‌ها با توجه به فاکتورهای محلی کمی متغییر می‌باشند.

همچنین در کل ایستگاه‌ها رابطه بین مدت- فراوانی از نوع روند کاهشی غیر خطی می‌باشد زیرا با وجود کاهش در فراوانی از یک ماهه به ۹ ماهه، اوج ثانویه در فراوانی خشکسالی‌ها در ماه‌های ۴ و ۵ دیده می‌شود. مقدار همبستگی در تمامی ایستگاه‌ها از ۰/۷ بیشتر بوده و رابطه مدت - فراوانی از نوع لگاریتمی و از این تابع پیروی می‌کند. بررسی‌های صورت گرفته بر روی خشکسالی استان نشان داد پایش این پدیده در ۱۹ ایستگاه مورد بررسی حاکی از برازش دقیق بارش با تابع توزیع گاما بوده و با مدل سازی‌های انجام شده می‌توان شدت خشکسالی را با این مدل (*SPI*) برآورد کرد. در همین راستا با برآورد میزان همبستگی ضریب خشکسالی در ایستگاه‌های گیلان، همبستگی در ایستگاه‌های مجاور هم بالا و با فاصله از مقدار آن کاسته می‌شود این بر

تفاوت مکانی و زمانی شدت خشکسالی تأکید دارد. همچنین رابطه بین ایستگاه سد سفید رود، پارودبار و گیلوان با سایر ایستگاه‌های دامنه شمالی در محدوده استان بسیار پایین بوده و این رابطه بین سه ایستگاه فوق، بالا (بیش از ۰/۸) می‌باشد. در نهایت تحلیل حاصل از الگوی مکانی- زمانی خشکسالی نشان دهنده این مطلب است که این پدیده در استان گیلان به صورت مکرر اتفاق می‌افتد و حاکمیت این حالت شرایط دشواری را بر اکوسیستم و منابع طبیعی آن وارد می‌کند البته باید گفت در بعضی دوره‌ها تغییرات تناوبی دوره خشک و تر از شدت شرایط خشکسالی می‌کاهد مهمترین مسئله در بررسی خشکسالی به روش *SPI* عدم در نظر گرفتن مقیاس زمانی روزانه جهت کاهش تغییرات زمانی بارش در ماه مورد نظر و شدت آن می‌باشد که در *EP* این نقص برطرف شده است.

۵. سپاس‌گزاری

مقاله حاضر دستاورد حاصل از طرح پژوهشی است که با حمایت مالی باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت انجام پذیرفته است. لذا بر خود لازم می‌دانیم از معاونت محترم پژوهشی و رئیس باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت تشکر و قدردانی نماییم.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۶. منابع

۱. انصافی مقدم، ط (۱۳۸۲)، پایش و ارزیابی روند بیابانی شدن اقلیم براساس شاخص آماری نمره Z در ایستگاه‌های حوضه مرکزی ایران، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ۱۳۸۲، دانشگاه اصفهان.
۲. رضیعی، طیب، شکوهی، ع، ثقفیان، ب و دانش‌کار آراسته، پ (۱۳۸۲)، پایش پدیده خشکسالی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص *SPI*، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ۱۳۸۲، دانشگاه اصفهان.
۳. فرج زاده، م (۱۳۸۴)، خشکسالی: از مفهوم تا راهکار، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
۴. محمدی، ک، داوطلب، ر و میناچی، ف (۱۳۸۲)، پهنه بندی خشکسالی‌های اقلیمی در حوضه مارون با استفاده از شاخص آماری *SIAP*، سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، ۲۹ مهر الی ۱ آبان ۱۳۸۲، دانشگاه اصفهان.

5. Barlow. M, Cullen. H, Lyon. B, (2002), *Drought in Central and Southwest Asia: La Nina, the Warm Pool, and Indian Ocean Precipitation*, *Journal of climate*, Volume 15, 7:697-700.
6. Bordi. I, Fraedrich. K, Sutera. A, (2009), *Observed drought and wetness trends in Europe: an update*, *Journal of Hydrol. Earth Syst. Sci*, 13, 1519–1530.
7. Edward .DC, McKee .TB, (1997), *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple timescales*, *Colorado State University: Fort Collins, Climatology Report No*, 97-2.
8. "Michael. J. h, (2007), *What is drought: drought in dices, climate impacts specialist, national drought mitigation center*. <http://Ulysses Atmos. Colostate. Edu/spi.html>.
9. Sirdas. S, Şen. Z, (2003), *Spatio-temporal drought analysis in the Trakya region, Turkey*, *Journal of Hydrological Sciences*, Volume 48, 5:809-820.
10. Trnka. M, Dubrovský. M, Semerádová. D, Žalud. Z, Svoboda. M, Hayes. M, Wilhite. D, (2006), *New Method for Assessment of the Drought Climatology - Czech Republic as a Case Study*, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, , SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-10338.
11. Tsakiris. G, Vangelis .H, (2004), *Towards a Drought Watch System based on Spatial SPI*, *Journal of Water Resources Management*, 18: 1–12.
12. Yahiaoui. A, Touaïbia. B, Bouvier. C, (2009), *Frequency analysis of the hydrological drought regime. Case of oued Mina catchment in western of Algeria*, *Revue Nature et Technologie*, 1: 3 -15.
13. Yildiz. O, (2009), *Assessing temporal and spatial characteristics of droughts in the Hirfanli dam basin, Turkey*, *Academic Journal of Scientific Research and Essay*, Volume 4 , 4: 249-255, ISSN 1992-22