

تحلیل فراوانی سیل با استفاد از تبدیل موجک‌ها (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی پلرود)

سجاد شهابی^۱، مسعودرضا حسامی کرمانی^۲، عزیز حسین نژاد^۳، بهمن پنجعلیزاده^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۴/۲۳

مقاله برگرفته از طرح تحقیقات کاربردی با سازمان آب منطقه‌ای گیلان

چکیده

بی‌توجهی به تحلیل فراوانی می‌تواند موجب خسارت‌های جبران‌ناپذیر شود. از اینرو همواره افزایش دقت در این زمینه مورد توجه محققین مختلف بوده‌است. در این مقاله داده‌های ۵۲ ساله‌ی مشاهده شده بر روی رودخانه‌ی پلرود برای تحلیل فراوانی استفاده شده‌است. تحلیل فراوانی سیل با استفاده از دو تابع مختلف موجک (هار و دوبشی^۳) بر روی این داده‌ها انجام شده و نتایج آن ارائه شده‌است. در دومرحله داده‌های دبی کوچکتر از ۰/۸۰٪ و ۰/۹۵٪ کوچکترین داده‌ی حداکثر سالانه، جهت کاهش تأثیر داده‌های بسیار کوچک در مدل موجکی حذف شد. سپس تحلیل فراوانی با استفاده از سری‌های جزئی و حداکثر سالانه و برازش به توزیع‌های آماری مختلف انجام شد و نتایج با تحلیل موجک مقایسه شده‌اند. مقایسه‌ی نتایج موجک با سری‌های جزئی و سری حداکثر سالانه بیانگر این نکته‌ی بسیار مهم است که دقت تحلیل و انتخاب روش، مبتنی بر طبیعت داده‌ها و ناحیه‌ی مورد مطالعه است. در حوضه‌ی پلرود سری‌های حداکثر سالانه، تخمین دست‌بالا را به‌دست می‌دهد چون تنها ۰/۰۶٪ از داده‌ها بیش از ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه و ۱۰ داده بین ۲۰۰ تا ۵۳۷ مترمکعب بر ثانیه هستند.

واژه‌های کلیدی: تبدیل موجک‌ها، تحلیل فراوانی سیل، توزیع نرمال، رودخانه‌ی پلرود.

۱ مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی جاوید، گروه مهندسی عمران، جیرفت، ایران، ۰۹۱۱۲۴۲۸۹۷۸ ، sajad.shahaaby@gmail.com

۲ استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران، masoud.hessami@gmail.com

۳ دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودسر و املش، گروه مهندسی عمران، رودسر، ایران. azizhn@yahoo.com

مقدمه

در تمامی کارهای عمرانی نظیر پل، جاده، سد، بند به-طور عام و پروژه‌های مربوط به مدیریت منابع آب به‌طور خاص، مطالعات هیدرولوژیکی که تحلیل فراوانی سیلاب نیز بخش مهمی از آن است همواره الزامی است. منظور از تحلیل فراوانی سیلاب نسبت دادن بزرگی سیلابی که در یک منطقه واقع می‌شود به دوره‌ی بازگشت آن است. هدف اول تحلیل فراوانی ارتباط دادن بزرگی حوادث حادی به فراوانی وقوع آنها از طریق استفاده از توزیع‌های آماری مختلف می‌باشد (چاو و همکاران، ۱۹۸۸). تحلیل فراوانی سیلاب، نقش عمده‌ای در پیشگیری از خسارات وارده به تأسیسات دارند.

با توجه به اهمیت و عواقب جبران ناپذیر بی‌توجهی به تحلیل فراوانی سیلاب، در طول نیم قرن که از آغاز مطالعات بر روی این شاخه از تحقیقات هیدرولوژیکی سپری شده‌است، روش‌های مختلفی برای تحلیل فراوانی سیلاب تا به امروز مورد توجه محققین و پژوهشگران قرار گرفته‌است. در این میان در بیشتر کارهای عملی و اجرایی توجه سازمان‌ها و شرکت‌های مهندسی مشاور بیشتر به جانب استفاده از داده‌های حداکثر سالانه و سری‌های جزئی و برازش به توزیع‌های آماری مختلف متمایل بوده-است. در میان این دو دسته داده نیز از داده‌های حداکثر سالانه در پروژه‌های عملی و اجرایی بیشتر استفاده شده-است. هرچند مطلب بسیار حائز اهمیت در این باره آنست که کارایی و کاربرد همه‌ی توزیع‌های آماری در نزد محققین و سازمان‌ها و شرکت‌ها یکسان نبوده‌است، به-طوریکه برخی از این توزیع‌ها سال‌ها برای تمامی پروژه-های اجرایی در محدوده‌ی سرزمینی برخی از کشورها الزامی بوده‌است، همچون استفاده از داده‌های حداکثر سالانه و برازش آن به توزیع لوگ - پیرسون نوع III که به‌مدت دو دهه در محدوده‌ی سرزمینی ایالات متحده برای تمامی پروژه‌های عملی و اجرایی الزامی بوده‌است.

چندین روش که تا به امروز برای تحلیل فراوانی سیلاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

برازش داده‌ها به توزیع لوگ - پیرسون نوع سه با استفاده از روش گشتاورها، رویکرد ناحیه‌ای کردن، استفاده از روش گشتاور L و

در روش‌های متداول کنونی و به‌طور خاص در پروژه-های عملی و اجرایی روش‌های مورد استفاده بیشتر مبتنی بر داده‌هایی است که از روش حداکثر سالانه و یا سری‌های جزئی استخراج شده و به یکی از توزیع‌های آماری متداول برازش شده است. اجرای این توزیع‌ها با استفاده از آزمون‌های مختلف آماری مورد ارزیابی واقع می‌شوند. غالباً بسیاری از فرضیات در تحلیل فراوانی سیلاب ممکن است نامعتبر باشد (رآو و حامد، ۲۰۰۰).

روش‌های مبتنی بر توزیع‌های آماری بسیار متداول بوده و حتی امروزه با وجود گذشت چند دهه از مطرح شدن این روش‌ها و به‌رغم ارائه‌ی بسیاری از روش‌های جدید از جانب محققین مختلف، هنوز هم متداول‌ترین روش به‌خصوص در کارهای عملی و اجراییست. چاو و همکاران (۱۹۸۸) در کتاب هیدرولوژی کاربردی بسیاری از توزیع‌ها و شیوه‌های مختلف تحلیل فراوانی را ارائه کرده‌است. رآو (۲۰۰۰) نیز در کتاب تحلیل فراوانی خود به تفصیل این روش‌ها را شرح داده‌است.

آنچه در استفاده از توزیع‌های آماری با روش‌های متداول اهمیت دارد، اینست که حتماً بایستی توجه شود که داده‌های مورد استفاده مستقل، همگن و ایستا باشند. لذا برای استفاده از این روش‌ها حتماً بایستی این شرایط کنترل شده و در صورت عدم وجود این شرط به‌نحوی تأمین شود، چراکه در غیر اینصورت فرض غلط دیگری بر فرضیات غلط این روش‌ها افزوده خواهد شد.

گریفیس و استیدینگر (۲۰۰۷) در مقاله‌ی خود خصوصیات توزیع لوگ - پیرسون نوع III را در فضای لگاریتمی و حقیقی، ارتباط میان آنها و کاربرد آن در تحلیل فراوانی سیلاب را مورد مطالعه قرار داده‌اند. تحلیل آنها نشان می‌دهد که توزیع لوگ - پیرسون نوع III یک مدل منطقی و مستدل از سری‌های سیلاب سالانه در فضای لگاریتمی در شرایطی که به میزان $|r| \leq 1.414$ انحراف (چولگی) داشته و انحراف معیار آن در محدوده‌ی $0.3/6$ با مبنای لگاریتمی باشد، را ارائه می‌کند. طیف گسترده‌ای از روش‌های تخمین پارامتر جایگزین برای توزیع لوگ - پیرسون نوع III در مطالعات هیدرولوژیکی ارائه شده‌اند، از جمله روش گشتاورها^۱ (MOM)، حداکثر

^۱ Method of Moments

تحلیل منطقه‌ای شاید پایدارترین روش به‌منظور بهبود تخمین سیلاب باشد. هدف از تحلیل منطقه‌ای سیلاب تخمین مقادیر جریان و تناوب وقوع آن در یک حوضه‌ی مورد نظر است. بطور کلی تحلیل منطقه‌ای سیلاب شامل دو بخش است. (الف) تعیین حوضه‌های آبریز که از لحاظ هیدرولوژیکی همگن‌اند و (ب) حصول مدل‌های تناوب سیل برای هر منطقه‌ی همگن. از جمله روش‌های بسیار پرکاربرد که کارایی بالایی نیز در تحلیل فراوانی سیلاب منطقه‌ای دارد، سیلاب شاخص - گشتاورهای خطی است (شامکوئیان و همکاران، ۱۳۸۸).

شامکوئیان و همکاران (۱۳۸۸) بر روی تحلیل فراوانی سیلاب منطقه‌ای با استفاده از روش سیلاب شاخص - گشتاورهای خطی مطالعه کرده‌اند. در این مطالعه حوضه‌های آبریز استان‌های خراسان به هفت حوضه‌ی همگن هیدرولوژیکی تقسیم شده‌اند، این حوضه‌ها در مجموع شامل ۶۸ ایستگاه هیدرومتری می‌شوند. نتایج حاصل این مطالعه دقت قابل قبول روش مورد استفاده را بیان می‌کند (شامکوئیان و همکاران، ۱۳۸۸).

برن و همکاران (۱۹۹۷) تحلیل فراوانی سیلاب را به صورت منطقه‌ای انجام دادند، در مطالعه‌ی مذکور رویکردی برای حوضه‌ی منطقه‌بندی شده ارائه شده‌است، به‌طوریکه الگوریتم سلسله مراتبی متراکم^۹ جهت تعریف نواحی همگنی که می‌توانند در تحلیل فراوانی سیلاب منطقه‌ای به‌کار روند استفاده شده‌است. شباهت حوضه‌ی آبریز با کاربرد مقادیر فصلی به‌دست آمده از متوسط داده‌های وقوع سیل حداکثر سالانه و پراکندگی مرتبط با آن شرح داده شده‌است. مناطق براساس موقعیت جغرافیایی آنها خوشه‌بندی شده‌است. مناطق اولیه‌ی شکل یافته با کاربرد الگوریتم خوشه‌بندی بوده و سپس در تلاشی برای افزایش همگنی کلی مناطق اصلاح شده‌اند. در این رویکرد از ۲۱۷ حوضه‌ی آبریز حوضه‌ی رودخانه‌ی Saskatchewan-Nelson در غرب و مرکز کانادا استفاده شده‌است (برن و همکاران، ۱۹۹۷).

در مطالعات ناحیه‌بندی کردن، تکنیک‌های خوشه‌بندی^{۱۰} برای تقسیم‌بندی حوضه‌ها به نواحی با گروه‌های طبیعی مفید هستند. اسرینیواس و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که یک رویکرد خوشه‌بندی دوسطحی مبتنی

درست‌نمایی^۱ (MLE) و گشتاورهای ترکیبی. به‌طوریکه روش گشتاورهای ترکیبی در مقایسه با روش‌های MOM و MLE در شرایط اطلاعات منطقه‌ای به‌خوبی عمل می‌کند. تحلیل مونت‌کارلو نشان می‌دهد که تخمین‌های MOM یا داده‌ها دارای چولگی منطقه‌ای قابل ملاحظه‌تری بوده و دقت بیشتری نسبت به روش حداکثر درست‌نمایی دارد (گریفیس و استدینگر، ۲۰۰۷).

شاو و اوآردا (۲۰۰۸) بر روی تحلیل فراوانی سیلاب منطقه‌ای با استفاده از سیستم استنتاج فازی - عصبی تطبیقی^۲ (ANFIS) برای سایت‌های اندازه‌گیری نشده در ایالت کبک کانادا مطالعه کرده‌اند. در این مطالعه روش ANFIS برای تخمین صدک سیلاب برای ۱۵۱ حوضه‌ی آبریز در ایالت کبک کانادا به کار رفته و با نتایج روش شبکه‌ی عصبی^۳ (ANN)، روش رگرسیون غیرخطی^۴ (NLR) و همچنین روش رگرسیون غیرخطی با رویکرد ناحیه‌ای کردن^۵ (NLR-R) مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش ANFIS قابلیت تعمیم‌پذیری بسیار بهتری نسبت به روش‌های NLR و NLR داشته و قابل مقایسه با ANN است (شاو و اوآردا، ۲۰۰۸).

از جمله سایر روش‌ها می‌توان به سیلاب شاخص یا رویکرد ناحیه‌ای کردن اشاره کرد. در یک مطالعه توزیع احتمال برای داده‌های حداکثر سالانه مشاهده شده از ۱۴۵ ایستگاه اندازه‌گیری در کوکاک^۶ و حوضه‌ی رودخانه‌ی بویوک^۷ در ترکیه با استفاده از سیلاب شاخص گشتاورهای L تعیین شده‌است. ساف در این مقاله تحلیل روند Mann-Kendall را به‌طور دقیق برای داده‌های مشاهده شده در سایت‌های اندازه‌گیری شده به‌کار برده و اثرات سد در تمامی ایستگاه‌ها را بررسی کرد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که بر مبنای گشتاورهای L به‌خوبی طبق قواعد آماری، به حد نهایی نرمال برازش پیدا کرده و بهترین توزیع برازش یافته برای زیر نواحی بالادست و پایین‌دست حوضه‌ی مندرس^۸ را به‌دست می‌دهد (ساف، ۲۰۰۹).

¹ Maximum Likelihood

² Adaptive Neuro-Fuzzy Interface System

³ Artificial Neural Network

⁴ Nonlinear Regression Method

⁵ Nonlinear Regression Regionalization

⁶ Kucuk

⁷ Buyuk

⁸ Menderes Basin

⁹ Agglomerative Hierarchical Clustering Algorithm

¹⁰ Clustering

دوباره پارامتری کردن هسته‌ی Volterra، به کار رفته و کاهش تعداد ضرایب تخمین زده شد. صحت‌سنجی نتایج بیانگر مؤثر بودن رویکرد پیشنهادی است. چون قابلیت تفکیک پذیری چندگانه‌ی تبدیل موجک‌ها با متغیرهای زمانی فیلترهای Kalman و خصوصیات مدل Valterra تطبیق داشت. صحت‌سنجی نتایج همچنین نشان می‌دهد که نتیجه‌ی این روش دقت تخمین رواناب را برای حوضه‌های کوچک در تایوان افزایش می‌دهد (چو، ۲۰۰۷).

در مطالعه‌ی دیگری آنالیز طیفی موجک بارش، حرارت و دبی به‌عنوان ابزاری توانمند برای کمک به کشف پتانسیل تولید سیل موقعیت‌های هواشناسی و تشخیص میان انواع سیلاب با در نظر گرفتن ترتیب شرایط هیدرومتئولوژی بحرانی غالب پیشنهاد شده است. این شیوه رویکرد بسیار نوینی برای تحلیل کارایی مدل با تمرکز بر روی وقوع و عدم وقوع انواع مختلف پیشامدهای جریان بالا می‌باشد (چافلی و همکاران، ۲۰۰۷).

یک روش ترکیبی جدید (موجک - فازی - عصبی) برای پیش‌بینی بارش در ترکیه پیشنهاد شده است. روش ترکیبی، از دو روش تبدیل موجک گسسته و فازی - عصبی تشکیل شده است. مشاهدات روزانه‌ی بارش با استفاده از تبدیل موجک گسسته به چند سری کوچکتر تجزیه شده و سپس این سری‌ها به‌عنوان ورودی مدل فازی - عصبی برای پیش‌بینی بارش روزانه به کار رفته است. پتانسیل مدل فازی - عصبی موجکی برای پیش‌بینی بارش روزانه، نخستین بار توسط پارتال و کیسی (۲۰۰۷) مورد استفاده قرار گرفته است، که در این مدل، یکی از دشوارترین بخش‌ها تشخیص مدل مناسب داده‌های ورودی است (پارتال و کیسی، ۲۰۰۷).

راشی و همکاران (۲۰۰۹) نیز مودهای اصلی تغییرات در داده‌های سری‌های هیدرولوژیکی برای رودخانه‌ی می-سی‌سی‌پی در بازه‌ی زمانی ۱۹۷۵-۱۹۵۰ تعریف کرده و آنرا با تغییرات اقلیمی و تغییرات بنیادین^۴ در حوضه مقایسه کرده‌اند. بدین منظور تحلیل موجک پیوسته برای بررسی تغییرات دمایی و تغییرات فرکانس در سری‌های بار معلق و هیدرومتئولوژیک به کار رفته‌اند. در این مطالعه تحلیل موجک پیوسته برای بررسی مدهای اصلی

بر SOFM (نقشه‌ی خصوصیات خودسازمان یافته) برای ناحیه‌بندی کردن حوضه مفید است. در رویکرد مذکور در سطح اول SOFM از یک نقشه‌ی خصوصیات دوبعدی استفاده شده و در سطح دوم خروجی نقاط SOFM با استفاده از الگوریتم فازی میانگین C به فرم نواحی برای تحلیل فراوانی سیلاب خوشه‌بندی شده است. در این مقاله یک الگوریتم خوشه‌بندی فازی دوسطحی SOFM ارائه شده و تأثیر آن در استخراج نواحی همگن برای تحلیل فراوانی سیلاب در هندوستان نشان داده شده است (اسرینواس و همکاران، ۲۰۰۸).

یکی دیگر از موارد تحلیل فراوانی که از این جهت که روشی برای استفاده از داده‌های غیرمستقل ارائه کرده حائز اهمیت است، مطالعه‌ی لکرک و اوآردا در شمال شرق و جنوب شرق کانادا برای سایت‌های اندازه‌گیری نشده است (لکرک و اوآردا، ۲۰۰۷).

مجموعه‌ای از داده‌های بارش ماهانه از ۴۳ ایستگاه در تگزاس جهت بررسی متغیرهای مکانی خصوصیات چندمقیاسی دوره‌های خشک و تر به کار گرفته شد، تأکید ویژه بر روی دوره‌های خشک مرتبط با خشکسالی‌های هواشناسی است. خصوصیات مقیاس‌بندی از تحلیل دوره‌ی خشک می‌تواند با کاربرد مدلسازی خشکسالی و تنوع زمانی چندمقیاسی خشکسالی کاهش داده شود. بررسی ارتباط میان خصوصیات مقیاس‌گذاری^۱ و اهمیت داده‌های های سیکل‌های بارش، نشان می‌دهد که سیکل‌های سالانه ممکن است در دقت مقیاس‌گذاری ساده در دوره‌های خشک و تر متوالی مشارکت داشته باشد (ازگر و همکاران، ۲۰۰۷).

مینگ چو (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که در تایوان انجام داد، پیشنهاداتی برپایه‌ی کارایی مدل موجک‌ها در فرایند بارش - رواناب غیر خطی و کاربرد آن در پیش‌بینی سیل حوضه‌ی رودخانه را بررسی می‌کند. با الهام از تئوری تبدیلات موجک‌ها و فیلترهای Kalman برپایه‌ی ظرفیت فوق‌العاده‌ی مدل Volterra یک مدل هیدرولوژیکی متغیر زمانی، جهت تقریب فرایند مدل‌های بارش - رواناب پیشنهاد شده است. تبدیل موجک‌های گسسته^۲ برای تجزیه و فشرده کردن هسته‌ی Volterra و تولید نرم^۳

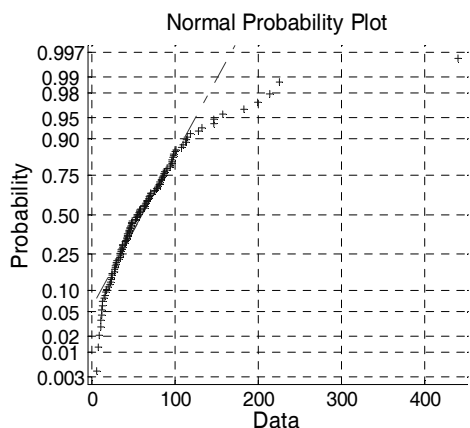
^۱ Scaling

^۲ Discrete Wavelet Transform

^۳ Smooth

^۴ Anthropogenic

در صورتیکه در هریک از دو روش حداکثر سالانه و سری‌های جزئی بخواهیم از توزیع نرمال استفاده کنیم، بایستی داده‌ها به توزیع نرمال برازش داشته باشند، این موضوع با رسم داده‌ها بر روی کاغذ نرمال بررسی می‌شود. (شکل ۱):



شکل (۱): ترسیم داده‌های دبی پلرود بر روی کاغذ نرمال

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، داده‌های پلرود نرمال نیستند، بنابراین در صورت استفاده از داده‌های پلرود برای توزیع نرمال این داده‌ها بایستی نرمال شوند، این کار می‌تواند به روش‌های مختلفی انجام شود، که در این مطالعه این کار با استفاده از رابطه‌ی باکس - کاکس^۴ انجام می‌شود (باکس و کاکس، ۱۹۶۴)، نتایج حاصل از این نرمالسازی نیز بر روی کاغذ نرمال رسم شده و در شکل ۲ نشان داده شده‌است. این شکل بوضوح نشان می‌دهد که داده‌ها بخوبی به توزیع نرمال نزدیک شده‌اند. داده‌های مورد استفاده در روش‌های حداکثر سالانه و سری‌های جزئی، از لحاظ استقلال، ایستایی و همگنی بررسی شده‌اند. در نهایت داده‌های مستقل، ایستا و همگن مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تغییرپذیری^۱ کنترل جریان و تغییرات SSL (جریان و بار رسوب معلق^۲) در رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی به کار رفته‌است (راسی و همکاران، ۲۰۰۹).

معرفی حوضه‌ی رودخانه‌ی پلرود

رودخانه‌ی پلرود با سطح حوضه‌ی ۱۷۶۵ کیلومتر مربع، بزرگترین رود حوضه‌ی شرق گیلان است. این رود از دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز سرچشمه گرفته و پس از طی مسیری ۵۱ کیلومتری و گذر از دره‌ها و دشت‌های مختلف، سرانجام به دریای خزر می‌ریزد. آورد سالانه‌ی این رودخانه ۴۷۲ میلیون مترمکعب بوده و یک ایستگاه بر روی شاخه‌ی اصلی آن و ایستگاهی دیگر بر روی مهمترین شاخه فرعی آن (سموش) قرار دارد. این ایستگاه‌ها به ترتیب طول‌لات و هراتبر نام داشته و در ارتفاع‌های ۱۱۳ و ۱۲۳ متری از سطح دریاهای آزاد قرار دارند.

بر روی پلرود اخیراً یک بند انحرافی بتنی احداث شده و یک سد مخزنی خاکی با هسته‌ی JC (رس و مصالح رودخانه‌ای) و ظرفیت ۶۵ میلیون مترمکعب در حال احداث می‌باشد. هدف از ساخت این دو سد، تأمین مصارف آب شرب شهری و روستایی، صنعت و خدمات و بیش از همه مصارف کشاورزی می‌باشد. (آب منطقه‌ای گیلان، ۱۳۸۹)

تحلیل و بررسی داده‌ها

در این مقاله، تحلیل فراوانی سیل داده‌های پلرود با استفاده از تبدیل موجکها بطور جزئی‌تر و سایر روشها به شکل اجمالی و فقط جهت مقایسه، معرفی خواهند شد. در روش حداکثر سالانه از داده‌های ۵۲ ساله‌ی ایستگاه طول‌لات استفاده خواهد شد، که دوره‌ی آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۰۷ را دربرمی‌گیرد. در کل دوره‌ی مورد مطالعه کوچکترین داده ۰/۴ و بزرگترین داده‌ی دبی حداکثر روزانه ۵۳۷ مترمکعب برثانیه است.^۳ میانگین و انحراف معیار داده‌های مورد استفاده در حداکثر سالانه به ترتیب ۱۱۹/۴۲ و ۹۳/۸۴ می‌باشد.

^۱ Variability

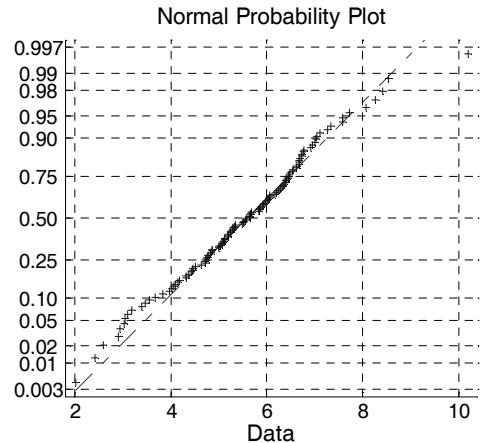
^۲ Stream Flow and Suspended -Sediment

^۳ در همه‌ی روش‌ها این میزان حداکثر برقرار است

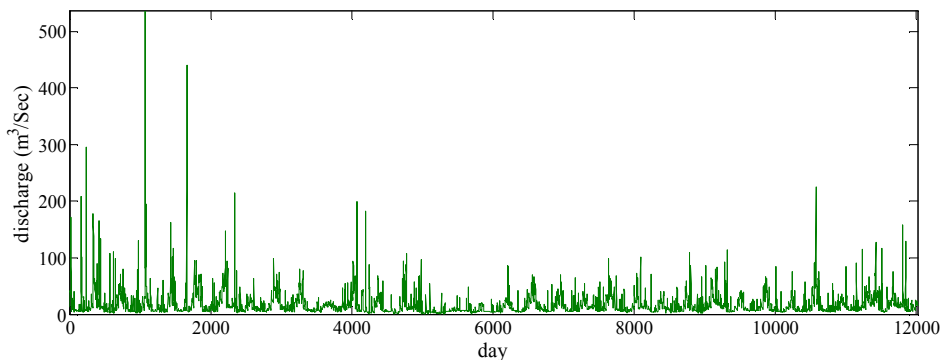
^۴ Box-Cox

در این مطالعه برای تحلیل فراوانی با استفاده از تبدیل موجکها، از سه سری زمانی استفاده می‌شود: سری اول سری کامل تقریباً ۳۳ ساله که تمامی داده‌ها را در برمی‌گیرد. میانگین و انحراف معیار این داده‌ها به ترتیب ۱۵/۷۵ و ۱۷/۸۵ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. سری دوم از حذف تمامی داده‌های دبی کوچکتر از ۰.۸۰٪ کوچکترین داده‌ی حداکثر سالانه حاصل می‌شود، مقادیر میانگین و انحراف معیار این سری نیز به ترتیب ۴۰/۱۷ و ۲۶/۰۲ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. آخرین سری مورد استفاده نیز از حذف داده‌های دبی سری ۳۳ ساله که کمتر از ۰.۹۵٪ کوچکترین داده‌ی حداکثر سالانه (۲۵/۸ مترمکعب بر ثانیه) می‌باشند، حاصل شده‌است.

در این مقاله هر جا صحبت از معیار ۵٪ یا ۹۵٪ می‌شود، منظور حالتیست که داده‌های کوچکتر از ۹۵٪ کوچکترین داده‌ی حداکثر سالانه‌ی دوره‌ی ۳۳ ساله حذف شده، بطور مشابه معیار ۸۰٪ یا ۲۰٪ نیز مفهومی مشابه را بیان می‌کند. در ادامه سری زمانی کامل دوره‌ی ۳۳ ساله در شکل ۳ نشان داده شده‌است.



شکل (۲): نمایش داده‌های نرمال شده پلرود بر روی کاغذ نرمال از آنجا که در دوره‌ی ۵۲ ساله بسیاری از روزهای بی‌داده وجود دارد و این موجب ناقص شدن سری زمانی می‌شود، دو راه حل متصور است: نخست آنکه کسری داده‌ها بازتولید شود، که این روش مشکلات و خطاهای خاص خود را دارد و دوم آنکه دوره‌ای که کسری داده ندارد بکار رود، که با توجه به وجود دوره‌ای تقریباً ۳۳ ساله با داده‌ی کامل و همچون نظر بسیاری از محققین مبنی بر کفایت دوره‌ی سی ساله، روش دوم انتخاب می‌شود (سوبرامانیا، ۲۰۰۸).



شکل (۳): سری زمانی کامل دوره‌ی ۳۳ ساله (۱۰۰٪ داده‌ها)

خوب تبدیل فوریه در تحلیل سیگنال‌ها، این تبدیل دو عیب عمده دارد. اول آنکه توابع پایه فوریه (سینوس و کسینوس) برای نمایش سیگنال‌های پیچیده مناسب نبوده و دیگر آنکه پارامتر زمان را حذف می‌کند بدین ترتیب این تبدیل قابلیت کاربرد در تحلیل فراوانی را ندارد. تبدیل موجکها مشابه تبدیل فوریه با بسط توابع سر و کار دارد، ولی این بسط برحسب توابع موجک نوشته

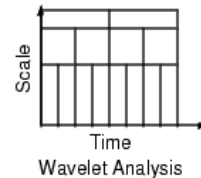
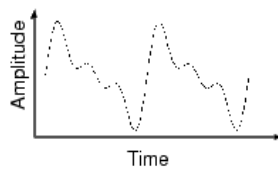
موجکها

مباحث موجکها بسیار گسترده می‌باشد، لیکن در ادامه به شکل اجمالی تبدیل موجکها و بطور خاص دو تابع موجک هار و دوبشی معرفی می‌شود. نخستین بار ژوزف فوریه ایده‌ی نمایش یک تابع پیچیده بر حسب مجموعه‌ی کاملی از توابع را ارائه کرد. وی نشان داد که یک تابع $f(x)$ را می‌توان به صورت بی-نهایت تابع $\sin(ax)$ و $\cos(ax)$ نوشت. برغم قابلیت

شود. از طرف دیگر منحنی سینوسی فوریه یک منحنی نرم قابل پیش‌بینی است، درحالیکه موجک‌ها از قاعده‌ی خاصی پیروی نمی‌کنند. (متورک، ۲۰۰۹)

می‌شود. این تبدیل به‌شکل شماتیک در شکل ۴ نشان داده شده‌است.

موجک یک بازه‌ی محدود با میانگین صفر است، درحالیکه فوریه یک تابع سینوسی است که از $-\infty$ تا $+\infty$ گسترده است، اما موجک یک بازه‌ی محدود را شامل می‌-



شکل (۴): نمایش شماتیک تبدیل موجک‌ها

در شکل‌های ۵ و ۶ توابع موج و مقیاس هار نشان داده شده‌است:

دو تابع وجود دارند که نقش اصلی را در آنالیز موجک ایفا می‌کنند، تابع مقیاس ϕ ^۱ و تابع موج ψ ^۲. این دو تابع مجموعه‌ای از توابع را تولید می‌کنند که می‌توانند برای تجزیه یا بازسازی یک سیگنال مورد استفاده واقع می‌شوند. ϕ را موجک پدر و ψ را موجک مادر گویند. (بوگس و نارکوویچ، ۲۰۰۹)

در ادامه دو تابع پایه از مجموعه‌ی وسیع توابع موجکی، که در این مقاله برای تحلیل فراوانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند معرفی می‌شود.

موجک هار^۳

ساده‌ترین آنالیز موجک روی تابع مقیاس هار پایه-ریزی شده‌است. تابع مقیاس هار بصورت زیر نمایش داده می‌شود (عسگری همت، ۱۳۷۹):

$$\phi(x) = 1 \quad x \in [0, 1] \quad (1)$$

$$\phi(x) = 0 \quad \text{در سایر نقاط} \quad (2)$$

موجک هار ناپیوسته بوده و مشابه تابع پله‌ای است. نمایش تابع هار مشابه تابع دوبشی مرتبه‌ی ۱ است. معادلات ۳ تا ۵ نیز تابع موج هار را نشان می‌دهد (متورک، ۲۰۰۹).

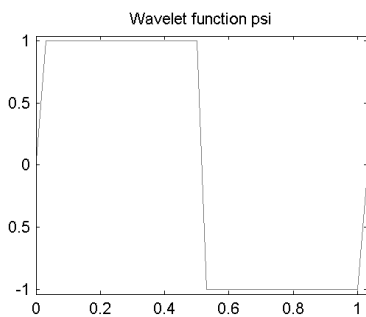
$$\Psi(x) = 1 \quad x \in [0, 0.5] \quad (3)$$

$$\Psi(x) = -1 \quad x \in [0.5, 1] \quad (4)$$

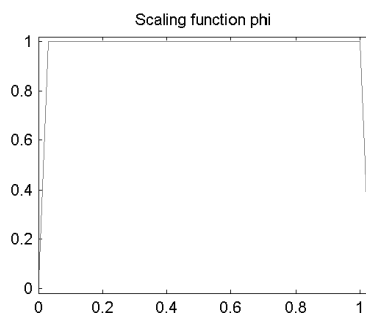
$$\Psi(x) = 0 \quad x \notin [0, 1] \quad (5)$$

موجک دوبشی^۴

قبل از اینکه اینگرید دوبشی^۵ سلسله‌ی موجک‌هایی را که بعداً با نام او نام‌گذاری شدند، کشف کند، این موجک-ها به‌همراه تعدادی دیگر با خواص مشابه تنها موجک‌های



شکل (۵): تابع موج هار



شکل (۶): تابع مقیاس هار

⁴ Daubechies

⁵ Ingrid Daubechies

¹ Scaling Function

² Wavelet Function

³ Haar

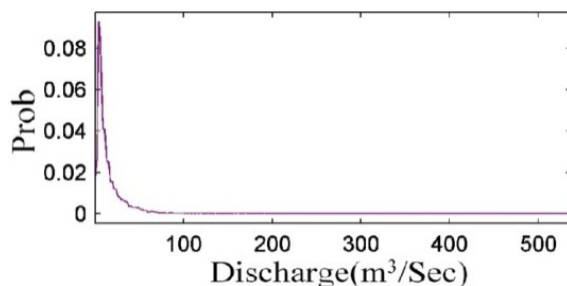
بهینه‌ی تجزیه بسیار مهم است. یکی از نکات مهم و اساسی در انتخاب موجک مادر، طبیعت رخداد پدیده و نوع سری زمانی آن می‌باشد. بنابراین الگوهایی از توابع موجک مادر که بتواند به لحاظ شکل هندسی به خوبی بر منحنی سری زمانی منطبق شود، بهتر می‌تواند عمل نگاشت را انجام دهد و نتایج بهتری خواهد داشت.

در این مقاله علاوه بر اینکه به نکته‌ی فوق توجه می‌شود، یک مطلب مهم دیگر نیز مورد توجه خواهد بود. این موضوع تطبیق شکل تابع چگالی حاصل از مدلسازی موجکی با شکل تابع چگالی احتمال است.

بعد از تعیین نوع موجک مهمترین اقدام تعیین سطح تجزیه است. فرایند تجزیه از نظر تئوری می‌تواند تا بی-نهایت انجام شود، اما در حقیقت فرایند تجزیه تا جایی می‌تواند انجام شود که جزئیات سیگنال شامل یک پیکسل باشد. در تجزیه‌ی یک سیگنال استفاده از حداکثر سطح تجزیه کار عاقلانه‌ای به نظر نمی‌رسد، زیرا تعداد تجزیه‌ی مرتبه‌ی بالاتر اگرچه دقت محاسبات در آموزش شبکه را بالا می‌برد، ولی نتیجه‌ی معکوس روی داده‌های شبیه-سازی شده دارد، دلیل این امر ناشی از منطبق شدن الگوی شبکه به داده‌های آموزش می‌باشد.

در ادامه با توجه به مطالب مطروحه در این بخش و با استفاده از سری‌های معرفی شده در قسمت‌های پیشین، نتایج تحلیل فراوانی ارائه می‌شود.

در صورتیکه از سری زمانی نشان داده شده در شکل ۳ و موجک هار استفاده شود، تابع توزیع چگالی احتمال مربوط به آن، در شکل ۹ نشان داده شده است. در این بخش سطح تجزیه‌ی موجک، یک در نظر گرفته شده است.



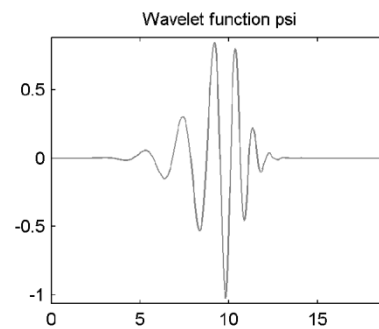
شکل (۹): تابع توزیع چگالی احتمال حاصل از تحلیل موجکی سری زمانی (موجک هار ۱)

بطور مشابه برای دوشی مرتبه‌ی ۱۰، در سطح تجزیه‌ی ۲ هم می‌توان به شکل ۱۰ رسید.

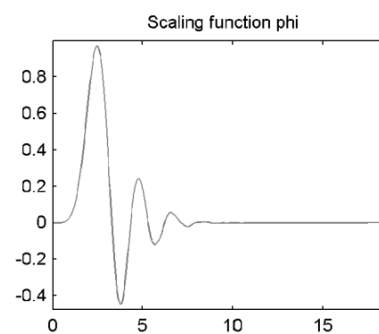
در دسترس بودند. ساده‌ترین آنها دقیقاً موجک هار است که در بین آنها تنها موجک ناپیوسته است. دیگر موجک‌ها در این خانواده پیوسته‌اند (بوگس و نارکوویچ، ۲۰۰۹).

تابع دوشی بصورت dbN نمایش داده می‌شود، که N در آن بیانگر مرتبه^۱ی آن می‌باشد، این خانواده‌ی موجک شامل ساده‌ترین و قدیمی‌ترین موجک (هار) می‌شود. این موجک‌ها، بجز $db1$ (موجک هار) بصورت صریح قابل توضیح نیستند (متورک، ۲۰۰۹).

بیشتر توابع این خانواده متقارن نیستند، اما عدم تقارن برخی از این توابع قابل بیان است. قاعده‌مندی توابع این خانواده با افزایش مرتبه‌ی آن افزایش می‌یابد. ضمناً این خانواده اورتوگونال نیز می‌باشند (متورک، ۲۰۰۹). در شکل‌های ۶ و ۷ تابع موج و مقیاس دوشی مرتبه‌ی ۱۰، نمایش داده شده است.



شکل (۷): تابع موج دوشی مرتبه‌ی ۱۰



شکل (۸): تابع مقیاس دوشی مرتبه‌ی ۱۰

نتایج و بحث

پس از تعیین داده‌های مورد استفاده در روش تبدیل موجک‌ها، دو گام اساسی دیگر پیش از انجام تحلیل فراوانی وجود دارد: تعیین تابع موجک و سطح تجزیه. در استفاده از تبدیل موجک‌ها، تعیین نوع موجک و سطح

^۱ Order

جدول (۳) تحلیل فراوانی سیل با استفاده از توابع موجک هار و دوبشی ۱۰ بر روی سری زمانی ۹۵٪

دوره‌ی بازگشت (سال)	احتمال وقوع	دبی (m ³ /S) هار	دبی (m ³ /S) دوبشی ۱۰
۲	۰/۵	۳۶/۲	۳۶/۰
۱۰	۰/۱	۶۵/۵	۶۵/۳
۲۵	۰/۰۴	۸۹/۲	۸۹/۳
۵۰	۰/۰۲	۱۱۱/۲	۱۱۱/۵
۱۰۰	۰/۰۱	۱۶۰/۲	۱۵۹/۵
۱۰۰۰	۰/۰۰۱	۴۳۶/۱	۲۹۷/۵

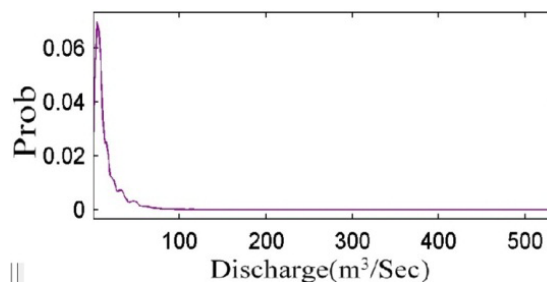
سایر روش‌ها

آنچه تا اینجا ارائه شد، نتایج حاصل از تحلیل فراوانی سیل بر روی رودخانه‌ی پلرود با استفاده از دو تابع موجک هار و دوبشی ۱۰ و تحلیل موجکی، بر روی سری‌های زمانی کامل و ترکیبی بوده‌است. در ادامه نتایج تحلیل فراوانی با استفاده از داده‌های حداکثر سالانه و سری‌های جزئی ایستگاه طول‌لات ارائه می‌شود.

بمنظور تحلیل فراوانی با استفاده از روش‌هایی که در آنها داده‌ها به یک توزیع آماری خاص برازش داده می‌شوند، بررسی شروط استقلال، ایستایی و همگنی داده‌ها الزامیست. تمامی این محاسبات بر روی داده‌های حداکثر سالانه و سری جزئی دبی‌های حداکثر روزانه‌ی ایستگاه طول‌لات که بصورت گرافیکی استخراج شده‌اند، انجام شده و نتایج به‌ترتیب در جدول‌های ۴ و ۵ آورده شده‌است. بررسی شروط فوق با استفاده از آزمون‌های مان-ویتنی^۱ و والد-ولفویتز^۲ صورت گرفته، علاوه بر آن در هر دو مورد، استقلال بصورت گرافیکی نیز بررسی شده‌است.

جدول (۴): نتایج تحلیل فراوانی با استفاده از داده‌های حداکثر سالانه و برازش به توزیع‌های لوگ پیرسون ۳ و نمایی

دوره‌ی بازگشت (سال)	احتمال وقوع	دبی (m ³ /S) لوگ پیرسون ۳	دبی (m ³ /S) نمایی
۲	۰/۵	۹۲/۳	۹۰/۶
۱۰	۰/۱	۲۱۵/۷	۲۴۱/۶
۲۵	۰/۰۴	۳۱۱/۶	۳۲۷/۶
۵۰	۰/۰۲	۴۰۰/۵	۳۹۲/۷
۱۰۰	۰/۰۱	۵۰۸/۵	۴۵۷/۷



شکل (۱۰): تابع توزیع چگالی احتمال حاصل از تحلیل موجکی سری زمانی (دوبشی ۱۰)

نتایج حاصل از تحلیل فراوانی سیلاب بر روی داده‌های سری زمانی کامل (۱۰۰٪) مورد استفاده، با توابع هار و دوبشی ۱۰ در سطوح تجزیه‌ی مورد اشاره در قسمت قبل برای دوره‌های بازگشت مختلف در جدول ۱ ارائه شده‌است.

جدول (۱): تحلیل فراوانی سیل با استفاده از توابع موجک هار و دوبشی ۱۰ بر روی سری زمانی ۱۰۰٪

دوره‌ی بازگشت (سال)	احتمال وقوع	دبی (m ³ /S) هار	دبی (m ³ /S) دوبشی ۱۰
۲	۰/۵	۶/۶۳	۸/۱۳
۱۰	۰/۱	۳۲/۴۹	۳۱/۸۵
۲۵	۰/۰۴	۴۸/۳۸	۴۸/۳۲
۵۰	۰/۰۲	۶۱/۵۸	۶۰/۹۳
۱۰۰	۰/۰۱	۷۶/۴۴	۷۵/۶۳
۱۰۰۰	۰/۰۰۱	۱۸۹/۹	۱۸۹/۰۲

در ادامه نتایج تحلیل‌های فوق به‌ترتیب برای سری‌های زمانی ۸۰٪ و ۹۵٪ در جداول ۲ و ۳ ارائه شده‌است.

جدول (۲): تحلیل فراوانی سیل با استفاده از توابع موجک هار و دوبشی ۱۰ بر روی سری زمانی ۸۰٪

دوره‌ی بازگشت (سال)	احتمال وقوع	دبی (m ³ /S) هار	دبی (m ³ /S) دوبشی ۱۰
۲	۰/۵	۳۱/۳	۳۱/۶
۱۰	۰/۱	۶۰/۴	۶۰/۲
۲۵	۰/۰۴	۸۱/۸	۸۱/۴
۵۰	۰/۰۲	۱۰۱/۵	۱۰۲/۶
۱۰۰	۰/۰۱	۱۳۸/۴	۱۳۸/۶
۱۰۰۰	۰/۰۰۱	۲۹۳/۷	۲۹۳/۷

¹ Man- Witeny

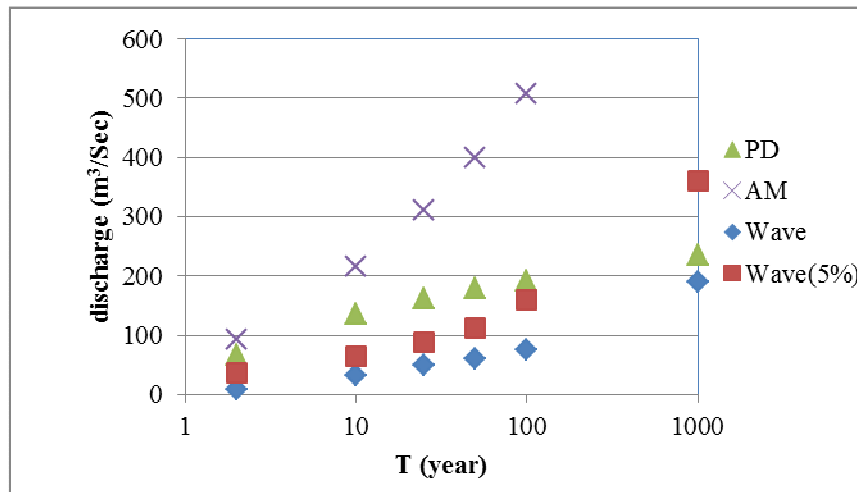
² Wald-Wolfowitz

در انتهای این بخش مقایسه‌ای کلی بین نتایج تمامی روش‌ها صورت خواهد گرفت. شکل ۱۱ بصورت گرافیکی نتایج تمامی روش‌هایی که در این مقاله ارائه شده را نمایش می‌دهد. در این شکل نتایج داده‌های حداکثر سالانه با برازش به توزیع لوگ - پیرسون نوع ۳ ارائه شده و نتایج موجک، در دو حالت مربوط به حالت سری زمانی کامل و همچنین سری زمانی ۵٪ بوده و میانگینی از تحلیل با ۵ تابع موجکی می‌باشد. (هار، دوشی ۳، دوشی ۱۰، سیملت ۴ و کویفلت ۲).
توجه شود که در شکل ۱۱ محور افقی جهت نمایش بهتر تغییرات لگاریتمی ترسیم شده‌است.

جدول (۵): نتایج تحلیل فراوانی با استفاده از داده‌های سری-

های جزئی و برازش به توزیع نرمال		
دوره‌ی بازگشت (سال)	احتمال وقوع	دبی (m^3/S) نرمال
۲	۰/۵	۶۶/۹
۱۰	۰/۱	۱۳۶/۵
۲۵	۰/۰۴	۱۶۲/۰
۵۰	۰/۰۲	۱۷۸/۵
۱۰۰	۰/۰۱	۱۹۲/۳
۱۰۰۰	۰/۰۰۱	۲۳۴/۹

مقایسه‌ی نتایج



شکل (۱۱): مقایسه‌ی گرافیکی نتایج روش‌های مختلف برای تحلیل فراوانی سیل پلرود

نتایج تحلیل حاصل از این سری از مقادیر مشابه در نتایج حاصل از AM کوچکترند.
اما در نتایج حاصل از تحلیل موجکی نیز دقیقاً همان پیشامد قبلی رخ داده، یعنی با ورود تعداد بیشتری داده‌ی کوچک نتایج در حالیکه بسمت دقیقتر شدن حرکت کرده، کوچکتر نیز شده‌است. مشاهده می‌شود وقتی که از سری ۵٪ استفاده شده مقادیر بسیار بزرگتر از حالتی هستند که سری زمانی کامل در تحلیل موجکی مورد استفاده قرار گرفته‌است.

بحث و نتیجه‌گیری

ارائه‌ی روش‌های متعدد در تحلیل فراوانی در طول بیش از نیم قرن گذشته نتوانسته موجب کاهش توجه

تدقیق در نمودار شکل ۱۱ بیانگر مطالب زیر است:

- نتایج تحلیل فراوانی سیل حاصل از داده‌های حداکثر سالانه همانطور که پیش‌بینی می‌شد، دست بالاترین تخمین‌ها را بدست می‌دهد. این موضوع در مورد داده‌های پلرود که توزیع نمایی داشته و در سری زمانی مربوط به داده‌های حداکثر سالانه‌ی آن تنها ۰/۰۶٪ از داده‌ها بیش از ۲۰۰ مترمکعب برثانیه بوده و این تعداد داده در سال‌های مختلف پخش شده‌اند، آشکارتر می‌شود.
- در سری جزئی با توجه به اینکه تعداد داده‌های مورد استفاده حدود سه برابر داده‌هایی است که در سری AM استفاده شده و تقریباً تمامی داده‌هایی که اضافه شده‌اند از داده‌های سری AM کوچکترند، در نتیجه همانطور که انتظار می‌رود

مطالعات پیشین نشان می‌دهد (راو، ۲۰۰۰) روش‌های آماری فرضیات غلط بسیاری داشته و برغم آنکه نتایج بزرگی بدست می‌دهند پاسخ آنها قرین واقعیت نیست.

در هر حال پژوهشگر، محقق یا مجری هر پروژه‌ای بایستی با دقت بسیار و مطالعه‌ی هیدرولوژیکی حوضه‌ی هدف و همچنین داده‌های در اختیار بهترین روش را انتخاب کند.

تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت کمیته‌ی تحقیقات سازمان آب منطقه‌ای گیلان و با کد GIW89021 به انجام رسیده‌است.

محققین و پژوهشگران به این شاخه از مطالعات هیدرولوژیکی شود، که این موضوع خود به تنهایی حکایت از اهمیت آن دارد.

مجموع نتایج این مقاله بیانگر آنست که هرگاه تعداد داده‌های کوچک بسیار زیاد شود، مدل ساخته شده نتایج تحلیل کوچکتري را بدست خواهد داد. در مجموع می‌توان گفت وقتی کثرت داده‌های کوچک بسیار زیاد بوده و داده‌های بزرگ به‌ندرت واقع شوند، بسته به هدف مطالعه می‌توان از روش‌های مختلف استفاده کرد. اما در مواردیکه توزیع داده‌ها نسبتاً یکنواخت بوده و یا فقط یک مجموعه داده‌ی بسیار کوچک دارد موجک می‌تواند پاسخ‌هایی بسیار دقیق را ارائه کند. توجه شود که همانطور که

منابع

۱. دفتر مطالعات پایه. ۱۳۸۹. سازمان آب منطقه‌ای گیلان.
۲. شامکوئیان، ح؛ قهرمان، ب؛ داوری، ک؛ سرمد، م. ۱۳۸۸. تحلیل فراوانی سیلاب منطقه‌ای با استفاده از تئوری گشتاورهای خطی و سیلاب نمایه در حوضه‌های آبریز استان‌های خراسان، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۳، شماره ۱، ص ۳۱-۴۳.
۳. عسگری همت، ع. ۱۳۷۹. آشنایی با موجکها. آذرخش، تهران.
4. Boggess, A; Narcowich, F. J. 2009 A First Course in wavelets with Fourier Analysis, John Wiley, New Jersey.
5. Box, G. E. P; Cox, D. R. 1964. An Analysis of Transformations. Journal of the Royal Statistical Society, 127(B):211-252.
6. Burn, D. H; Zrinji, Z; Kowalchuk, M. 1997 Regionalization of Catchments for Regional Flood Frequency Analysis. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 2(2):76-82.
7. Chou, C. M. 2007. Efficient Nonlinear Modeling of Rainfall-Runoff Process Using Wavelet Compression. Journal of Hydrology, 332(3-4):442-455.
8. Chow, V. T; Maidment, R; Mays, W. 1988. Applied Hydrology. Mc Graw-Hill, New York: 380-415.
9. Griffis, V. W; Stedinger, G. R. 2007. Log-Pearson Type 3 Distribution and Its Application in Flood Frequency Analysis. I: Distribution Characteristic. Journal of Hydrologic Engineering ASCE, 12(5): 482-491.
10. Lecrec, M; Ouarda, T.M.B.J. 2007. Nn-Stationary Regional Flood Frequency Analysis at Ungauged Sites. Journal of Hydrology, 343(1-2):254-265.
11. Ozger, M; Mishra, A.K ;Singh, V. P. 2010. Scaling Characteristics of Precipitation Data in Conjunction with Wavelet Analysis. Journal of Hydrology, 395(3-4): 279-288.
12. Partal, T ; Kisi, O. 2007 Wavelet and Neuro-Fuzzy Conjunction Model for Precipitation Forecasting. Journal of Hydrology, 342(1-2):199-212.
13. Rao, A. R; Hamed, K. H. 2000 Flood Forecasting Analysis. Dehli.
14. Rossi, A; Massei, N; Laignel, B; Sebag, D; copard, Y. 2009. The response of Mississipi River to Climate Fluctuations and Reservoir Construction as Indicated by Wavelet Analysis of streamflow and suspended-Sediment load. Journal of Hydrology, 377(3-4): 237-244.
15. Saf, B. 2009. Regional Flood Frequency Analysis Using L Moments for the Buyuk and Kucuk Menderes. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 14(8) 783-794.
16. Schaeffli, B; Maraun, D; Holschneider, M. 2007 What Drives High Flow Events in the Swiss Alps? Recent Developments in Wavelet Spectral Analysis and their Application to Hydrology, advances in water resources, 30(12):2511-2525.
17. Shu, C; Ouarda, T. B. M. J. 2008. Regional Flood Frequency Analysis at Ungauged Sites Using the Adaptive Neuro-Fuzzy Interface System. Journal of Hydrology, 349(1-2):31-43.
18. Srinivas, V. V; Tripath, S; Ramachandra Rao, A; Gorindaraju, R. S. 2008. Regional Flood Frequency Analysis by Combining Self-Organizing Feature Map and Fuzzy Clustering. Journal of Hydrology, 348(1-2):148-166.
19. Subramanya, K. 2008. Engineering Hydrology, Mc Graw-Hill.
20. The MathWorks. 2009. MATLAB, Version 7.8.0.347(R2008), Wavelet toolbox.

Flood Frequency Analysis Using Wavelet Transform (Case Study: Polroud River)

S. Shahaaby¹, M. Hessami Kermani², A. Hosseynnezhad, Ba. Panalizadeh³

Abstract

Inattention to flood frequency analysis (FFA) can cause irreparable damages. Thus, increasing accuracy in this area has been considered by various researchers. In this paper, data observed over a period of 52 years in Polroud River are used in frequency analysis. FFA has been performed using two different wavelet functions (Haar and daubechies3) and results are presented. In two stages, data less than 80% and 95% of the smallest annual maximum (AM) data are removed to reduce the impact of very small data in wavelet model. Then FFA using partial duration (PD) series and AM series has been performed with fitting different statistical distributions to data and results are compared with wavelet analysis. Results comparison between wavelet, AM and PD methods indicates this very important point that the accuracy of analysis and the selection of method are mostly based on the nature of data and study area. In Polroud basin, AM series method overestimates the results because just 0.06 percent of data are more than 200 m³/sec and 10 data are between 200 to 537 m³/sec.

Keywords: flood frequency analysis, normal distribution, Polroud River, wavelet transform.

¹ Department of Civil Engineering, Javid University, Jiroft, I.R. Iran., sajad.shahaaby@gmail.com

² Assistant Professor, Bahonar University of Kerman, masoud.hessami@gmail.com

³ Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Branch of Roudsar and Amlash, Roudsar, I.R. Iran., azizhn@yahoo.com