

## برآورد تغییرات در تابع توزیع احتمال و تجمعی تجربی دبی اوج لحظه‌ای سالانه سیلاب

میثم سالاری جزی<sup>1</sup>

تاریخ دریافت: 1395/5/31 تاریخ پذیرش: 1395/10/15

### چکیده

سری زمانی دبی اوج سالانه یک سری بسیار مهم در برنامه‌ریزی‌ها و طراحی‌های هیدرولوژیکی است. عوامل مختلفی مانند تغییرات آب و هوایی، کاربری زمین و پوشش گیاهی و نیز سایر فعالیت‌های تحت تأثیر انسان می‌تواند بر ویژگی‌های این سری تأثیرگذار باشد، بنابراین برآورد تغییرات در ویژگی‌های آن یک تحقیق کاربردی است. هدف این مطالعه بررسی تغییرات در تابع توزیع احتمال تجربی ( $EPDF^2$ ) و تابع توزیع تجمعی تجربی ( $ECDF^3$ ) سری زمانی دبی اوج سالانه بر اساس یک رویکرد نوین است. برای این هدف از سه سری زمانی دبی اوج لحظه‌ای سیلاب سالانه در ایستگاه‌های هیدرومتری آرازکوسه، لژوره و تمر با طول دوره آماری 43 سال در استان گلستان استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات برآورد شده در سری‌های مورد بررسی در کوانتایل‌های بالایی روی داده است. همچنین مشخص است الگوی تغییرات نمودارهای  $EPDF$  و  $ECDF$  در طول دوره در سری‌های مورد بررسی متفاوت می‌باشد. نمودار  $ECDF$  انتهای دوره در آرازکوسه نسبت به ابتدای دوره تغییرات خاصی را نشان نمی‌دهد در حالی که به ترتیب سری‌های تمر و لژوره تغییرات زیادی را در  $ECDF$  در سطوح بالای مقادیر دبی اوج سیلاب نشان می‌دهند. مقایسه  $EPDF$  های ابتدا و انتهای دوره نیز نشان می‌دهد دامنه این متحنی در سری آرازکوسه نسبتاً ثابت اما در سری لژوره و تمر به طور محسوس افزایش یافته است. همچنین مقدار مد  $EPDF$  در هر سه سری در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره افزایش نشان می‌دهد. مقدار احتمال متناظر با دبی مد در سری آرازکوسه تغییرات محدود داشته در حالی که در دو سری دیگر شاهد افزایش قابل توجه بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** تابع توزیع احتمال تجربی ( $EPDF$ )، تابع توزیع تجمعی تجربی ( $ECDF$ )، تغییرات توزیعی، دبی اوج سیلاب

### مقدمه

کاربرد رگرسیون معمولی بخش بزرگی از تحقیقات اخیر در زمینه تحلیل روند متغیرهای هیدرولوژیکی معطوف به کاربرد آزمون‌های ناپارامتری بوده است که در تحلیل تغییرات دما (Tabari and Talaee., 2011; Marofi et al., 2012.; Sansigolo and Moazed et al., 2012; Mondal et al.)، بارش (Kayano., 2010) دبی رودخانه (Salarijazi et al., 2012; Westra et al., 2013 al., 2012; Gao et al., 2011; Villarini et al., 2011; Miao et Hooshmand et al., 2013; Liu et al., 2010) تبخیر (Lopes et al., 2009) خشک‌سالی (Jhajharia et al., 2010)، کیفیت آب (Capra et al., 2013; Das et al., 2016) کیفیت آب (Kisi et al., 2014; Mikkelsen et al., 2013; Naddeo et al., 2013) و ... بوده است. روش‌های رگرسیون معمولی و روش‌های ناپارامتری تحلیل تغییرات در سری‌های زمانی دارای محدودیت‌های خاص خود هستند. به طور کلی روش رگرسیون معمولی دارای فرض‌های محدود کننده است و نسبت به داده‌های پرت حساس است (Helsel and Hirsch., 1992) و روش‌های ناپارامتری مانند روش شناخته شده آزمون من-کنندال بر برآورد میانگین شرطی استوار هستند (Muhlbauer et al., 2009; Timofeev and Sterin., 2009)

تغییرات آب و هوایی، پوشش خاک، کاربری اراضی و نیز برخی تغییرات اعمال شده توسط انسان در سطح حوضه یک عامل موثر در فرایند سیلاب می‌باشد و می‌تواند به شکل موثری به مولفه‌های کمی سیلاب موثر باشد (Muzik., 2002; Reynard et al., 2001; Prudhomme et al., 2003; Crooks and Davies., 2001). دبی اوج سیلاب یک کمیت بسیار مهم در برنامه‌ریزی‌های هیدرولوژیکی است و تغییرات بلند مدت در این کمیت می‌تواند بر معیارهای برنامه‌ریزی سیستم‌های هیدرولوژیکی بسیار موثر باشد (Louks et al., 2005). در زمینه بررسی تغییرات در سری زمانی متغیرهای هیدرولوژیکی کاربرد رگرسیون معمولی بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Rheuban et al., 2016). با توجه به فرض‌های مورد نیاز در

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
( Email: meysam.salarijazi@gau.ac.ir )

2-Empirical Probability Distribution Function  
3-Empirical Cumulative Distribution Function

زمانی داده‌های دبی اوج لحظه‌ای سیلاب تهیه شد. بنابراین داده‌های مورد تحلیل در این تحقیق از دقت کاملاً بیش‌تری نسبت به تحلیل‌های رایج که بر مبنای کاربرد داده‌های روزانه است، برخوردار می‌باشد. سری‌های زمانی مورد اشاره در بازه زمانی بین سال‌های آبی 1348-1349 تا 1390-1391 به طول دوره 43 سال می‌باشد که در شکل 1 به نمایش درآمده است. همان طوری که در شکل مشخص است سه سری مورد بررسی دارای دامنه‌های متفاوتی از مقادیر ثبت شده برای دبی اوج سیلاب می‌باشد.

**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 رابطه 1 می‌باشد.

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

که در آن  $\varepsilon_i$  متغیر تصادفی و  $\alpha, \beta$  پارامترهای نامعلوم مدل که باید برآورد شوند و  $x_i$  مقادیر معلوم از متغیر مستقل هستند. در صورتی که  $E(\varepsilon_i) = 0$  باشد آن گاه مدل 1 به فرم رابطه 2 بازنویسی می‌شود:

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

که  $E(Y_i)$  میانگین شرطی (Conditional Mean) متغیر تصادفی  $Y$  است با  $E(Y | X)$  نیز نمایش داده می‌شود. مدل 2 برای میانگین شرطی برازش داده می‌شود. مدل رگرسیون کوانتایل با ایده‌های مشابه برای کوانتایل‌های شرطی (Conditional Quantiles) به کار می‌رود، مانند رگرسیون معمولی (میانگین)، کاربردهایی نظیر 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 چندین مدل رگرسیونی بر یک مجموعه داده به ازای کوانتایل‌های مختلف صورت می‌گیرد. برای ارایه تعریف دقیقی از مدل رگرسیون کوانتایل  $\theta \in (0,1)$  ام ابتدا مدل 1 به صورت  $Y_i = \alpha_\theta + \beta_\theta X_i + \varepsilon_{\theta i}$  بازنویسی می‌شود. مدل رگرسیون ساده خطی کوانتایل  $\theta \in (0,1)$  ام (کونکر و باست، 1978) عبارتست از (رابطه 3):

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

که در آن  $Q_{\theta i}$  کوانتایل  $\theta \in (0,1)$  ام متغیر تصادفی  $Y$  در سطح  $i$ ام متغیر مستقل نشان می‌دهد. توجه کنید که این مدل معادل مدل 1 است هنگامی که کوانتایل  $\theta \in (0,1)$  ام متغیر تصادفی  $\varepsilon$  به ازای تمام سطوح متغیر مستقل برابر با صفر است. شیوه برآورد پارامترهای مدل رگرسیون معمولی بر حداقل کردن مربع باقیمانده-

(2010) و بنابراین تغییرات در کران‌های بالایی و پایینی قابل برآورد نمی‌باشند (Shiau and Huang., 2015). رگرسیون کوانتایل یک روش آماری است که توسط کونکر و باست ارایه شده است و قادر به تعیین تغییرات در زمان یک متغیر خاص برای هر کوانتایل مورد نظر است (Koenker and Bassett., 1978). کاربرد رگرسیون کوانتایل در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی مورد توجه بوده است (Yu et al., 2003) اما کاربرد این روش در زمینه مهندسی آب و محیط زیست دارای پیشینه محدودی می‌باشد. تحقیقات در این زمینه نیز در واقع یک نوع روش تحلیل روند بر اساس در نظر گرفتن کوانتایل‌های مورد نظر بوده است. در این مورد می‌توان به کاربرد رگرسیون کوانتایل در تحلیل تغییرات بارش (Mazvimavi., 2010; Villarini et al., 2014; Wang et al., 2011; Barbosa., 2008)، تراز سطح آب (Jagger and Elsner., 2009) و دما (Barbosa et al., 2011) اشاره کرد. همان‌طور که اشاره شد اکثر تحقیقات در زمینه کاربرد رگرسیون کوانتایل در بخش مهندسی آب و محیط زیست معطوف به بررسی تغییرات یک متغیر مشخص هیدرولوژیکی بوده است. با توجه به ویژگی‌های روش رگرسیون کوانتایل، شیائو و هوانگ یک الگو برای استخراج تابع توزیع تجربی داده‌ها ارایه نموده و از این روش برای بررسی تغییرات در EPDF داده‌های بارش در تایوان بهره برده و کارایی مناسب این روش را نتیجه‌گیری کرده‌اند (Shiau and Huang., 2015). متغیر دبی اوج سیلاب یکی از موثرترین متغیرهای هیدرولوژیکی در برنامه‌ریزی‌های مرتبط با منابع آب می‌باشد و تخمین روند بلند مدت این متغیر و همچنین تغییرات در EPDF آن یک راهنمای ارزشمند در مطالعات اولیه هیدرولوژیکی برای بسیاری از پروژه‌های مهندسی منابع آب و رودخانه است. با توجه به اهمیت تحلیل تغییرات EPDF در مطالعاتی مانند بررسی مانایی سری زمانی و یا نیز مطالعات مرتبط با ریسک و عدم قطعیت در این مطالعه از کاربرد رگرسیون کوانتایل برای تحلیل تغییرات EPDF سه سری زمانی دبی اوج سیلاب سالانه در استان گلستان استفاده شد تا کارایی این روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گیرد و از طرف دیگر مشخص شود که این تحلیل می‌تواند چه جزییاتی را در مورد تغییرات EPDF دبی اوج سیلاب مشخص نماید.

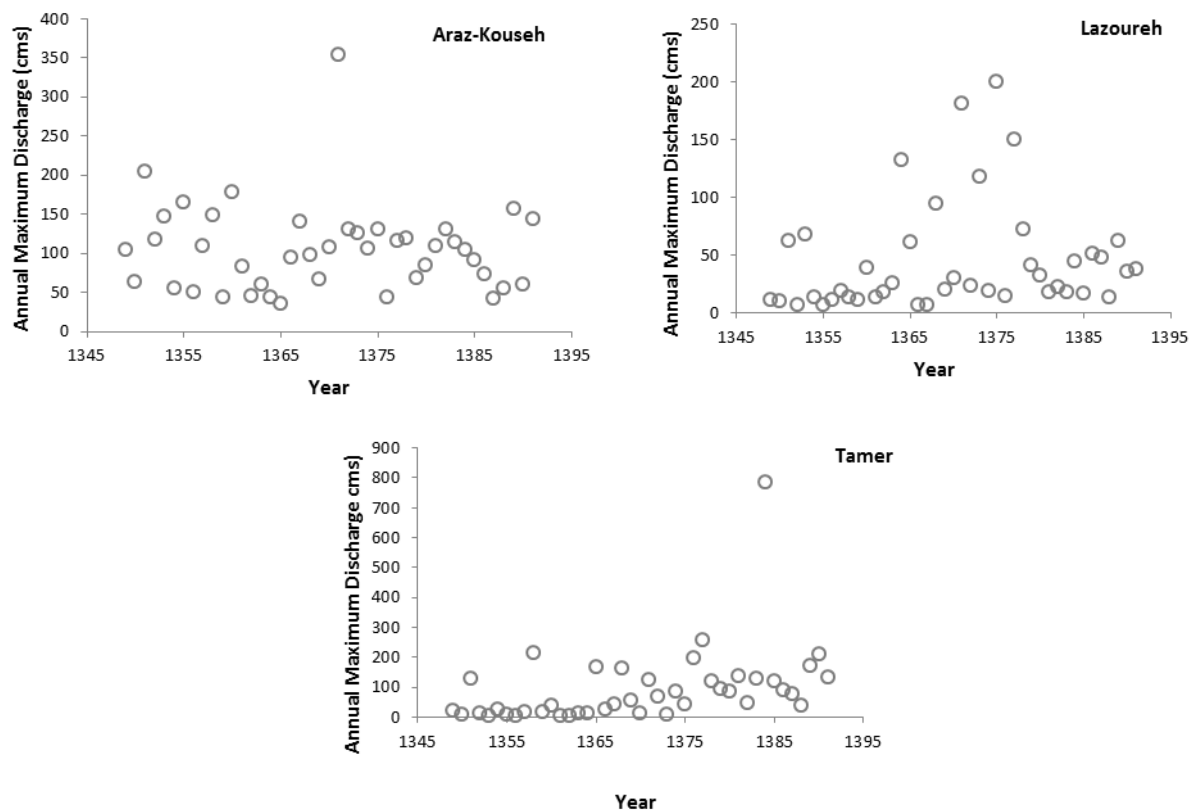
## مواد و روش‌ها

**سری‌های زمانی مورد استفاده:** برای بررسی تغییرات EPDF دبی اوج سالانه سیلاب در این مطالعه از داده‌های ثبت شده سه ایستگاه هیدرومتری در استان گلستان استفاده شد. اطلاعات و داده‌های ایستگاه‌های آرازکوسه، لژروه و تمر از سازمان آب منطقه‌ای گلستان تهیه شد و با در نظر گرفتن داده‌های ثبت شده در زمان سیلاب و با همکاری کارشناسان محترم آب منطقه‌ای سری‌های

استفاده می‌شود که به آن روش حداقل قدرمطلق باقیمانده‌ها یا LAD گفته می‌شود. این معیار برای مدل 3 به قرار رابطه 4 است:

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

های مدل مبتنی است که روش حداقل مربعات (Least Squares) نامیده می‌شود. در این روش، منحنی رگرسیونی به گونه‌ای برازش داده می‌شود که در مجموع فاصله نقاط از آن به حداقل برسد. در رگرسیون کوانتایل برخلاف رگرسیون معمولی از حداقل نمودن مجموع قدرمطلق باقیمانده‌های موزون برای برآورد پارامترهای مدل



شکل 1- سری‌های زمانی دبی اوج لحظه‌ای سالانه سیلاب مورد استفاده در مطالعه

انتخاب یک معیار مناسب میسر است (انصاری و همکاران، 1385؛ Koenker., 2005).

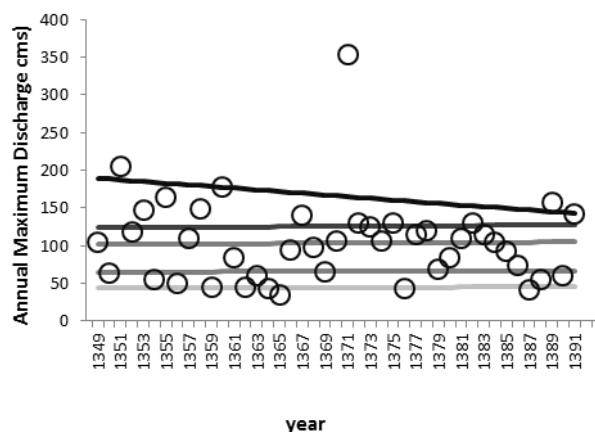
**روشن شناسایی تغییرات EPDF.** مقدار و علامت شیب خط‌های رگرسیون کوانتایل به ازای کوانتایل‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد که این موضوع منجر به تغییرات EPDF در سال‌های متفاوت می‌شود. برای استخراج EPDF از مشخصه‌های دبی اوج سیلاب شرطی به ازای کوانتایل‌های مختلف به ازای یک سال مشخص استفاده می‌شود. بنابراین این امکان فراهم می‌شود که به ازای سال‌های مختلف به‌توان به EPDF دست پیدا کرد. برای نیل به این هدف ابتدا باید معادله‌های خط رگرسیون به ازای کوانتایل‌های مختلف استخراج شود. در این مطالعه بازه 0/05 تا 0/95 با گام‌های 0/01 در نظر گرفته شده که منجر به استخراج 91 معادله خط می‌گردد و این تراکم موجب می‌شود که به‌توان به کیفیت تفکیک

به این ترتیب، خط برازشی به گونه‌ای است که  $100 \times \theta$  درصد نقاط تقریباً زیر آن و باقی آن‌ها بالای خط قرار می‌گیرند. برخلاف روش حداقل مربعات، روش حداقل قدرمطلق باقیمانده‌ها نسبت به داده‌های دورافتاده استوار است. این ویژگی ناشی از آن است که برخلاف 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 تاثیر خود را از طریق بزرگی باقیمانده‌ها نشان می‌دهند، نمی‌توانند برآوردهای LAD را متاثر 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

حاصل شیب مثبت در خطوط رگرسیون می‌باشند.

## نتایج و بحث

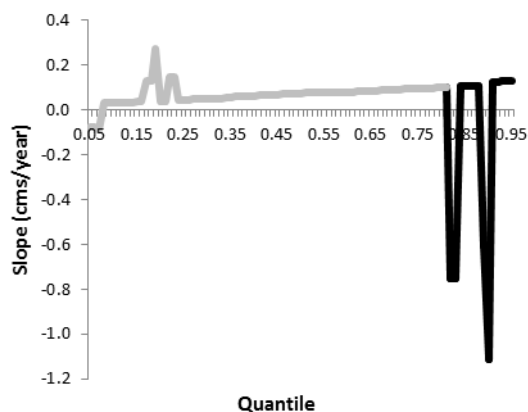
**ارازکوسه:** نمودار تغییرات شیب خطوط رگرسیون در کوانتایل‌های مختلف برای سری حداکثر دبی اوج سالانه در ایستگاه ارازکوسه در شکل 2 نشان داده شده است که در این شکل قسمت سیاه رنگ نشان دهنده معنی‌داری در سطح 0/05 می‌باشد. دامنه تغییرات شیب خط در کوانتایل‌های مختلف در بازه (0/27-1/11) مترمکعب بر ثانیه در سال قرار دارد. در بین کوانتایل‌های مورد بررسی 7 کوانتایل دارای شیب منفی هستند که این شیب در دامنه (0/08-1/11) مترمکعب بر ثانیه در سال می‌باشد. کوانتایل‌هایی که دارای شیب خط رگرسیون منفی هستند در نواحی ابتدایی و انتهایی قرار دارند و بخش بسیار کوچکی از محدوده مورد بررسی هستند. اما شیب خط رگرسیون برای دامنه بسیار بزرگی از کوانتایل‌ها یعنی در 84 کوانتایل مثبت است و در بازه (0/03-0/27) مترمکعب بر ثانیه در سال می‌باشد. بررسی معنی‌داری شیب خط رگرسیون در کوانتایل‌های مختلف نشان می‌دهد که برای کوانتایل‌های انتهایی یعنی از کوانتایل 0/85 تا 0/95 شیب از نظر آماری معنی‌دار بوده است. در بین 11 کوانتایل که شیب خط رگرسیون آن‌ها معنی‌دار بوده است 2 کوانتایل 0/89 و 0/90 دارای شیب منفی و سایر کوانتایل‌ها دارای شیب مثبت بوده‌اند.



کل 3- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (ارازکوسه)

شکل شده و تفسیر آن را با مشکل اساسی روبرو می‌کند به همین دلیل صرفاً کوانتایل‌ها 0/1، 0/3، 0/5، 0/7، و 0/9 در نظر گرفته شده که شرایط حد‌های پایینی و بالایی و نیز بازه‌های میانی را نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد غیر از کوانتایل 0/9 سایر کوانتایل‌ها شیب کم مثبت را نشان می‌دهند در حالی که کوانتایل 0/9

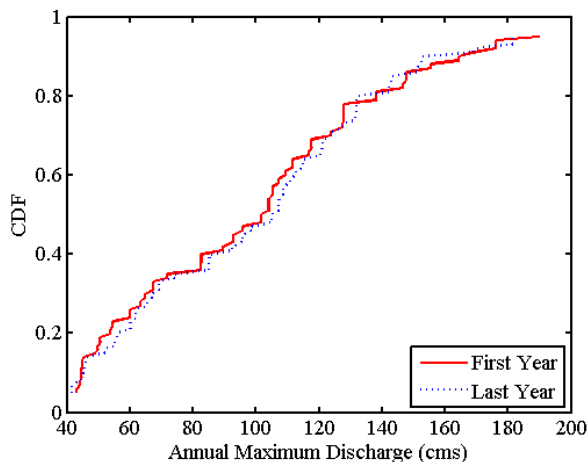
مناسبتی در استخراج EPDF دست یافت. با در نظر داشتن معادله‌های خط برای 91 کوانتایل می‌توان به ازای متغیر سال به مقدار کوانتایل شرطی دبی اوج سالانه دست یافت که این مجموعه در واقع یک برآورد از ECDF است. بدیهی است که بر اساس رابطه مفهومی بین EPDF و ECDF استخراج EPDF به آسانی میسر می‌گردد. برای این که بتوان تغییرات EPDF 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 تغییرات 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 (Shiau and Huang., 2015) 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 معنی کاهش پراکندگی و یا افزایش مقدار اوج EPDF است) در حالی که تغییر در مکان به این موضوع دلالت دارد که آیا EPDF انتقال را تجربه کرده است یا خیر. توابع EPDF که تیزتر می‌شوند منتج شده از خطوط رگرسیون همگرا می‌باشند و خطوط رگرسیون واگرا منجر می‌شوند EPDF به سمت مسطح شدن میل کند. EPDF منتقل شده به سمت چپ ناشی از خطوط رگرسیونی با شیب منفی و EPDF منتقل شده به سمت راست



شکل 2- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (ارازکوسه)

نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل به ازای چند کوانتایل مختلف برای سری دبی اوج سالانه در ایستگاه هیدرومتری ارازکوسه در شکل 3 ارائه شده است. تغییرات خطوط از پایین به بالا و نیز با افزایش تیرگی متناظر با افزایش کوانتایل‌ها است. بدیهی است که ترسیم همه کوانتایل‌ها یعنی از 0/05 تا 0/95 موجب پیچیدگی بیش از اندازه

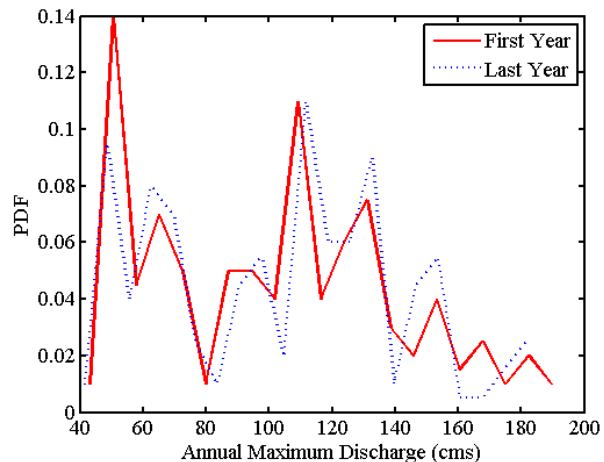
حالی که در انتهای دوره این دامنه به (41/54-181/55) مترمکعب بر ثانیه رسیده است بنابراین مشخص است که دامنه تغییر مشخصی نکرده است. اما مشخص‌ترین تفاوت در تغییرات در مقدار مد آشکار شده است به نحوی که برای EPDF در ابتدای دوره مقدار احتمال در مد برابر با 0/14 دبی مد 50/55 مترمکعب بر ثانیه است در حالی که برای EPDF در انتهای دوره مقدار احتمال در مد برابر با 0/11 دبی مد 111/54 مترمکعب بر ثانیه است و این جابجایی فاحش مد را نشان می‌دهد که البته در این شکل به دلیل چند مد بودن نمودارهای EPDF شاید در نگاه اول آن چنان مشخص نباشد.



شکل 5- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (اراز کوسه)

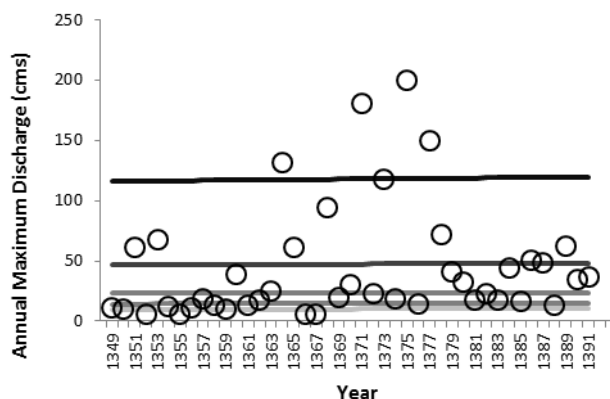
مترمکعب بر ثانیه در سال کم‌تر می‌باشد. برای کوانتایل‌های ما بین 0/32 تا 0/95 شیب خط رگرسیون از نظر آماری در سطح 0/05 معنی‌دار شده است که البته باید توجه داشت این بازه بزرگ دارای دو مورد استثنا (کوانتایل‌های 0/77 و 0/78) است که شیب خط رگرسیون آن‌ها معنی‌دار نیست. در شکل ۷ خطوط رگرسیون برای کوانتایل‌های منتخب رسم شده است. بررسی خطوط رگرسیون به روشنی بیانگر شیب افزایشی خطوط رگرسیون با افزایش مقدار کوانتایل مورد نظر است. البته همان‌طور که بیان شد این شکل برای کوانتایل‌های منتخب رسم شده است در حالی که اگر به شکل ۶ دقت شود مشخص می‌شود بین کوانتایل 0/85 (که دارای شیب 1/73 مترمکعب بر ثانیه در سال است) و کوانتایل 0/94 (که دارای شیب 5/42 مترمکعب بر ثانیه در سال است) سایر کوانتایل‌ها دارای شیب کم‌تری از این دو مقدار می‌باشند به علت آن که شکل ۷ برای کوانتایل‌های منتخب رسم شده این حقیقت قابل مشاهده نیست.

شیب منفی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل 2 که مقدار شیب را برای همه کوانتایل‌های کران بالا منفی نیست. با توجه به مقدار شیب‌ها می‌توان نتیجه گرفت که تقریباً الگوی تغییرات خطوط رگرسیون کوانتایل به صورت نسبتاً همگرا و افقی بوده است. تغییرات EPDF و ECDF در سال‌های اول و انتهای دوره در شکل‌های 4 و 5 نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است EPDF در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره کمی به سمت میانه بازه متمایل شده و از طرفی از تمرکز چگالی بر بخش کران پایینی کاسته شده است. بررسی دامنه EPDF نشان می‌دهد که دامنه EPDF در ابتدای دوره (43/22-189/74) مترمکعب بر ثانیه بوده در



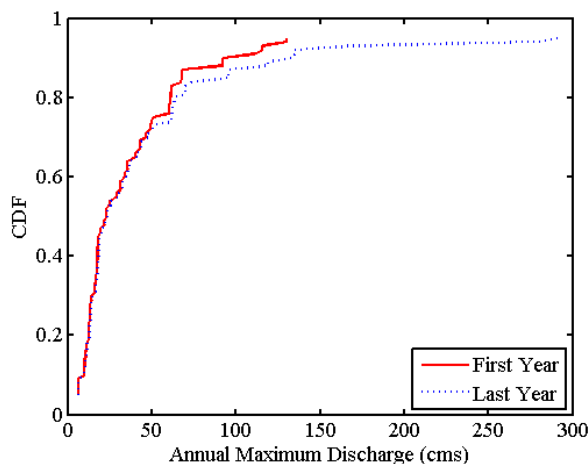
شکل 4- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (اراز کوسه)

**لزوره:** مقادیر شیب خطوط رگرسیون کوانتایل برای سری داده‌های دبی اوج سالانه ایستگاه لزوره در شکل 6 ارایه شده است. همان‌طور که مشخص است به ازای تمام مقادیر کوانتایل‌های مورد بررسی شیب خط‌های رگرسیونی دارای علامت مثبت است. بررسی مقادیر این شیب‌ها نشان می‌دهد که دامنه مقادیر برآورد شده گسترده است در بازه (0/005 - 5/77) مترمکعب بر ثانیه در سال می‌باشد. نکته بسیار مهم آن است که به استثنای کوانتایل‌های 0/85، 0/93، 0/94 و 0/95 که دارای مقادیر شیب در بازه (5/77 - 1/38) مترمکعب بر ثانیه در سال هستند، سایر کوانتایل‌ها دارای شیب‌های کم‌تر از 0/16 مترمکعب بر ثانیه در سال است که این موضوع نشان می‌دهد تنها بخشی از کوانتایل‌های کران بالا شیب تند افزایشی را ارایه می‌نمایند. بررسی معنی‌داری شیب خطوط رگرسیونی نشان می‌دهد که برای کوانتایل‌های 0/05 تا 0/31 همه شیب‌های برآورد شده از نظر آماری در سطح 0/05 معنی‌دار نیست. باید توجه داشت که بزرگی مقدار شیب برای این بازه از کوانتایل‌ها همواره از 0/012



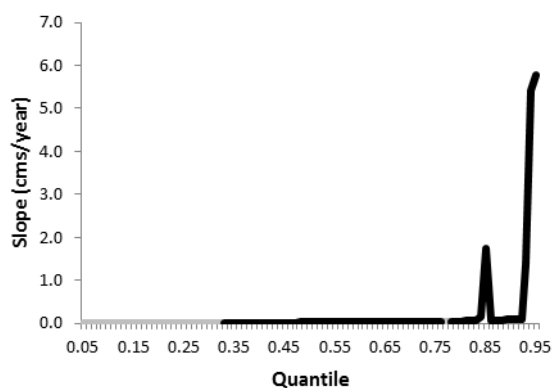
شکل 7- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (لزوره)

EPDF ابتدای مقدار دامنه در بازه (6/25-130/55) مترمکعب بر ثانیه است در حالی که EPDF در انتهای دوره دارای دامنه (292/27-6/45) مترمکعب بر ثانیه است و همان طور که مشخص است تغییرات در افزایش دامنه کاملاً مشخص است. بررسی مقادیر و وضعیت مد بیان می‌کند که در ابتدای دوره مقدار احتمال در مد برابر با 0/26 است که در دبی مد 18/68 مترمکعب بر ثانیه روی می‌دهد لیکن در انتهای دوره مقدار احتمال در مد به 0/42 افزایش می‌یابد که این مقدار متناظر با دبی مد 20/74 مترمکعب بر ثانیه است.



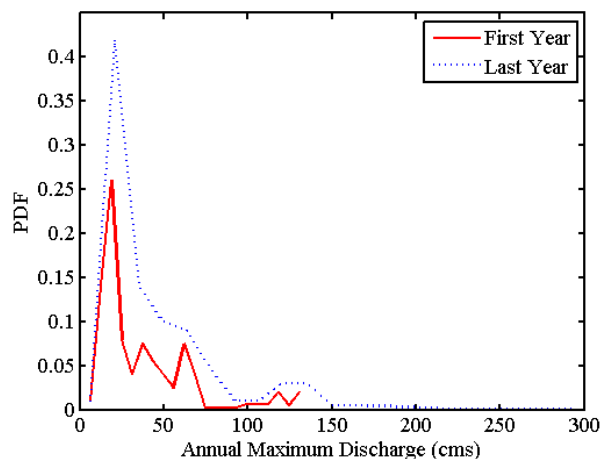
شکل 9- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (لزوره)

نظر آماری معنی‌دار نیست لیکن در 11 کوانتایل دیگر مقادیر شیب خطوط رگرسیون معنی‌دار شده است. همچنین به طور مشخص شیب تمام خطوط رگرسیون در بین کوانتایل‌های 0/05 و 0/76 از نظر آماری معنی‌دار نیست و در بازه (0/003 - 0/095) مترمکعب بر ثانیه در سال قرار دارد که مقادیر کوچکی می‌باشند. همچنین می‌توان مشاهده کرد که در دو بازه مشخص یعنی بین کوانتایل‌های 0/77 و



شکل 6- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (لزوره)

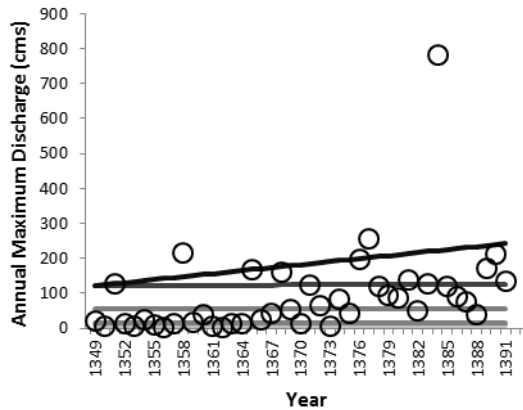
در شکل‌های 8 و 9 نمودارهای EPDF و ECDF سری داده‌های ایستگاه هیدرومتری لزوره برای ابتدا و انتهای دوره مورد بررسی به نمایش درآمده است. بررسی نمودارهای ECDF در شکل 4 به روشنی نشان می‌دهد که در سطوح احتمال کران پایین تطابق خوبی بین ECDF های ابتدا و انتهای دوره وجود دارد در حالی که با افزایش سطح احتمال این تفاوت کاملاً آشکار می‌شود. بررسی شکل 8 نشان می‌دهد که نمودار EPDF در انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره افزایش مقدار اوج و نیز توسعه مقدار دامنه را تجربه کرده است. برای



شکل 8- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (لزوره)

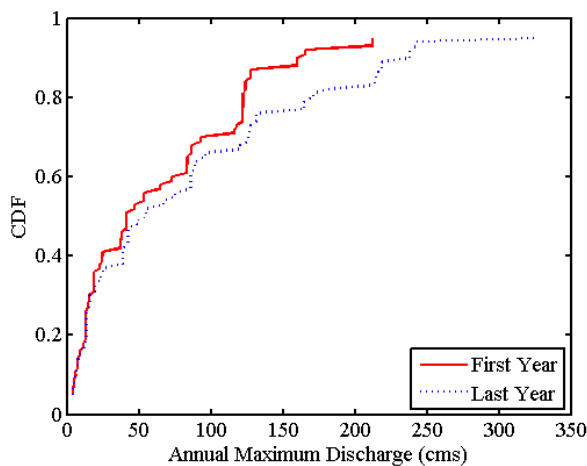
تمرکز: مقادیر شیب خطوط رگرسیون کوانتایل برای سری دبی اوج سالانه در ایستگاه تمر در شکل 10 ارایه شده است. در این سری نیز مانند سری داده‌های ایستگاه لزوره همه مقادیر شیب‌های برآورد شده دارای علامت مثبت می‌باشند و نیز دامنه مقادیر شیب‌ها وسیع است و در بازه (0/003 - 4/96) مترمکعب بر ثانیه در سال قرار داد. در بین کوانتایل‌های مورد بررسی در 80 کوانتایل مقادیر شیب بدست آمده از

شده مقدار بزرگی شیب در بازه (2/10-4/96) مترمکعب بر ثانیه در سال بوده در حالی که برای سایر کوانتایل‌ها این بازه به صورت (0/003-0/158) مترمکعب بر ثانیه در سال می‌باشد. بررسی شکل 11 نشان می‌دهد که با افزایش مقدار کوانتایل‌ها مقدار بزرگی شیب افزایش می‌یابد که این الگوی کلی در شکل 10 نیز مشخص است.



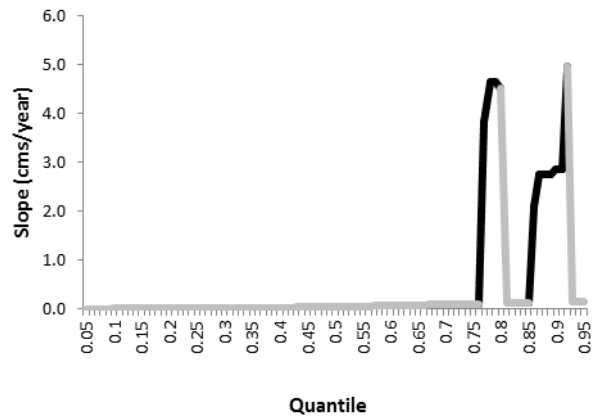
شکل 11- نمودار خطوط رگرسیون کوانتایل (تمر)

مترمکعب بر ثانیه می‌باشد در حالی که در انتهای دوره این دامنه به بازه (4/63-326/46) تغییر یافته است که به شکل مشخصی افزایش دامنه قابل درک است. مقدار احتمال در مد در ابتدای دوره برابر با 0/23 در دبی مد 14/89 مترمکعب بر ثانیه است که در EPDF انتهای دوره مقدار احتمال در مد به 0/28 و دبی مد به 20/72 مترمکعب بر ثانیه افزایش یافته است.



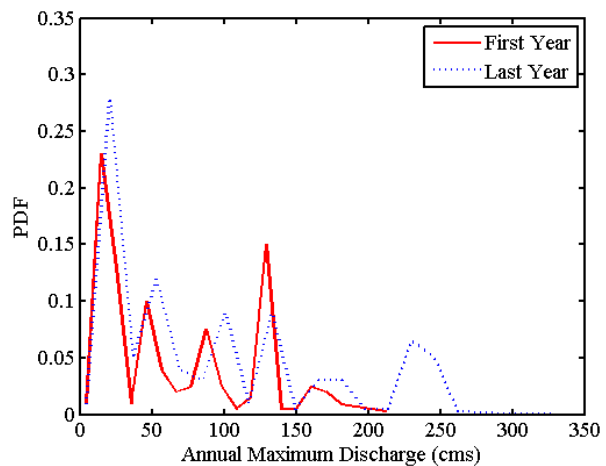
شکل 13- نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره (تمر)

0/80 و نیز بین کوانتایل‌های 0/86 و 0/92 شیب خطوط رگرسیون معنی‌دار شده است. به طور کلی مقادیر شیب خطوط رگرسیون در اغلب موارد کاملاً پایین بوده است و به طور خاص دو بازه‌ای که دارای شیب‌های خط رگرسیون معنی‌دار بوده‌اند به طور هم‌زمان دارای بزرگی شیب نسبتاً قابل توجهی بوده‌اند. برای دو بازه کوانتایل بیان



شکل 10- نمودار تغییرات شیب خط رگرسیون کوانتایل (تمر)

نمودارهای EPDF و ECDF برای ابتدا و انتهای دوره سری داده‌های ایستگاه تمر در شکل‌های 12 و 13 ارائه شده است. با مقایسه ECDF های ترسیم شده در شکل 13 مشخص است که در کران پایینی احتمال تفاوت ECDF های ابتدا و انتهای دوره ناچیز و قابل چشم پوشی است اما برای کران بالا این تفاوت فاحش می‌شود. بررسی EPDF ها ابتدا و انتهای دوره نیز بیان کننده تغییرات EPDF در طول زمان می‌باشد. دامنه EPDF در ابتدای دوره (212/58-



شکل 12- نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره (تمر)

## نتیجه گیری

صرفاً در بخش کران پایینی تطابق مناسبی بین نمودارهای ابتدا و انتهای دوره مشاهده می‌شود. مقایسه EPDF ها در سه سری مورد بررسی نیز به شکل جالب توجهی بیانگر آن است که الگوی تغییرات EPDF در سه ایستگاه مورد بررسی متفاوت بوده است. بررسی دامنه‌های نمودارهای EPDF در ابتدا و انتهای دوره در سه سری بیانگر این نکته است که در سری آراز کوسه مقدار اندازه دامنه تغییر خاصی نیافته است اما در سری لزوره و تمر به شکل فاحش افزایش دامنه نمودارهای EPDF نتیجه‌گیری می‌شود. بررسی مقدار مد نیز مشخص می‌سازد که در هر سه مورد مقدار مد در EPDF انتهای دوره نسبت به ابتدای دوره افزایش یافته که این افزایش در سری آراز کوسه شاخص می‌باشد. مقدار احتمال متناظر با مقدار مد در سری آراز کوسه کاهش جزئی و در سری‌های تمر و لزوره افزایش محسوس داشته است. در مجموع در بین سری‌های مورد بررسی نمودارهای EPDF ابتدا و انتهای دوره در سری آراز کوسه دارای کم‌ترین تغییرات بوده است در حالی که تغییرات در نمودارهای مرتبط با سری‌های لزوره و تمر آشکار می‌باشد. نتایج این تحقیق یافته‌های شیائو و هوانگ را که نشان داده‌اند رگرسیون کوانتایل یک ابزار مفید جهت تحلیل تغییرات EPDF داده‌ها در طول سری زمانی می‌باشد را تایید می‌کند (Shiau and Huang., 2015).

## منابع

- انصاری، م.ت.، بامنی مقدم، م.، خوشگویان فرد، ع.ر.، سام آرام، ع. 1385. کاربرد رگرسیون چندک در تحلیل سلامت روانی. 20:5: 49-59.
- Barbosa, S.M. 2008. Quantile trends in Baltic sea level. *Geophysical Research Letters*. 35:22: 1-6.
- 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.
- Beven, K.J., Almeida, S., Aspinall, W.P., Bates, P.D., Blazkova, S., Borgomeo, E and Stephenson, D.B. 2016. Epistemic uncertainties and natural hazard risk assessment—Part 2: Different natural hazard areas.
- Brath, A., Montanari, A and Moretti, G. 2006. Assessing the effect on flood frequency of land use change via hydrological simulation (with uncertainty). *Journal of Hydrology*. 324.1: 141-153.
- Capra, A., Consoli, S and Scicolone, B. 2013. Long-term climatic variability in Calabria and effects on drought and agrometeorological parameters. *Water Resources Management*. 27.2: 601-617.
- Crooks, S and Davies, H. 2001. Assessment of land use

تخمین سیر تغییرات مقادیر دبی اوج سیلاب یک ابزار لازم و مفید در مدل‌سازی‌های مرتبط با این پدیده و نیز تصمیم‌گیری‌های مدیریتی است. روش‌های بکار رفته برای این هدف هر کدام بر مشخصه‌های خاص از داده‌ها متمرکز هستند در صورتی که کاربرد روش رگرسیون کوانتایل که اخیراً در مباحث هیدرولوژی مطرح شده است منجر به استخراج نتایج تحلیل روند برای کوانتایل‌های متفاوت و به صورت یکپارچه می‌گردد. کاربرد رگرسیون کوانتایل جدا از تحلیل یک‌پارچه روند به صورت ابزاری برای بررسی تغییرات تابع چگالی احتمال تجربی نیز می‌تواند به کار رود. تحلیل تغییرات تابع چگالی احتمال تجربی می‌تواند در تخمین خصوصیتی مانند مانایی سری زمانی نقشی کلیدی ایفا کند و نیز در تحلیل‌های مرتبط با ریسک و عدم قطعیت یک ابزار پایه‌ای و کاربردی باشد (Beven et al., 2016; Pieri et al., 2016; McCuen., 2016). در این مطالعه از مفهوم رگرسیون کوانتایل استفاده شده تا تغییرات در EPDF و ECDF سری داده‌های دبی اوج سیلاب در سه ایستگاه هیدرومتری آراز کوسه، لزوره و تمر در استان گلستان در بازه زمانی سال‌های 1391-1349 (43 سال) بررسی شود. بررسی علامت شیب خطوط رگرسیون نشان می‌دهد که در سری داده‌های لزوره و تمر در همه موارد شیب دارای علامت مثبت بوده است اما در سری داده آراز کوسه در تعداد معدودی از موارد شیب خطوط رگرسیون منفی و در اکثر موارد مثبت می‌باشد. بررسی معنی‌داری آماری شیب‌های برآورد شده نشانگر آن است که در سری داده‌های تمر و آراز کوسه مقادیر شیب در کوانتایل‌های کران بالایی و در سری لزوره در کوانتایل‌های میانی و کران بالا در سطح 0/05 معنی‌دار بوده‌اند در حالی که در هیچ موردی در کوانتایل‌های کران پایین شیب خطوط رگرسیون در سه سری مورد بررسی معنی‌دار نبوده است. با مقایسه بزرگی مقدار شیب خطوط رگرسیون کوانتایل در سه سری مورد بررسی مشخص می‌گردد که به طور نسبی بزرگی مقدار شیب در سری آراز کوسه از سری‌های تمر و لزوره کمتر می‌باشد. همچنین برای هر سه سری مورد بررسی بزرگی‌های قابل توجه در شیب خط رگرسیون در کوانتایل‌های کران بالایی روی داده و در کوانتایل‌های میانی و کران پایینی همواره مقدار شیب کوچک بوده است. مقایسه نمودارهای ECDF منجر به این نتیجه می‌شود که الگوی تغییرات این نمودارها در ابتدا و انتهای دوره سه سری مورد بررسی متفاوت بوده است. در سری آراز کوسه نمودارهای ECDF در ابتدا و انتهای دوره فرقی چندانی نکرده است در حالی که در سری لزوره مشخص است که در کران پایین و بخش میانی نمودارهای ابتدا و انتهای دوره با یکدیگر تطابق مناسب دارند اما در کران بالایی تفاوت بین دو نمودار آشکار می‌گردد. در سری تمر تفاوت بین نمودارهای ECDF از بخش میانی خود را آشکار می‌سازد و



2012. Watershed-wide trend analysis of temperature characteristics in Karun-Dez watershed, southwestern Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 110.1-2: 311-320.
- Mazvimavi, D. 2010. Investigating changes over time of annual rainfall in Zimbabwe. *Hydrology and Earth System Sciences*. 14.12: 2671-2679.
- McCuen, R.H. 2016. *Modeling hydrologic change: statistical methods*. CRC press. 448 pages.
- 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.
- Mikkelsen, K.M., Dickenson, E.R., Maxwell, R.M., McCray, J.E and Sharp, J.O. 2013. Water-quality impacts from climate-induced forest die-off. *Nature Climate Change*. 3.3: 218-222.
- Moazed, H., Salarijazi, M., Moradzadeh, M and Soleymani, S. 2012. Changes in rainfall characteristics in Southwestern Iran. *African Journal of Agricultural Research*. 7.18: 2835-2843.
- 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. *International Journal of Geology, Earth and environmental Sciences*, 2.1: 70-78.
- Muhlbauer, A., Spichtinger, P and Lohmann, U. 2009. Application and comparison of robust linear regression methods for trend estimation. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 48.9: 1961-1970.
- Muzik, I. 2002. A first-order analysis of the climate change effect on flood frequencies in a subalpine watershed by means of a hydrological rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology*. 267.1: 65-73.
- 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.
- Pieri, L., Rondini, D and Ventura, F. 2016. Changes in the rainfall-streamflow regimes related to climate change in a small catchment in Northern Italy. *Theoretical and Applied Climatology*: 1-13.
- Prudhomme, C., Jakob, D and Svensson, C. 2003. Uncertainty and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *Journal of hydrology*. 277.1: 1-23.
- Reynard, N.S., Prudhomme, C and Crooks, S.M. 2001. The flood characteristics of large UK rivers: potential effects of changing climate and land use. *Climatic change*. 48.2-3: 343-359.
- Rheuban, J.E., Williamson, S., Costa, J.E., Glover, D.M., change in the Thames catchment and its effect on the flood regime of the river. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*. 26.7: 583-591.
- Das, P.K., Dutta, D., Sharma, J.R and Dadhwal, V.K. 2016. Trends and behaviour of meteorological drought (1901–2008) over Indian region using standardized precipitation–evapotranspiration index. *International Journal of Climatology*. 36.2: 909-916.
- Gao, P., Mu, X.M., Wang, F and Li, R. 2011. Changes in stream flow 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.
- Helsel, D.R., and Hirsch, R.M. 1992. *Statistical methods in water resources*. Elsevier, 522 pages.
- Hooshmand, A., Salarijazi, M., Bahrami, M., Zahiri, J and Soleimani, S. 2013. Assessment of pan evaporation changes in South Western Iran. *African Journal of Agricultural Research*. 8.16: 1449-1456.
- Jagger, T.H and Elsner, J.B. 2009. Modeling tropical cyclone intensity with quantile regression. *International Journal of Climatology*. 29.10: 1351-1361.
- Jhajharia, D., Shrivastava, S.K., Sarkar, D and Sarkar, S. 2009. Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149.5: 763-770.
- Kisi, O and Ay, M. 2014. Comparison of Mann–Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*. 513: 362-375.
- Koenker, R and Bassett Jr, G. 1978. Regression quantiles. *Econometrica: journal of the Econometric Society*. 33-50.
- Koenker, R. 2005. *Quantile regression* (No. 38). Cambridge university press.
- Liu, M., Shen, Y., Zeng, Y., Liu, C. 2010. Trend in pan evaporation and its attribution over the past 50 years in China. *Journal of Geographical Sciences*. 20.4: 557-568.
- Lopes, A.V., Chiang, J.C.H., Thompson, S.A and Dracup, J.A. 2016. Trend and uncertainty in spatial-temporal patterns of hydrological droughts in the Amazon basin. *Geophysical Research Letters*. 43.7: 3307-3316.
- Loucks, D.P., Van Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P and Villars, M.T. 2005. *Water resources systems planning and management: an introduction to methods, models and applications*. Paris: Unesco.
- Marofi, S., Soleymani, S., Salarijazi, M and Marofi, H.

- Timofeev, A.A and Sterin, A.M. 2010. Using the quantile regression method to analyze changes in climate characteristics. *Russian Meteorology and Hydrology*. 35.5: 310-319.
- Villarini, G., Smith, J.A., Baek, 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. *Journal of Hydrology*. 400.1: 103-120.
- Villarini, G., Smith, J.A., Serinaldi, F and Ntelekos, A.A. 2011. Analyses of seasonal and annual maximum daily discharge records for central Europe. *Journal of Hydrology*. 399.3: 299-312.
- 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.
- Westra, S., Alexander, L.V and Zwiers, F.W. 2013. Global increasing trends in annual maximum daily precipitation. *Journal of Climate*. 26.11: 3904-3918.
- Yu, K., Lu, Z and Stander, J. 2003. Quantile regression: applications and current research areas. *Journal of the Royal Statistical Society: Series D (The Statistician)*. 52.3: 331-350.
- Jakuba, R.W., McCorkle, D.C and Doney, S.C. 2016. Spatial and temporal trends in summertime climate and water quality indicators in the coastal embayments of Buzzards Bay, Massachusetts. *Biogeosciences*. 13.1: 253-265 .
- 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. *African Journal of Agricultural Research*, 7.32: 4540-4552.
- Sansigolo, C.A and Kayano, M.T. 2010. Trends of seasonal maximum and minimum temperatures and precipitation in Southern Brazil for the 1913-2006 period. *Theoretical and Applied Climatology*. 101.1-2: 209-216.
- Shiau, J.T and Huang, W.H. 2015. Detecting distributional changes of annual rainfall indices in Taiwan using quantile regression. *Journal of Hydro-environment Research*. 9.3: 368-380.
- Shiau, J.T and Huang, W.H. 2015. Detecting distributional changes of annual rainfall indices in Taiwan using quantile regression. *Journal of Hydro-environment Research*. 9.3: 368-380.
- Tabari, H and Talaee, P.H. 2011. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 111.3-4: 121-131.

## Estimation of Changes in Empirical Probability and Cumulative Distribution Function of Annual Maximum Instantaneous Flood Peak Discharge

M. Salarijazi<sup>1\*</sup>

Received: Aug.21, 2016

Accepted: Jan.01, 2017

### Abstract

Annual maximum discharge time series is a very important series for hydrological planning and design. Various factors such as changes in climate, land use and land cover as well as other human affected activities can affect the characteristics of this series, therefore estimation of changes of its characteristics is an applied research. The objective of this study is evaluation of changes in empirical probability distribution function (EPDF) and the empirical cumulative distribution function (ECDF) of annual maximum discharge time series on the basis of a novel approach. For this purpose, three annual maximum instantaneous flood peak discharge time series belonging to Araz-Kouseh, Lazoureh and Tamer hydrometry stations with 43 years recorded data located in Golestan province are used. The results indicate that estimated changes in the studied series occurred in upper quantiles. It is clear the changes pattern of EPDF and ECDF curves were different during their periods. The Araz-Kouseh ECDF curve of last year did not show certain change in comparison with its first year curve while Tamer and Lazoureh series show a lot of changes in upper level of maximum discharge respectively. Comparison of first and last years EPDF curves show the domains of Araz-Kouseh EPDF curves are relatively constant but they experienced significant increase in Tamer and Lazoureh series. In addition the last year EPDF modes increase relative to the corresponding values in first year EPDF in all of three series. The probability values corresponding to the modes had limited changes for Araz-Kouseh series while experienced considerable increase for other two series.

**Keywords:** Distributional Changes, Empirical Cumulative Distribution Function (ECDF), Empirical Probability Distribution Function (EPDF), Flood Peak Discharge

---

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources  
(Email: meysam.salarijazi@gau.ac.ir)