



دانشگاه گواران
مجله علمی مهندسی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره چهارم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

تعیین تغییرات توزیع بارش سالانه در برخی از ایستگاه‌های نیمه شمالی ایران

* میثم سالاری جزی

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۲۰

چکیده

سابقه و هدف: در کنار محدودیت‌های اولیه آزمون‌های متداول بررسی روند بارش (رگرسیون خطی معمولی، من-کندال، سن و...)، این روش‌ها فقط به برآورد میانگین یا میانه شرطی می‌پردازند و کوانتایل‌های مختلف را در نظر نمی‌گیرند. بررسی روند تغییرات تابع توزیع احتمال تجربی (EPDF) و تابع توزیع تجمعی تجربی (ECDF) می‌تواند منجر به دستیابی به اطلاعات کامل‌تری در مقایسه با روش‌های متداول شود. در این مطالعه هدف کاربرد رگرسیون کوانتایل در برآورد تغییرات EPDF و ECDF بارش سالانه در پنج ایستگاه در شمال کشور و تحلیل آن‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها: با استفاده از رگرسیون کوانتایل خطوط رگرسیون برای کوانتایل‌ها (۰/۹۵-۰/۰۵ با گام ۰/۰۱) برآورد گردید. بر اساس شیب خطوط رگرسیون کوانتایل و نیز معنی‌داری آماری آن‌ها در سطح ۰/۰۵ نمودار شیب-کوانتایل رسم و بررسی شد. با در نظر گرفتن کوانتایل‌های منتخب ۰/۹، ۰/۷، ۰/۵، ۰/۳ و ۰/۱ نمودار روند بارش سالانه در سری‌های مختلف ارایه شد و نتایج تحلیل گردید. با کاربرد مفهوم رگرسیون کوانتایل نمودارهای EPDF و ECDF سال اول و سال آخر دوره آماری ثبت شده در هر سری برآورد شده و نمودار آن تعیین گردید و مقایسه بین آن‌ها گرفت.

یافته‌ها: با در نظر گرفتن سطح ۰/۰۵ معنی‌داری آماری، تعداد خطوط با شیب‌های مثبت در همه سری‌های از تعداد خطوط با شیب‌های منفی به مراتب بیشتر بوده است. بررسی نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل نشان می‌دهد برای سری داده‌های مشهد خطوط روند برای کوانتایل‌های بالایی کاهشی و برای کوانتایل‌های پایینی افزایشی است در حالی که برای سایر سری‌ها خطوط بالایی روند افزایشی و خطوط پایینی روند کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین در سری داده‌های گرگان، بندرانزلی، تبریز و ارومیه بزرگی شیب خطوط روند در کوانتایل‌های پایینی از بزرگی شیب خطوط روند در کوانتایل‌های بالایی بیشتر است اما برای سری مشهد این الگو به شکل معکوس برقرار است. بررسی مقایسه‌ای نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره بیانگر آنست که سری داده‌های تبریز، گرگان و ارومیه و تا حدی بندرانزلی ECDFها دارای تفاوت مشهود در کران پایینی سطوح احتمال مورد بررسی هستند اما برای سری داده‌های مشهد این تفاوت محدود می‌باشد. بررسی الگوی تغییرات EPDF نشان می‌دهد برای هر پنج سری پارامتر مکان

* مسئول مکاتبه: meysam.salarijazi@gmail.com

نسبتاً ثابت است اما تغییرات پارامتر مقیاس موجب تیزتر شدن EPDF انتهای دوره سری داده مشهد و مسطح‌تر شدن سری‌های داده‌های گرگان، بندرانزلی، تبریز و ارومیه شده است. به‌علاوه برای سری داده‌های مشهد و بندرانزلی بیش‌ترین تغییرات در انتهای EPDF و برای سری داده‌های گرگان، تبریز و ارومیه تغییرات در ابتدای EPDF مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری: کاربرد رگرسیون کوانتایل می‌تواند بدون تأثیر از محدودیت‌های روش‌های متداول تحلیل روند منجر به دسترسی به طیف وسیع‌تری از نتایج کاربردی شود. بین علامت شیب خطوط رگرسیون در کوانتایل‌های بالایی و پایینی در هر پنج سری تفاوت کاملاً مشخصی وجود دارد که نشان می‌دهد روش‌های متداول نمی‌توانند ابزاری مناسب برای بررسی روند رویدادهای حدی باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که رگرسیون کوانتایل یک ابزار مفید جهت تحلیل تغییرات EPDF و ECDF داده‌ها در طول سری زمانی است و این تحلیل نتایج کاملاً مفیدتری در مقایسه با روش‌های متداول بررسی روند ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون کوانتایل، تغییرات، بارش سالانه، تابع توزیع احتمال تجربی، تابع توزیع تجمعی تجربی

مقدمه

در مطالعات مرتبط با هیدرولوژی و منابع آب بارش از جنبه‌های مختلفی مانند تأثیر آن در تولید رواناب (۲، ۳، ۴، ۵، ۱۵ و ۱۲)، تغییرات در ورودی مخازن و سدها (۱ و ۵)، تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی (۳۱، ۳۲ و ۳۶)، وقوع خشکسالی (۱۱، ۳۳ و ۳۴)، ایجاد سیلاب‌ها با مکانیزم‌های مختلف (۴۱)، (۴۲ و ۴۳)، مطالعات بیلان هیدرولوژیکی (۸، ۳۸ و ۵۰) و بسیاری از موارد دیگر مورد توجه می‌باشد. به‌علت اثرات بسیار مهم بارش بر فرایندهای مختلف مطالعات متفاوتی در زمینه بررسی تغییرات کمی آن نیز انجام شده است. مطالعات صورت گرفته در این زمینه بیش‌تر بر مبنای کاربرد روش‌های متداول پارامتری مانند رگرسیون خطی و یا روش‌های ناپارامتری مانند آزمون من-کندال و سن می‌باشد که در مباحث مختلف منابع آب به‌شدت مورد توجه قرار گرفته و کاربردهای متعددی از آن در زمینه تحلیل

روند متغیرهایی مانند دما (۵۱، ۴۷ و ۲۷)، بارش (۱۰، ۳۴ و ۳۵)، تبخیر و تبخیر و تعرق (۲۲، ۲۰ و ۲۶)، رواناب (۱۳، ۳۰ و ۴۱)، کیفیت آب (۲۳، ۵۲ و ۳۷)، و سرعت باد (۳۹) صورت گرفته است. به‌طورکلی روش‌های فوق‌الذکر به برآورد میانگین یا میانه شرطی متغیر وابسته به‌ازای مقدار مشخص متغیر مستقل می‌پردازند که در مطالعات روند متغیر مستقل مشخصاً زمان می‌باشد. هر چند این روش‌ها به شکل بسیار وسیع توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار می‌گیرد اما دارای محدودیت‌های خاص خود نیز می‌باشد. از مهم‌ترین محدودیت‌های رگرسیون خطی معمولی آنست که نسبت به داده‌های پرت حساس است (هلسل و هرش، ۱۹۹۹؛ مک‌کوئن، ۲۰۱۶) و همچنین باید برآورده شدن فرضیات متعددی در مورد باقی‌مانده‌های مدل مورد آزمون قرار بگیرد (۱۹ و ۲۹). از طرف دیگر روش‌های متداول ناپارامتری مانند آزمون من-کندال و سن دارای این محدودیت هستند

برآورد تغییرات EPDF و ECDF یک مفهوم کاربردی در تحلیل تغییرات متغیرهای هیدرولوژیکی در طول زمان می‌باشد و به درک مناسب‌تر عدم ایستایی احتمالی سری‌های زمانی این متغیرها کمک می‌کند و همچنین به درک مناسب‌تر مفهوم ریسک و عدم قطعیت متغیرهای مورد نظر می‌انجامد. با توجه به این‌که برآورد تغییرات در EPDF و ECDF متغیرهای هیدرولوژیکی می‌تواند به دسترسی به نتایج بسیار کامل‌تری نسبت به روش‌های رایج برآورد روند منجر شود در این مطالعه کاربرد روش رگرسیون کوانتایل به‌عنوان یک ابزار کاربردی برای برآورد تغییرات EPDF و ECDF سری‌های بارش سالانه پنج ایستگاه در شمال ایران مورد مطالعه قرار گرفته است تا نتایج حاصل از این بررسی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده: برای بررسی تغییرات EPDF و ECDF بارش سالانه در شمال کشور از داده‌های ثبت‌شده ۵ ایستگاه در شمال کشور شامل ایستگاه‌های مشهد، گرگان، بندرانزلی، تبریز و ارومیه استفاده شده است. انتخاب این پنج ایستگاه به دو دلیل عمده بوده است. دلیل اول آن‌که ایستگاه‌های فوق‌الذکر گستره شمال‌شرقی، شمال و شمال‌غربی کشور را پوشش می‌دهند و دلیل دوم آن‌که این ایستگاه‌ها دارای بالاترین دوره آماری ثبت‌شده در بین ایستگاه‌های شمال کشور هستند و طول دوره آماری آن‌ها تقریباً یکسان است. مشخصات داده‌های مورد استفاده در جدول ۱ ارائه شده است.

که بر برآورد میانگین شرطی رایج شده‌اند و نمی‌توانند تغییرات را در کران بالایی و پایینی کوانتایل‌ها در نظر بگیرند (۲۴). روش رگرسیون کوانتایل به‌عنوان یک روش آماری توسط کوئکر و باست (۱۹۷۸) رایج شده است و مهم‌ترین ویژگی آن اینست که قادر به برآورد روند یک متغیر وابسته برای کوانتایل‌های مورد نظر است و از این نظر بر روش‌های متداول بسیار برتری دارد (۹ و ۲۵). پژوهش‌هایی در زمینه کاربرد روش رگرسیون کوانتایل در شاخه‌های مختلف علوم به‌کار گرفته شده و کارایی آن مورد تأکید واقع شده اما کاربرد این روش بسیار مهم در هیدرولوژی و محیط زیست در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و بنابراین در این مورد مطالعات کافی صورت نگرفته و مطالعات موجود بر اساس بررسی‌ها منحصر به مطالعات محدود انجام شده در خارج از کشور می‌باشد. پژوهش‌های صورت گرفته در بحث کاربرد رگرسیون کوانتایل در هیدرولوژی و محیط‌زیست در قریب به اتفاق موارد بر تحلیل روند استوار بوده است و به‌عبارت دیگر توسعه تحقیقاتی در این زمینه بوده که معمولاً بر روش‌های متداول پارامتری و ناپارامتری رگرسیون معمولی، آزمون من-کندال و آزمون سن تکیه کرده‌اند. در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های انجام شده در زمینه تحلیل روند بارش (۲۸، ۴۸، ۴۹ و ۵۰)، تراز سطح آب (۶)، سرعت باد (۲۱) و دما (۷) اشاره کرد. در مطالعه‌ای متفاوت (شیائو و هوانگ، ۲۰۱۵) نشان داده شده که روش رگرسیون کوانتایل می‌تواند برای برآورد تابع توزیع احتمال تجربی ($EPDF^1$) و تابع توزیع تجمعی تجربی ($ECDF^2$) به‌کار گرفته شود (۴۴ و ۴۵).

- 1- Empirical Probability Distribution Function
- 2- Empirical Cumulative Distribution Function

جدول ۱- مشخصات داده‌های ایستگاه‌های مورد استفاده.

Table 1. Characteristics of data of used stations.

انحراف معیار Standard Deviation	میانگین Mean	سال انتهای دوره Last Year	سال ابتدای دوره First Year	نام ایستگاه Station
70.18	250.28	2014	1951	مشهد Mashhad
189.66	582.84	2014	1952	گرگان Gorgan
417.67	1842.21	2014	1951	بندر انزلی Bandar-Anzali
76.83	283.36	2014	1951	تبریز Tabriz
94.21	338.29	2014	1951	ارومیه Orumiyeh

برای میانگین شرطی برازش داده می‌شود. مدل رگرسیون کوانتایل با ایده‌ای مشابه برای کوانتایل‌های شرطی^۲ به کار می‌رود. مانند رگرسیون معمولی (میانگین)، کاربردهایی مانند بررسی رابطه متغیرهای وابسته با کوانتایل‌ها و همچنین پیش‌بینی آن‌ها برای این نوع از رگرسیون نیز میسر است. با وجود این، شاید مهم‌ترین کاربرد رگرسیون کوانتایل، شناسایی شکل توزیع متغیر وابسته مدل در سطوح گوناگون متغیر مستقل باشد؛ این کار با برازش مدل رگرسیونی متعدد بر یک مجموعه داده به‌ازای کوانتایل‌های مختلف صورت می‌گیرد. برای ارائه تعریف دقیقی از مدل رگرسیون کوانتایل $\theta \in (0,1)$ ام ابتدا مدل (۱) را به صورت $Y_i = \alpha_\theta + \beta_\theta X_i + \varepsilon_{\theta i}$ بازنویسی می‌کنیم. مدل رگرسیون ساده خطی کوانتایل $\theta \in (0,1)$ ام (کونکر و باست، ۱۹۷۸) عبارتست از:

$$Q_{\theta_i} = \alpha_\theta + \beta_\theta X_i \quad i=1,2,\dots,n \quad (3)$$

رگرسیون کوانتایل: مدل رگرسیون معمولی حداقل مربعات به بررسی رابطه میانگین توزیع متغیر تصادفی وابسته Y با تعدادی متغیر مستقل می‌پردازد. مدل رگرسیون معمولی حداقل مربعات خطی با یک متغیر مستقل به فرم زیر می‌باشد.

$$Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i \quad (1)$$

که در آن، ε_i متغیر تصادفی و α, β پارامترهای نامعلوم مدل که باید برآورد شوند و x_i مقادیر معلوم از متغیر مستقل هستند.

در صورتی که $E(\varepsilon_i) = 0$ باشد آن‌گاه مدل (۱) به فرم زیر بازنویسی می‌شود:

$$E(Y_i) = \alpha + \beta x_i \quad (2)$$

که در آن، $E(Y_i)$ میانگین شرطی^۱ متغیر تصادفی Y است با $E(Y|X)$ نیز نمایش داده می‌شود. مدل (۲)

رگرسیون به گونه‌ای برازش داده می‌شود که در مجموع فاصله نقاط از آن به حداقل برسد. در رگرسیون کوانتایل بر خلاف رگرسیون معمولی از حداقل نمودن مجموع قدرمطلق باقی‌مانده‌های موزون برای برآورد پارامترهای مدل استفاده می‌شود که به آن روش حداقل قدرمطلق باقی‌مانده‌ها یا LAD گفته می‌شود. این معیار برای مدل (۳) به قرار زیر است:

$$\phi_{LAD} = \theta \sum_{i/y_i \leq \alpha_0 + \beta_0 x_i} (y_i - \alpha_0 - \beta_0 x_i) + (1 - \theta) \sum_{i/y_i > \alpha_0 + \beta_0 x_i} (y_i - \alpha_0 - \beta_0 x_i) \quad (4)$$

به‌ازای کوانتایل‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد که این موضوع منجر به تغییر تابع توزیع احتمال در سال‌های متفاوت می‌شود. برای استخراج تابع توزیع احتمال تجربی از مشخصه‌های دبی اوج سیلاب شرطی به‌ازای کوانتایل‌های مختلف به‌ازای یک سال مشخص استفاده می‌شود. بنابراین این امکان فراهم می‌شود که به‌ازای سال‌های مختلف بتوان به تابع توزیع احتمال تجربی دست پیدا کرد. برای نیل به این هدف ابتدا باید معادله‌های خط رگرسیون به‌ازای کوانتایل‌های مختلف استخراج شود. در این مطالعه بازه ۰/۰۵ تا ۰/۹۵ با گام‌های ۰/۰۱ در نظر گرفته شده که منجر به استخراج ۹۱ معادله خط می‌گردد و این تراکم موجب می‌شود که بتوان به کیفیت تفکیک مناسبی در استخراج تابع توزیع احتمال تجربی دست یافت. با در نظر داشتن معادله‌های خط برای ۹۱ کوانتایل می‌توان به‌ازای متغیر سال به مقدار کوانتایل شرطی دبی اوج سالانه دست یافت که این مجموعه در واقع یک برآورد از تابع توزیع تجمعی تجربی است. بدیهی است که بر اساس رابطه مفهومی بین تابع توزیع تجمعی تجربی و تابع چگالی احتمال تجربی استخراج تابع توزیع احتمال تجربی به آسانی میسر می‌گردد. برای این‌که بتوان تغییرات تابع توزیع

که در آن، Q_{θ_i} کوانتایل $\theta \in (0,1)$ ام متغیر تصادفی Y در سطح α متغیر مستقل نشان می‌دهد. توجه کنید که این مدل معادل مدل (۱) است هنگامی‌که کوانتایل $\theta \in (0,1)$ ام متغیر تصادفی ε به‌ازای تمام سطوح متغیر مستقل برابر با صفر است. شیوه برآورد پارامترهای مدل رگرسیون معمولی بر حداقل کردن مربع باقی‌مانده‌های مدل مبتنی است که روش حداقل مربعات^۱ نامیده می‌شود. در این روش، منحنی

به این ترتیب، خط برازشی به‌گونه‌ای است که $100 \times \theta$ درصد نقاط تقریباً زیر آن و باقی آن‌ها بالای خط قرار می‌گیرند. بر خلاف روش حداقل مربعات، روش حداقل قدرمطلق باقی‌مانده‌ها نسبت به داده‌های دورافتاده استوار است. این ویژگی ناشی از آن است که بر خلاف اهمیت اندازه باقی‌مانده‌ها در روش حداقل مربعات، در این روش فقط علامت باقی‌مانده‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. بنابراین، تعداد باقی‌مانده‌هایی که بیش‌تر (مثبت) یا کم‌تر (منفی) از کوانتایل مورد نظرند و نه مقدار بزرگی آن‌ها در برآوردها اثرگذار است. پس، داده‌های دورافتاده که تأثیر خود را از طریق بزرگی باقی‌مانده‌ها نشان می‌دهند، به شکل نسبی نمی‌توانند برآوردهای LAD را متأثر سازند. همچنین شکل بسته‌ای برای برآورد پارامترهای این مدل وجود ندارد و از روش‌های عددی برای برآورد آن‌ها استفاده می‌شود. همچنین، جواب‌های نهایی مدل رگرسیون کوانتایل می‌تواند یکتا نباشد. البته یافتن جواب یکتا با انتخاب یک معیار مناسب میسر است (۲۴ و ۲۵).

روش شناسایی تغییرات تابع توزیع احتمال تجربی: مقدار و علامت شیب خط‌های رگرسیون کوانتایل

1- Least Squares

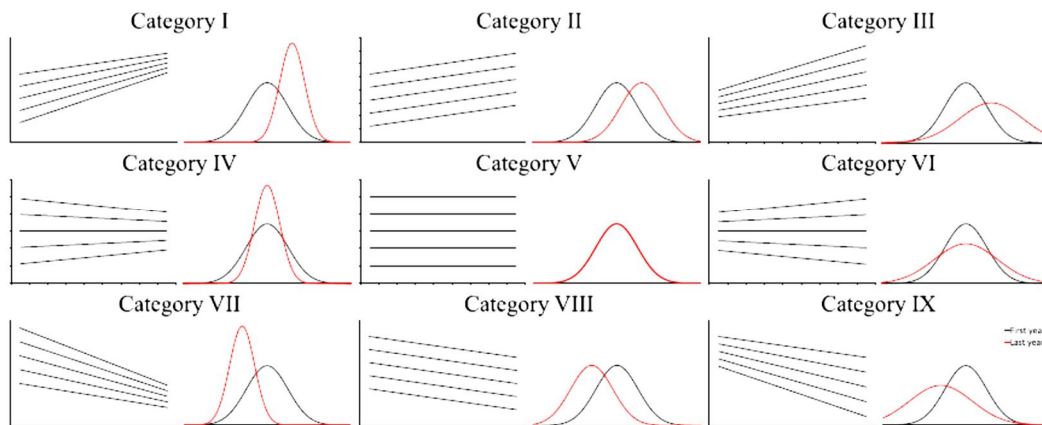
معنی کاهش پراکندگی و یا افزایش مقدار اوج تابع توزیع احتمال تجربی است) در حالی که تغییر در مکان به بررسی انتقال در تابع توزیع احتمال تجربی انتقال می‌پردازد. خطوط رگرسیون همگرا منجر به فرم تیزشدگی و خطوط رگرسیون واگرا منجر به فرم مسطح شدن توابع توزیع احتمال تجربی می‌شود. توابع توزیع احتمال تجربی به سمت چپ ناشی از خطوط رگرسیونی با شیب منفی و توابع توزیع احتمال تجربی به سمت راست حاصل شیب مثبت در خطوط رگرسیونی می‌باشند. با در نظر گرفتن این موارد تغییرات محتمل در مکان و مقیاس منجر به نه حالت تغییر در توزیع داده‌ها می‌شود که این حالت‌ها در جدول ۲ و شکل ۱ نمایش داده شده است.

احتمال تجربی را در طول دوره ثبت شده داده‌ها بررسی کرد کافی است که سال اول و سال آخر داده‌ها در این تحلیل مورد ارزیابی قرار گیرد. طبیعی است که تغییر در توزیع داده‌های دبی اوج سیلاب سالانه با مقایسه توابع توزیع احتمال تجربی در سال‌های اول و آخر دوره امکان‌پذیر خواهد بود. باید توجه داشت که الگوهای متفاوتی برای تابع توزیع احتمال تجربی ممکن است پدیدار شود بنابراین در این مطالعه از یک روش پیشنهادی (شیائو و هوآنگ، ۲۰۱۵) استفاده شده که این روش بر تغییرات مقیاس و مکان تابع توزیع احتمال تجربی استوار است. تغییرات در مقیاس بدین معنی است که آیا شکل یک تابع توزیع احتمال تجربی تیزتر می‌شود یا خیر (بدین صورت که تیز شدن به

جدول ۲- طبقه‌های تغییرات EPDF (۴۵).

Table 2. Categories of changes in EPDF (45).

تغییرات تابع توزیع احتمال تجربی			
Change of EPDF			
طبقه Category	تغییرات خطوط رگرسیون کوانتایل Changes of quantile regression lines	مقیاس Scale	مکان Shape
I	خطوط همگرا به سمت بالا Upward convergent lines	بله (تیزشدگی) Yes (peakness)	بله (به سمت راست) Yes (rightward)
II	خطوط موازی به سمت بالا Upward parallel lines	خیر No	بله (به سمت راست) Yes (rightward)
III	خطوط واگرا به سمت بالا Upward divergent lines	بله (مسطح‌شدگی) Yes (flatness)	بله (به سمت راست) Yes (rightward)
IV	خطوط همگرا افقی Horizontally convergent lines	بله (تیزشدگی) Yes (peakness)	خیر No
V	خطوط موازی افقی Horizontally parallel lines	خیر No	خیر No
VI	خطوط واگرا افقی Horizontally divergent lines	بله (مسطح‌شدگی) Yes (flatness)	خیر No
VII	خطوط همگرا به سمت پایین Downward convergent lines	بله (تیزشدگی) Yes (peakness)	بله (به سمت چپ) Yes (leftward)
VIII	خطوط موازی به سمت پایین Downward parallel lines	خیر No	بله (به سمت چپ) Yes (leftward)
IX	خطوط واگرا به سمت پایین Downward divergent lines	بله (مسطح‌شدگی) Yes (flatness)	بله (به سمت چپ) Yes (leftward)



شکل ۱- دسته‌بندی تغییرات EPDF (۴۵).

Figure 1. Categories of changes in EPDF (45).

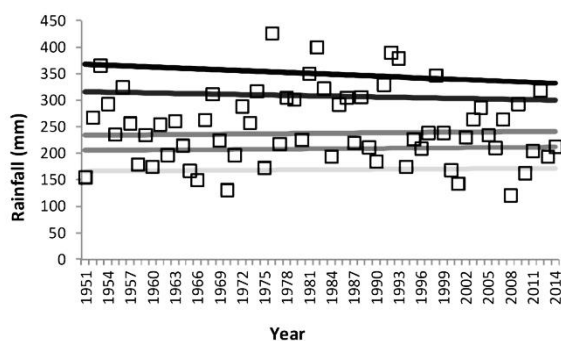
نتایج و بحث

با در نظر گرفتن خطوط رگرسیون کوانتایل برازش داده شده برای سری زمانی هر یک از پنج ایستگاه مورد بررسی مقادیر شیب خطوط رگرسیون کوانتایل تعیین شد و معنی‌داری آماری هر یک در سطح ۰/۰۵ مورد بررسی قرار گرفت. برای هر کدام از سری‌های مورد بررسی در این مطالعه چهار نمودار ارائه شده است. نمودار اول بیانگر تغییرات شیب خطوط رگرسیون کوانتایل به‌ازای کوانتایل‌های مختلف مورد بررسی است. در این نمودار شیب‌های خطوط رگرسیون کوانتایل که در سطح ۰/۰۵ از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند به رنگ سیاه و در بقیه موارد به رنگ خاکستری نشان داده شده است. نمودار دوم خطوط روند (رگرسیون کوانتایل) برآورد شده به‌ازای کوانتایل‌های منتخب یعنی مقادیر ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ می‌باشد. در این نمودارها از پایین به بالا که رنگ خطوط از خاکستری به سیاه متمایل می‌شود مقادیر کوانتایل‌های منتخب افزایش می‌یابد به‌عبارت دیگر پررنگ‌ترین خط به‌ازای کوانتایل ۰/۹ و کم‌رنگ‌ترین خط به‌ازای کوانتایل ۰/۱ می‌باشد. نمودار سوم نشان‌دهنده ECDF در ابتدا و انتهای دوره در مقایسه با یکدیگر و نمودار چهارم ارائه‌دهنده EPDF

ابتدا و انتهای دوره ثبت‌شده داده‌ها در هر سری می‌باشد.

سری داده‌های بارش سالانه مشهد: در شکل‌های ۲ تا ۵ نمودارهای چهارگانه حاصل از تحلیل سری داده‌های بارش سالانه مشهد ارائه شده است. مقادیر نشان داده شده در شکل ۲ در محدوده (۰/۳۲-۰/۵۶) میلی‌متر در سال قرار دارد. برای ۱۰ کوانتایل مقادیر علامت شیب منفی و در دامنه (۰/۰۹-۰/۵۶) میلی‌متر در سال می‌باشد که در ۸ مورد از نظر آماری معنی‌دار هستند و برای سایر کوانتایل‌ها علامت شیب مثبت و در بازه (۰/۳۲-۰/۰۳) میلی‌متر در سال است که در ۷۲ کوانتایل از نظر آماری معنی‌دار شناخته شده‌اند. خطوط رگرسیون کوانتایل با علامت مثبت در سراسر دامنه مورد بررسی وجود دارند در حالی‌که خطوط با شیب منفی در تعداد معدودی از کوانتایل‌های کران بالا و پایین مشاهده شده‌اند. بررسی نمودار خطوط رگرسیون منتخب در شکل ۳ نشان می‌دهد خطوط رگرسیون در کوانتایل‌های بالایی و پایینی میل به همگرایی دارند و در بازه میانی تقریباً روند خاصی مشاهده نمی‌شود که تقریباً بیانگر الگوی چهارم (IV) تغییرات خطوط رگرسیون کوانتایل بر حسب تقسیم‌بندی معرفی شده می‌باشد. مقایسه نمودارهای

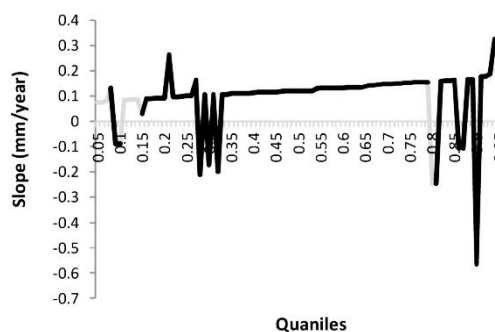
پارامتر مکان تغییری نیافته است اما پارامتر مقیاس کمی تغییرات را نشان می‌دهد به نحوی که نمودار EPDF در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره کمی تیزتر شده است که بیانگر الگوی چهارم (IV) می‌باشد.



شکل ۳- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (مشهد).

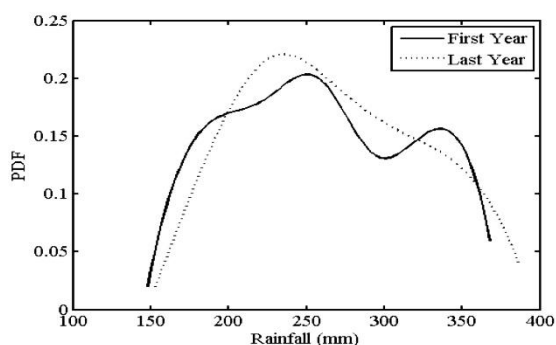
Figure 3. Plot of quantile regression lines (Mashhad).

ECDF ابتدا و انتهای دوره در شکل ۴ بیانگر تفاوت نامحسوس دو نمودار در کران بالا و پایینی سطوح احتمال و نیز تفاوت محسوس در بازه میانی سطوح احتمال می‌باشد. مقایسه نمودارهای EPDF سری زمانی بارش سالانه مشهد در شکل ۵ نشان می‌دهد



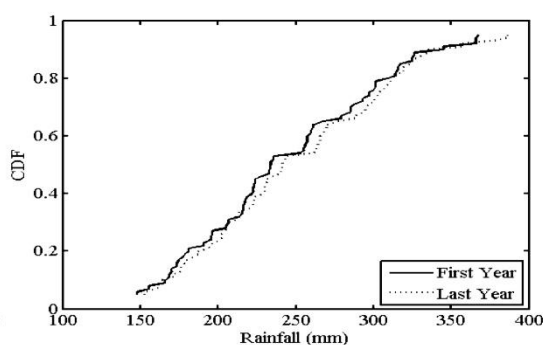
شکل ۲- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (مشهد).

Figure 2. Plot of slope of quantile regression lines (Mashhad).



شکل ۵- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (مشهد).

Figure 5. Plot of EPDF of beginning and end of period (Mashhad).



شکل ۴- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (مشهد).

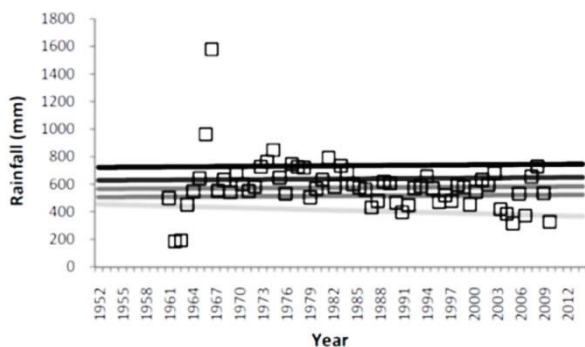
Figure 4. Plot of ECDF of beginning and end of period (Mashhad).

سری داده‌های بارش سالانه گرگان: نمودارهای مستخرج از تحلیل سری داده‌های بارش سالانه گرگان در شکل‌های ۶ تا ۹ به نمایش در آمده است. مقادیر ارایه شده در نمودار ۶ در بازه $(-۴/۱۷) - (۲/۳۰)$ میلی‌متر در سال قرار دارد که نسبت به سری مشهد بازه به مراتب بزرگ‌تری می‌باشد. برای ۲۱ کوانتایل علامت شیب منفی و در بازه $(-۱/۲۲) - (-۴/۱۷)$ و برای ۷۰ کوانتایل دیگر علامت شیب مثبت و در بازه

میلی‌متر در سال قرار دارد که نسبت به سری مشهد بازه به مراتب بزرگ‌تری می‌باشد. برای ۲۱ کوانتایل علامت شیب منفی و در بازه $(-۱/۲۲) - (-۴/۱۷)$ و برای ۷۰ کوانتایل دیگر علامت شیب مثبت و در بازه

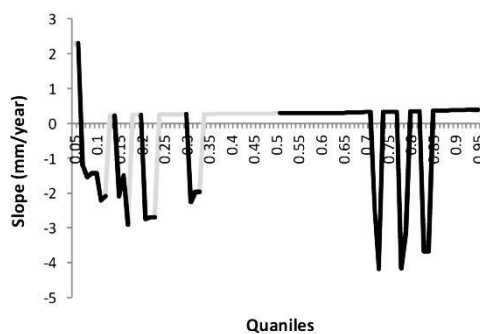
و انتهای دوره در شکل ۸ نشان می‌دهد تفاوت بین این دو نمودار در کران پایینی سطح احتمال مورد بررسی نسبت به سایر بخش‌ها کاملاً مشخص‌تر می‌باشد. بررسی مقایسه‌ای نمودارهای EPDF ابتدا و انتهای دوره در شکل ۹ نشان می‌دهد پارامتر مکان تغییری نکرده است اما پارامتری مقیاس به‌نحوی تغییر کرد است که شکل EPDF انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره حالت مسطح‌تری به خود گرفته است که بیانگر الگوی تغییرات ششم (VI) است.

بالایی، پایینی و بازه میانی کوانتایل‌های مورد بررسی قرار دارند اما خطوط که از نظر آماری معنی‌دار نشده‌اند به‌طور عمومی در کران پایینی و بازه میانی کوانتایل‌ها قرار دارند. بررسی خطوط رگرسیون کوانتایل منتخب رسم شده در شکل ۷ نشان می‌دهد بخش بالایی نشان‌دهنده روند افزایشی با شیب بسیار کم، بخش میانی نسبتاً بدون روند و بخش پایینی نشان دهند روند کاهشی محسوس می‌باشد که مطابق الگوی ششم (VI) می‌باشد. مقایسه نمودارهای ECDF ابتدا



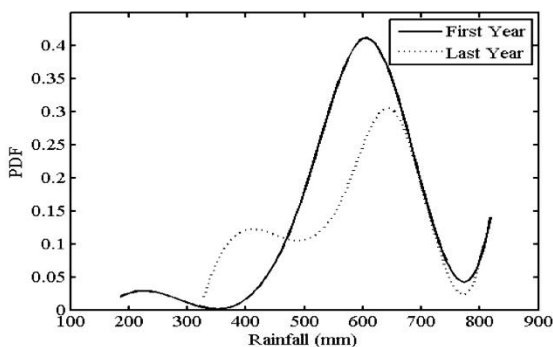
شکل ۷- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (گرگان).

Figure 7. Plot of quantile regression lines (Gorgan).



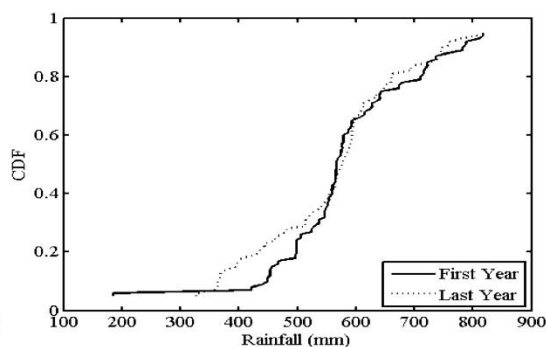
شکل ۶- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (گرگان).

Figure 6. Plot of slope of quantile regression lines (Gorgan).



شکل ۹- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (گرگان).

Figure 9. Plot of EPDF of beginning and end of period (Gorgan).



شکل ۸- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (گرگان).

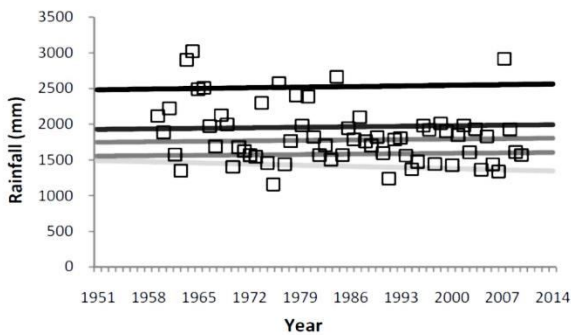
Figure 8. Plot of ECDF of beginning and end of period (Gorgan).

میلی‌متر در سال قرار دارد. برای ۱۳ کوانتایل خطوط رگرسیون دارای علامت منفی با دامنه شیب $(-۰/۲۱) - (-۳/۲۶)$ میلی‌متر در سال است که در ۱۱

سری داده‌های بارش سالانه بندرانزلی: مقادیر شیب خطوط رگرسیون کوانتایل برای سری داده‌های بارش سالانه بندرانزلی در محدوده $(-۱/۳۴) - (-۳/۲۶)$

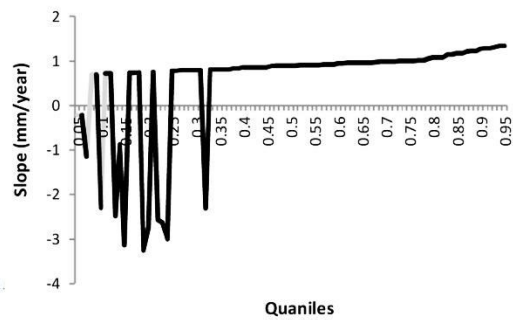
دوره در شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در کران بالایی تفاوت خاصی بین این دو نمودار مشاهده نمی‌شود در حالی که وجود یک تفاوت نسبی در کران پایینی و بازه میانی سطوح احتمال مورد بررسی در شکل مشخص است. همچنین در شکل ۱۳ مقایسه EPDFها نشان می‌دهد که پارامتر مکان تقریباً ثابت مانده در حالی که پارامتر مقیاس تغییر نسبی یافته و یک حالت مسطح‌شدگی نسبی را نشان می‌دهد که الگوی تغییرات ششم (VI) می‌باشد.

مورد از نظر آماری معنی‌دار هستند و برای ۷۸ کوانتایل علامت شیب خطوط رگرسیون مثبت و در بازه (۰/۶۹-۱/۳۴) میلی‌متر در سال است که در ۷۵ مورد از نظر آماری معنی‌دار هستند. نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل منتخب رسم شده در شکل ۱۱ نشان می‌دهد که خطوط بالایی دارای روند مثبت افزایشی و خطوط پایینی دارای روند منفی کاهشی هستند که در مجموع بیانگر الگوی تغییرات ششم (VI) می‌باشد. مقایسه ECDFهای ابتدا و انتهای



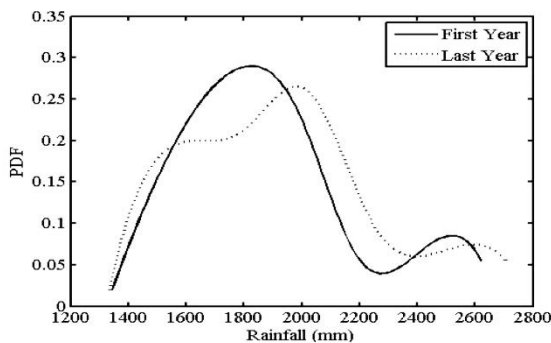
شکل ۱۱- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (بندرانزلی).

Figure 11. Plot of quantile regression lines (Bandar-Anzali).



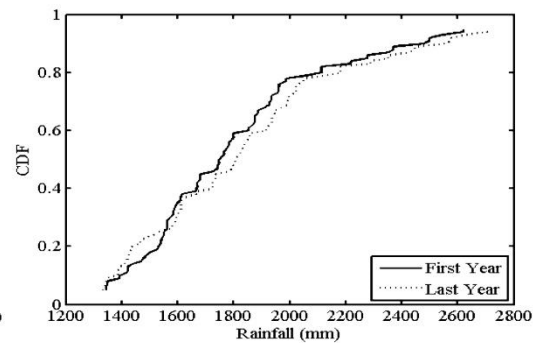
شکل ۱۰- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (بندرانزلی).

Figure 10. Plot of slope of quantile regression lines (Bandar-Anzali).



شکل ۱۳- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (بندرانزلی).

Figure 13. Plot of EPDF of beginning and end of period (Bandar-Anzali).



شکل ۱۲- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (بندرانزلی).

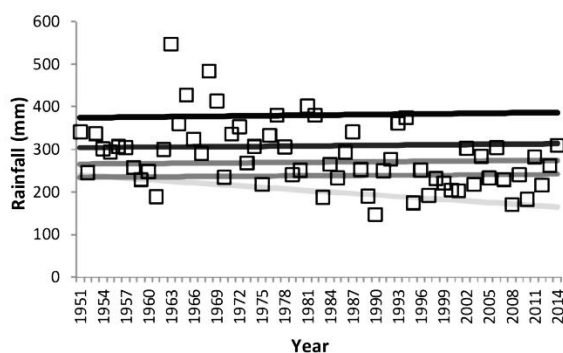
Figure 12. Plot of ECDF of beginning and end of period (Bandar-Anzali).

سری داده‌های بارش سالانه تبریز: مقادیر شیب خطوط رگرسیون کوانتایل (ارایه شده در شکل ۱۴) برای سری داده‌های بارش سالانه تبریز در دامنه ((-۰/۶۸)-(-۲/۹۵)) میلی‌متر در سال است که

علامت شیب برای ۲۳ کوانتایل منفی و بزرگی آن در محدوده

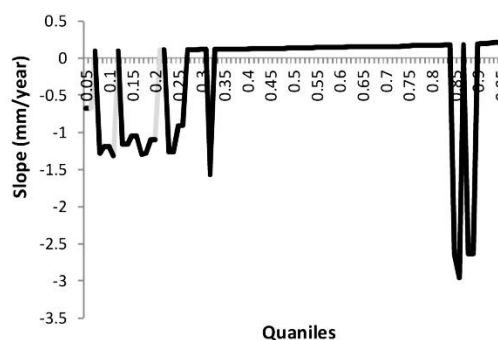
با الگوی ششم (VI) می‌باشد. بررسی تغییرات ECDF ابتدا و انتهای دوره در شکل ۱۶ نشان می‌دهد تفاوت بین این دو نمودار در کران پایینی سطوح احتمال مورد بررسی کاملاً مشهود است که این تفاوت خود را در تفاوت EPDF ها نیز به خوبی نشان می‌دهد. مقایسه EPDF ها در شکل ۱۷ بیانگر تفاوت در بخش ابتدایی این نمودارها است که در واقع نوعی پخش‌شدگی یا مسطح‌شدگی نمودار EPDF انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره است. به‌طور نسبی پارامتر مکان تغییرات مشخصی را در این شکل تجربه نکرده است که در واقع بیانگر الگوی تغییرات ششم (VI) می‌باشد.

همه آن‌ها از نظر آماری معنی‌دار هستند. برای ۶۸ کوانتایل علامت شیب روند مثبت و مقادیر آن در دامنه (۰/۲۱-۰/۰۹) میلی‌متر در سال است که ۶۴ مورد آن از نظر آماری معنی‌دار هستند. اغلب شیب‌های مثبت در بازه میانی قرار گرفته‌اند در حالی‌که شیب‌های منفی در کران بالایی و پایینی کوانتایل‌های مورد بررسی قرار دارند. همچنین شیب‌های خطوط رگرسیون کوانتایل که از نظر آماری معنی‌دار نشده‌اند در کران پایینی کوانتایل‌ها قرار گرفته‌اند. نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل منتخب رسم شده (شکل ۱۵) نشان می‌دهد که خطوط بالایی و میانی دارای روند ملایم افزایشی و خط پایینی دارای روند کاهشی است که الگوی تغییرات آن مشابه



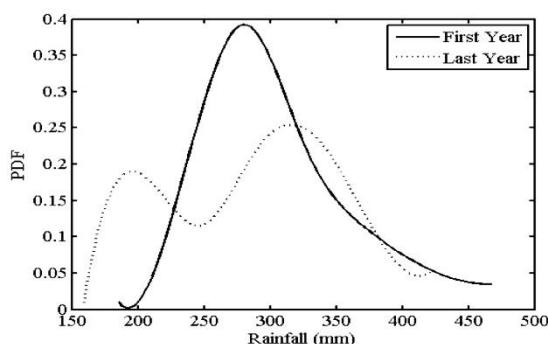
شکل ۱۵- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (تبریز).

Figure 15. Plot of quantile regression lines (Tabriz).



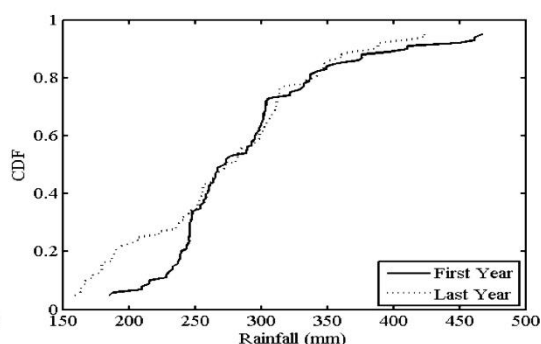
شکل ۱۴- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (تبریز).

Figure 14. Plot of slope of quantile regression lines (Tabriz).



شکل ۱۷- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (تبریز).

Figure 17. Plot of EPDF of beginning and end of period (Tabriz).

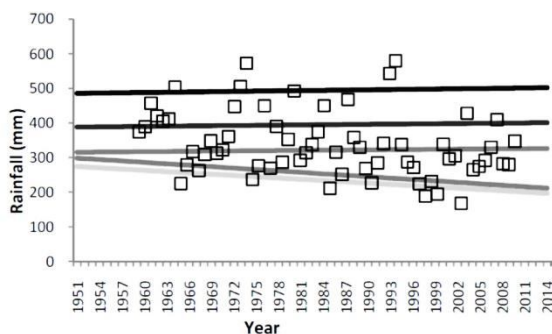


شکل ۱۶- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (تبریز).

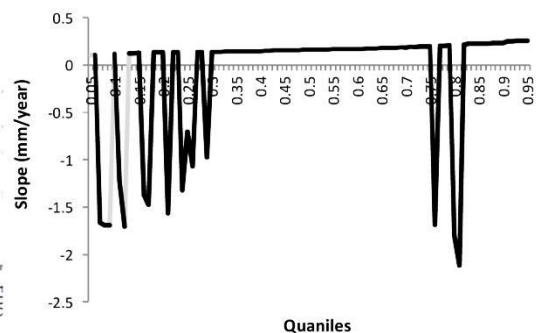
Figure 16. Plot of ECDF of beginning and end of period (Tabriz).

کوانتایل رسم شده برای کوانتایل‌های منتخب در شکل ۱۹ نشان می‌دهد که خطوط بالایی دارای شیب ملایم افزایشی و خطوط پایینی دارای شیب تندتر کاهش‌ی هستند که در واقع در دسته ششم (VI) الگوی تغییرات جای می‌گیرد. مقایسه ECDF های ابتدا و انتهای دوره در شکل ۲۰ نشانگر آنست که بیش‌ترین تغییرات در کران پایینی سطوح احتمال مورد بررسی روی داده که این الگو خود را در تغییرات EPDF ها نیز نمودار می‌سازد. مقایسه EPDF ها در شکل ۲۱ نشان می‌دهد که EPDF در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره کمی پخشیده‌تر و به عبارتی مسطح‌تر شده (تغییرات پارامتر مقیاس) در حالی که پارامتر مکان ان تغییرات خاصی نداشته است که بر اساس تقسیم‌بندی تعریف شده در الگوی ششم تغییرات (VI) جای می‌گیرد.

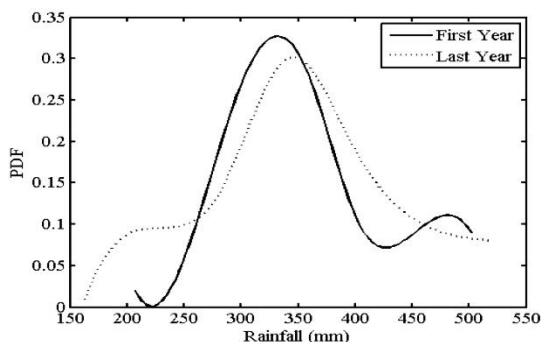
سری داده‌های بارش سالانه ارومیه: مقادیر شیب خطوط رگرسیون کوانتایل برای سری داده‌های بارش سالانه ارومیه (شکل ۱۸) در محدوده $(-۰/۲۶) - (-۲/۱۲)$ میلی‌متر در سال قرار دارند. برای ۱۵ کوانتایل علامت شیب منفی و بزرگی ان در بازه $(-۰/۷۰) - (-۲/۱۲)$ میلی‌متر در سال است که در همه موارد از نظر آماری معنی‌دار بوده است. برای ۷۶ کوانتایل علامت شیب روند مثبت و بزرگی ان در دامنه $(۰/۱۱) - (۰/۲۶)$ میلی‌متر در سال است که فقط ۴ مورد آن از نظر آماری معنی‌دار نیستند. عموماً مقادیر منفی شیب خطوط رگرسیون در کران بالایی و پایینی قرار گرفته‌اند و خطوط رگرسیونی که از نظر آماری معنی‌دار نبوده‌اند صرفاً در کران پایینی کوانتایل‌های مورد بررسی واقع شده‌اند. بررسی خطوط رگرسیون



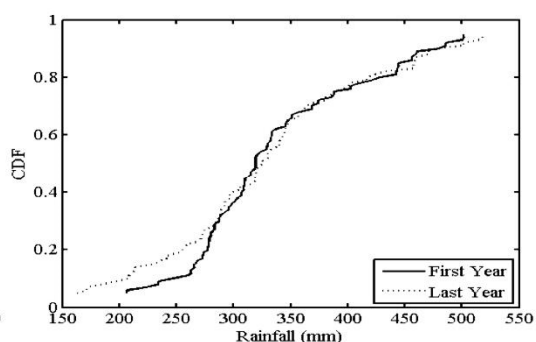
شکل ۱۹- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (ارومیه).
Figure 19. Plot of quantile regression lines (Urmia).



شکل ۱۸- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (ارومیه).
Figure 18. Plot of slope of quantile regression lines (Urmia).



شکل ۲۱- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (ارومیه).
Figure 21. Plot of EPDF of beginning and end of period (Urmia).



شکل ۲۰- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (ارومیه).
Figure 20. Plot of ECDF of beginning and end of period (Urmia).

نتیجه گیری

بسیاری از مطالعات در زمینه هیدرولوژی تغییرات الگوی بارش را مدنظر قرار می‌دهند. این تغییرات می‌تواند در دامنه وسیعی از تعاریف مورد بررسی قرار بگیرد. عمده بررسی‌ها بر اساس بررسی امکان تغییرات روند داده‌ها بوده است که منجر به دسترسی به اطلاعات بسیار محدود می‌شود (۱۶، ۳۳ و ۳۴). در این مطالعه امکان برآورد تغییرات EPDF و ECDF داده‌های بارش سالانه در ایستگاه‌های منتخب شمال کشور با استفاده از مفهوم رگرسیون کوانتایل، که اخیراً در هیدرولوژی مورد توجه قرار گرفته است، مورد بررسی قرار گرفت. کاربرد رگرسیون کوانتایل منجر به استخراج دامنه وسیعی از برآوردهای خطوط روند می‌شود که می‌توان بر آن اساس تغییرات EPDF و ECDF را برآورد نمود. نتایج به دست آمده از این پژوهش را می‌توان به صورت موارد ذیل در نظر گرفت:

- دامنه تغییرات شیب خطوط رگرسیون کوانتایل برای ایستگاه‌های مشهد، گرگان، بندرانزلی، تبریز و ارومیه به ترتیب $(-0/56) - 0/32$ ، $(-2/30) - (-4/17)$ ، $(-3/26) - 1/34$ و $(-2/95) - 0/21$ و $(-2/12) - 0/26$ میلی‌متر در سال می‌باشد. همان‌طور که از مقادیر مشخص است سری داده‌های مشهد دارای کوچک‌تری و سری داده‌های گرگان دارای بیش‌ترین دامنه بزرگی مقادیر شیب در میان ایستگاه‌های مورد بررسی می‌باشد. نسبت خطوط رگرسیون کوانتایل با علامت مثبت که از نظر آماری معنی‌دار بوده‌اند به ترتیب ایستگاه‌های مذکور به صورت $0/79$ ، $0/43$ ، $0/82$ ، $0/70$ و $0/79$ می‌باشد در حالی که خطوط با علامت منفی و از نظر آماری معنی‌دار به ترتیب $0/23$ ، $0/09$ ، $0/12$ ، $0/25$ و $0/16$ بوده است.

- برای سری داده‌های مشهد، گرگان، تبریز و ارومیه به‌طور معمول در کران بالایی و پایینی کوانتایل‌های

مورد بررسی علامت شیب‌ها مثبت و منفی و برای بازه میانی علامت شیب‌ها مثبت بوده است ولی برای سری داده‌های بندرانزلی برای کران پایینی علامت شیب‌ها مثبت و منفی و برای کران بالایی و بازه میانی علامت شیب‌ها مثبت بوده است.

- برای سری داده‌های تبریز، بندرانزلی و ارومیه خطوط رگرسیون کوانتایل که از نظر آماری معنی‌دار نشده‌اند در کران پایینی کوانتایل‌های مورد بررسی‌اند در حالی که برای سری داده‌های گرگان علاوه بر کران پایینی در بازه میانی و در سری داده‌های مشهد در کران بالایی نیز عدم معنی‌داری آماری مشاهده می‌شود.

- بررسی خطوط رگرسیون کوانتایل منتخب ترسیم شده در کنار نمودار شیب- کوانتایل مشخص می‌کند برای سری داده‌های مشهد خطوط روند برای کوانتایل‌های بالایی کاهشی و برای کوانتایل‌های پایینی افزایشی است در حالی که برای سایر سری‌های خطوط بالایی روند افزایشی و خطوط پایینی روند کاهشی را نشان می‌دهند. همچنین مشخص است که به‌طور معمول در سری داده‌های گرگان، بندرانزلی، تبریز و ارومیه که رفتار آن‌ها مشابه است بزرگی شیب خطوط روند در کوانتایل‌های پایینی از بزرگی شیب خطوط روند در کوانتایل‌های بالایی بیش‌تر است در حالی که برای سری داده‌های مشهد بزرگی شیب خطوط بالایی از بزرگی شیب خطوط پایینی بیش‌تر است.

- بررسی مقایسه‌ای نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره نشان می‌دهد برای سری داده‌های تبریز، گرگان و ارومیه ECDF ها دارای تفاوت مشهود در کران پایینی سطوح احتمال مورد بررسی هستند. برای سری داده‌های مشهد تفاوت ECDF پایان دوره و ابتدای دوره به مراتب کم‌تر از سایر سری داده‌ها است و برای سری داده‌های بندرانزلی نیز در حدی بین دو دسته گزارش شده است.

EPDF نسبت به انتهای آن کاملاً مشهودتر بوده است.

- مقایسه EPDF های ابتدا و انتهای دوره نشان می‌دهد در سری داده‌های مشهد EPDF ابتدای دوره دو نمایی است در حالی که در انتهای دوره EPDF به صورت یک نمایی تخمین زده شده است در حالی که برای سری داده‌های گرگان و تبریز EPDF ابتدای دوره یک نمایی است در حالی که EPDF انتهای دوره دو نمایی برآورد شده است.

- بررسی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که رگرسیون کوانتایل یک ابزار کاربردی و مهم برای تحلیل تغییرات EPDF و ECDF داده‌های بارش است و می‌تواند منجر به دست‌یابی به نتایج متنوع‌تری نسبت به روش‌های متداول تحلیل روند شود که با نتایج حاصله از پژوهش‌ها (شیائو و هوانگ، ۲۰۱۵؛ شیائو و لین، ۲۰۱۶) مطابقت دارد (۴۵ و ۴۶).

- بررسی الگوی تغییرات EPDF ها در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره نشان می‌دهد برای سری داده‌های مشهد الگوی تغییرات الگوی چهارم (IV) است که در آن پارامتر مکان نسبتاً ثابت و پارامتر مقیاس به نحوی تغییر می‌کند که EPDF نسبت به حالت اولیه تیزتر شود. برای چهار سری داده دیگر یعنی گرگان، بندرانزلی، تبریز و ارومیه پارامتر مکان نسبتاً ثابت بوده است اما پارامتر مقیاس به گونه‌ای تغییر یافته که EPDF انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره کمی مسطح‌تر شود یا به عبارتی از تیزی آن کاسته گردد.

- بررسی بصری تغییرات EPDF در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره نشان می‌دهد برای سری داده‌های مشهد و بندرانزلی بیش‌ترین تغییرات در انتهای EPDF روی داده است در حالی که برای سری داده‌های گرگان، تبریز و ارومیه تغییرات در ابتدای

منابع

- Adib, A., Ahmadianfar, I., Salarijazi, M., Labibzadeh, M., and Vaghefi, M. 2012. Optimization of Released Water from the Dez Dam for Supply of Water Demands in the Downstream of Dam. In Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications. 147: 187-190.
- Adib, A., Salarijazi, M., and Najafpour, K. 2010. Evaluation of synthetic outlet runoff assessment models. J. Appl. Sci. Environ. Manage. 14: 3.
- Adib, A., Salarijazi, M., Shooshtari, M.M., and Akhondali, A.M. 2011. Comparison between characteristics of geomorphoclimatic instantaneous unit hydrograph be produced by GcIUH based Clark Model and Clark IUH model. J. Mar. Sci. Technol. 19: 2. 201-209.
- Adib, A., Salarijazi, M., Vaghefi, M., Shoshtari, M.M., and AkhondAli, A.M. 2010. Comparison between GcIUH-Clark, GIUH-Nash, Clark-IUH and Nash-IUH models. Turk. J. Engin. Environ. Sci. 34: 2. 91-104.
- Ahmadianfar, I., Adib, A., and Salarijazi, M. 2015. Optimizing multireservoir operation: Hybrid of bat algorithm and differential evolution. J. Water Resour. Plan. Manage. 142: 2. 05015010.
- Barbosa, S.M. 2008. Quantile trends in Baltic sea level. Geophysical Research Letters, 35: 22.
- Barbosa, S.M., Scotto, M.G., and Alonso, A.M. 2011. Summarising changes in air temperature over Central Europe by quantile regression and clustering. Natural Hazards and Earth System Sciences, 11: 12. 3227-3233.
- Bookhagen, B., and Burbank, D.W. 2010. Toward a complete Himalayan hydrological budget: Spatiotemporal distribution of snowmelt and rainfall and their impact on river discharge. J. Geophysic. Res. Earth Surface. 115: F3.
- Cade, B.S., and Noon, B.R. 2003. A gentle introduction to quantile regression for ecologists. Frontiers in Ecology and the Environment, 1: 8. 412-420.

10. Caloiero, T., Coscarelli, R., Ferrari, E., and Mancini, M. 2011. Trend detection of annual and seasonal rainfall in Calabria (Southern Italy). *Inter. J. Climatol.* 31: 1. 44-56.
11. Dai, A. 2011. Drought under global warming: a review. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2: 1. 45-65.
12. Eidipour, A., Akhondali, A.M., Zarei, H., and Salarijazi, M. 2016. Flood Hydrograph Estimation Using GIUH Model in Ungauged Karst Basins (Case study: Abolabbas basin). *TUEXENIA*, 36: 36. 26-33.
13. Gao, P., Mu, X.M., Wang, F., and Li, R. 2011. Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 1. 1-10.
14. Ghorbani, Kh., Sohrabian, E., and Salarijazi, M. 2016. Evaluation of hydrological and data mining models in monthly river discharge simulation and prediction (Case study: Araz-Kouseh watershed). *J. Water Soil Cons.* 23: 1. 203-217.
15. Ghorbani, Kh., Sohrabian, E., Salarijazi, M., and Abdolhoseini, M. 2016. Prediction of climate change impact on monthly river discharge trend using IHACRES hydrological model (Case study: Galikesh watershed). *J. Water Soil Resour. Cons.* 5: 4. 18-34.
16. Gocic, M., and Trajkovic, S. 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, 100: 172-182.
17. Helsel, D.R., and Hirsch, R.M. 1992. *Statistical methods in water resources* (Vol. 49). Elsevier.
18. Hooshmand, A., Salarijazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J., and Soleimani, S. 2013. Assessment of pan evaporation changes in South Western Iran. *Afric. J. Agric. Res.* 8: 16. 1449-1456.
19. Jagger, T.H., and Elsner, J.B. 2009. Modeling tropical cyclone intensity with quantile regression. *Inter. J. Climatol.* 29: 10. 1351-1361.
20. Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V.P., and Fakheri-Fard, A. 2012. Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrological Processes*, 26: 3. 421-435.
21. Kisi, O., and Ay, M. 2014. Comparison of Mann-Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *J. Hydrol.* 513: 362-375.
22. Koenker, R. 2005. *Quantile regression* (No. 38). Cambridge university press.
23. Koenker, R., and Bassett Jr, G. 1978. Regression quantiles. *Econometrica: J. Econ. Soc.* Pp: 33-50.
24. Liu, X., Zheng, H., Zhang, M., and Liu, C. 2011. Identification of dominant climate factor for pan evaporation trend in the Tibetan Plateau. *J. Geograph. Sci.* 21: 4. 594-608.
25. Marofi, S., Soleymani, S., Salarijazi, M., and Marofi, H. 2012. Watershed-wide trend analysis of temperature characteristics in Karun-Dez watershed, southwestern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 110: 1-2. 311-320.
26. Mazvimavi, D. 2010. Investigating changes over time of annual rainfall in Zimbabwe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 12. 2671-2679.
27. McCuen, R.H. 2016. *Modeling hydrologic change: statistical methods*. CRC press.
28. Miao, C., Ni, J., and Borthwick, A.G. 2010. Recent changes of water discharge and sediment load in the Yellow River basin, China. *Progress in Physical Geography*, 34: 4. 541-561.
29. Mileham, L., Taylor, R.G., Todd, M., Tindimugaya, C., and Thompson, J. 2009. The impact of climate change on groundwater recharge and runoff in a humid, equatorial catchment: sensitivity of projections to rainfall intensity. *Hydrol. Sci. J.* 54: 4. 727-738.
30. Mileham, L., Taylor, R., Thompson, J., Todd, M., and Tindimugaya, C. 2008. Impact of rainfall distribution on the parameterisation of a soil-moisture balance model of groundwater recharge in equatorial Africa. *J. Hydrol.* 359: 1. 46-58.
31. Moazed, H., Moradzadeh, M., Veysi, S., Kaboli, H.S., and Salarijazi, M. 2012. Analysis of drought return periods in Khuzestan province, southwest of Iran. *J. Food Agric. Environ.* 10: 1. 642-645.

32. Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M., and Soleymani, S. 2012. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *Afric. J. Agric. Res.* 7: 18. 2835-2843.
33. Mondal, A., Kundu, S., and Mukhopadhyay, A. 2012. Rainfall trend analysis by Mann-Kendall test: A case study of north-eastern part of Cuttack district, Orissa. *Int. J. Geol. Earth Environ. Sci.* 2: 1. 70-78.
34. Moslemzadeh, M., Salarizazi, M., and Soleymani, S. 2011. Application and assessment of kriging and cokriging methods on groundwater level estimation. *J. Am. Sci.* 7: 7. 34-39.
35. Naddeo, V., Scannapieco, D., Zarra, T., and Belgiorno, V. 2013. River water quality assessment: Implementation of non-parametric tests for sampling frequency optimization. *Land Use Policy*, 30: 1. 197-205.
36. Nakayama, T., and Fujita, T. 2010. Cooling effect of water-holding pavements made of new materials on water and heat budgets in urban areas. *Landscape and urban planning*, 96: 2. 57-67.
37. Rehman, S. 2013. Long-Term Wind Speed Analysis and Detection of its Trends Using Mann-Kendall Test and Linear Regression Method. *Arabi. J. Sci. Engin.* 38: 2. 421-437.
38. Salarijazi, M. 2013. Assessment of the Flooding Risk for River with Tidal Interaction Zones. PhD Dissertation, Shahid Chamran University of Ahvaz.
39. Salarijazi, M., Akhond-Ali, A.M., Adib, A., and Daneshkhah, A. 2012. Trend and change-point detection for the annual stream-flow series of the Karun River at the Ahvaz hydrometric station. *Afric. J. Agric. Res.* 7: 32. 4540-4552.
40. Salarijazi, M., Akhond-Ali, A.M., Adib, A., and Dneshkhah, A.R. 2013. Flood Variables Frequency Analysis Using Parametric and Non-Parametric Methods. *J. Water Soil Cons.* 20: 6. 25-46.
41. Salarijazi, M., Akhond-Ali, A-M., Adib, A., and Dneshkhah, A.R. 2015. Bivariate Flood Frequency Analysis Using the Copula Functions. *J. Irrig. Sci. Engin.* 37: 4. 29-38.
42. Shiau, J.T., and Huang, W.H. 2015. Detecting distributional changes of annual rainfall indices in Taiwan using quantile regression. *J. Hydro-Environ. Res.* 9: 3. 368-380.
43. Shiau, J.T., and Huang, W.H. 2015. Detecting distributional changes of annual rainfall indices in Taiwan using quantile regression. *J. Hydro-Environ. Res.* 9: 3. 368-380.
44. Shiau, J.T., and Lin, J.W. 2016. Clustering quantile regression-based drought trends in Taiwan. *Water Resources Management*, 30: 3. 1053-1069.
45. Toreti, A., and Desiato, F. 2008. Temperature trend over Italy from 1961 to 2004. *Theoretical and Applied Climatology*, 91: 1-4. 51-58.
46. Villarini, G., Smith, J.A., Baeck, M.L., Vitolo, R., Stephenson, D.B., and Krajewski, W.F. 2011. On the frequency of heavy rainfall for the Midwest of the United States. *J. Hydrol.* 400: 1. 103-120.
47. Wang, H., Killick, R., and Fu, X. 2014. Distributional change of monthly precipitation due to climate change: comprehensive examination of dataset in southeastern United States. *Hydrological Processes*, 28: 20. 5212-5219.
48. Wang, L., Wei, S., Horton, R., and Shao, M.A. 2011. Effects of vegetation and slope aspect on water budget in the hill and gully region of the Loess Plateau of China. *Catena*, 87: 1. 90-100.
49. Xu, Z.X., Gong, T.L., and Li, J.Y. 2008. Decadal trend of climate in the Tibetan Plateau-regional temperature and precipitation. *Hydrological Processes*, 22: 16. 3056-3065.
50. Yenilmez, F., Keskin, F., and Aksoy, A. 2011. Water quality trend analysis in Eymir Lake, Ankara. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 36: 5. 135-140.



Determination of distributional changes of annual rainfall in some semi-northern stations in Iran

***M. Salarijazi**

Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering,
Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 09/10/2016; Accepted: 11/11/2017

Abstract

Background and Objectives: In addition to the limitations of conventional for investigation of rainfall trend tests (OLR, Mann-Kendall, Sen), these are only provided to estimate the conditional mean or median and do not consider different quantiles. Investigation of trend of changes of empirical probability distribution function (EPDF) and empirical cumulative distribution function (ECDF) can lead to more detailed information in comparison with conventional methods. The objectives of this study are application of quantile regression for estimation of changes in EPDF and ECDF of five annual rainfall series in northern Iran and interpreting their results.

Materials and Methods: The linear regression lines were estimated using quantile regression considering quantiles (0.05-0.95 with 0.01 steps). Then slope-quantiles curve were extracted based on slopes of quantile regression lines and considering 0.05 statistical significance level. The graphs of trends of different annual rainfall series were presented considering selected quantiles 0.9, 0.7, 0.5, 0.3 and 0.1 and the results were analyzed. The curves of EPDF and ECDF belonging to first and last years of data recorded periods estimated with concept of quantile regression and their curves were plotted and comparison between first and last year curves were done.

Results: The numbers of lines with positive slopes were considerably more than negative slopes considering 0.05 statistical significance level. Investigation of quantile regression lines showed decreasing and increasing trend lines for upper and lower quantiles respectively for Mashhad series but increasing and decreasing trend lines for upper and lower quantiles of other series. In addition, the magnitude of slope lines for lower quantiles were more than those belonging to upper quantiles for Gorgan, Bandar-Anzali, Tabriz and Urmia series but there were inverse pattern for Mashhad series. Comparative assessment of ECDF curves belonging to first and last recorded years revealed apparent difference in lower level of probability for Tabriz, Gorgan, Urmia and (to some extent) Bandar-Anzali but a limited difference for Mashhad series. Assessment of changes pattern of EPDF showed relatively constant location parameters but changes in scale parameters that resulted in peakness for last year EPDF of Mashhad but flatness for Gorgan, Bandar-Anzali, Tabriz and Urmia series. In addition, most of the changes related to end part of EPDF for Mashhad and Bandar-Anzali series while related to beginning for Gorgan, Tabriz and Urmia series.

Conclusion: The quantile regression can be used without affecting the limitations of conventional methods for trend analysis to access a wider range of applied analysis. There were apparent differences between signs of quantile regression lines belonging to upper and lower levels in all of five investigated series that showed conventional methods could not be a useful tool for trend assessment of extreme events. The results of this study showed quantile regression is a suitable method to analyses changes in EPDF and ECDF of time series and this type of analysis present more useful results with comparison to conventional trend analysis methods.

Keywords: Quantile regression, Changes, Annual rainfall, Empirical probability distribution function, Empirical cumulative distribution function

* Corresponding Author; Email: meysam.salarijazi@gmail.com

Ar