

## ارزیابی قابلیت تابع انرژی موجک در تخمین ریسک سیلاب در مقایسه با برخی روش‌های متداول

سجاد شهابی\*<sup>۱</sup> - محمدجواد خانجانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۵/۴

### چکیده

در این مقاله روشی برای برآورد ریسک وقوع سیلاب، در مواردی که فرض استقلال داده‌ها اهمیت نداشته یا قابل بررسی نباشد ارائه می‌شود. در مطالعه‌ی حاضر، یک مدل تبدیل موجک با استفاده از تابع انرژی برای برآورد ریسک سیلاب توسعه داده شده است. این کار با استفاده از داده‌های دبی حداکثر روزانه‌ی ایستگاه هیدرومتری طول‌لات واقع بر رودخانه‌ی پلرود در شرق استان گیلاندر فاصله‌ی سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۸۶ انجام شده است. در این مطالعه نتایج روش انرژی موجک با روش‌های چگالی موجک، حداکثر سالانه و سری‌های جزئی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که برآورد ریسک سیلاب با استفاده از تابع انرژی موجک مقادیر بزرگتری را نسبت به تابع چگالی ارائه کرده، اما در مقایسه با نتایج روش‌های سنتی همچون حداکثر سالانه، مقادیر کوچکتری را به دست می‌دهد. برای مثال در دوره‌ی بازگشت ده ساله میزان تخمین از کمتر از ۱۰ مترمکعب در ثانیه برای تابع چگالی به حدود ۹۵ مترمکعب در ثانیه با استفاده از تابع انرژی موجک افزایش یافته است. در پایان این مقاله نشان می‌دهد که شرایط هیدرولوژیکی حوضه و طبیعت داده‌ها مهمترین پارامترها در بهتر کردن نتایج برآورد ریسک سیلاب و انتخاب بهترین روش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تبدیل موجک، رودخانه‌ی پلرود، سری زمانی

### مقدمه

برآزش یک توزیع مشخص به آنها انجام می‌شود، بدین ترتیب با توجه به اینکه حداکثر سیلاب از سالی به سال دیگر متفاوت است، این مقادیر مستقل از یکدیگر بوده و قابل استفاده در روش‌های آماری متداول در برآورد ریسک سیلاب هستند (۷). بیشتر روشهایی که برای برآورد ریسک سیلاب صورت می‌گیرند بر مبنای توزیع‌های آماری تعریف شده‌اند که تعدادی از آن‌ها در مرجع‌چاو و همکاران (۷) ارائه شده است.

در شش دهه‌ی اخیر مطالعات مختلفی بر روی روش‌های متعدد برآورد ریسک سیلاب و زمینه‌های مرتبط با آن صورت گرفته است. این مطالعات دامنه وسیعی از روش‌های سنتی همچون حداکثر سالانه (۷ و ۲۲) و سری‌های جزئی (۷) تا روش‌های جدیدتری همچون روش ترکیبی خصوصیات خود سازمان یافته و خوشه‌بندی فازی (۱۹)، تحلیل فراوانی منطقه‌ای (۹، ۱۱ و ۱۷) را دربرمی‌گیرد. عنوان اخیر خصوصاً در دو دهه‌ی اخیر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. در ادامه مهمترین مطالعاتی که در زمینه‌ی برآورد ریسک سیلاب توسط محققین مختلف ارائه شده است ارائه می‌گردد.

راسی (۱۵) در مقاله خود روش‌های مبتنی بر بزرگی سیلاب را که در بسیاری از کشورهای جهان انجام شده و یا در حال انجام است مورد بررسی قرار داد.

سیستم‌های هیدرولوژیکی، اغلب تحت تأثیر پدیده‌های حدی همچون طوفان، سیلاب و دوره‌های خشکسالی یا ترسالی هستند که می‌توانند زیان‌های جانی و مالی جبران ناپذیری را به همراه داشته باشند. برآورد ریسک سیلاب نقشی اساسی و بسیار مهم در کاهش این خسارات دارد. در نیم قرن اخیر روش‌های متعددی جهت برآورد ریسک سیلاب توسط محققین مختلف ارائه شده (۱، ۲، ۳ و ۴) و همچنان روش‌های جدیدی در این شاخه از علم هیدرولوژی ارائه می‌گردد که بیانگر اهمیت این موضوع است. بطور کلی هدف از برآورد ریسک سیلاب، یافتن ارتباطی میان دوره‌های بازگشت، فراوانی وقوع و بزرگی سیلاب است. در بسیاری از مطالعاتی که در این زمینه انجام شده است، شرط استقلال داده‌ها شرطی ضروری است.

در واقع داده‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در برآورد ریسک سیلاب باید فرض استقلال و یکنواخت بودن توزیع داده‌ها را برآورده کنند. در عمل این کار معمولاً با انتخاب داده‌های حداکثر سالانه و

۱ و ۲- دانشجوی دکتری و استاد گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

(\*- نویسنده مسئول: (Email: sajad.shahaaby@gmail.com)

کرده‌اند (۱۱ و ۱۹).

روش دیگری که در این شاخه از علم هیدرولوژی مطرح است سیستم استنتاج فازی (FES)<sup>۵</sup> می‌باشد. کارایی این روش با تنظیم توابع عضویت دستگاه‌های فازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهبود می‌یابد (۱۸).

در خصوص کاربرد موجک‌ها در هیدرولوژی، سانگ (۱۶) به مرور روش‌ها و تحقیقات مختلفی که با استفاده از موجک انجام شده پرداخته و کاربرد آنها را در هیدرولوژی از شش جنبه‌ی مختلف مورد توجه قرار داده است.

آداموسکی (۳) با استفاده از تبدیل موجک و مجموعه‌ی بزرگی از داده‌های بارش ماهانه‌ی ۴۳ ایستگاه در تگزاس، به بررسی تغییرات مکانی در خصوصیات چند مقیاسی دوره‌های تر و خشک پرداخته است. داده‌های بارش در میان ایستگاه‌های متعدد و پراکنده، که شامل تعداد زیادی داده می‌شد، با استفاده از رویکردی چند مقیاسی تحلیل شد. نقشه‌های طیفی موجک رفتار مقیاسی ایستگاه‌های مختلف را تفسیر می‌کردند. بدین ترتیب در ایستگاه‌ها، رفتار دوره‌های خشک و تر شناسایی شد. در مقاله‌ی دیگری، آداموسکی و چان (۴) یک روش موجک- شبکه‌ی عصبی را برای پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی ارائه نمودند. تحقیق آنها نشان می‌دهد که این روش ترکیبی دقت بیشتری را نسبت به مدل‌های شبکه‌ی عصبی تنها و یا آریمه ارائه می‌کند.

محققین دیگری جهت به انجام رساندن پیش‌بینی سری‌های زمانی فاقد استقلال از رویکرد تجزیه‌ی حالت تجربی (EMD)<sup>۶</sup> و موجک بر مبنای سری‌های زمانی استفاده کرده‌اند (۱، ۲، ۳ و ۴). آنها سری زمانی را به مؤلفه‌های تجزیه نمودند. مطالعه‌ی آنها نشان می‌دهد که استفاده از مدلی مبنی بر موجک، نتایج بهتری و قابلیت بالاتری را نسبت به یک مدل بر پایه‌ی تجزیه‌ی حالت تجربی ارائه می‌کند (۱۰).

بررسی خسارات سیلاب‌های اخیر در سراسر جهان، آثار بی‌توجهی به این پدیده‌ی طبیعی و یا اشتباه در برآورد آن را نشان می‌دهد. از این رو بسیاری از محققین در دهه‌های اخیر کوشیده‌اند تا با ارائه‌ی روش‌های کارآمدتر نتایج برآورد ریسک سیلاب را بهبود بخشند. هدف اساسی این مقاله نیز، ارائه‌ی یک مدل جدید در بند پیش با بیان ۴ مرجع ادعا کردی که دیگران نشان دادند که روش موجک در بررسی سری زمانی (و طبیعتاً سیلاب) کارا است. بنابراین شما چه کار جدیدی می‌خواهی انجام دهی؟ روش موجک را می‌خواهی اصلاح کنی؟ (ادعا نکردی که روش موجک که دیگران انجام داده‌اند نامارامد است). پس نوآوری مشخص این مقاله چی است؟ کارا است موجکی برای داده‌های غیر مستقل (در حالت کلی وقتی استقلال داده-

بر اساس مطالعات ویلارینی و همکاران (۲۲) برآورد ریسک سیلاب در حوضه‌های شهری با عدم استقلال دبی‌های اوج ثبت شده‌ی سالانه‌ی مرتبط با تغییر کاربری زمین و رشد زیرساخت‌های فاضلاب‌های سطحی، پیچیده‌تر می‌شود. آن‌ها چارچوبی برای مدل‌های سازگار توسعه یافته برای موقعیت، مقیاس و پارامترهای شکل (GAMLSS)<sup>۱</sup> به‌عنوان ابزاری برای مدلسازی سری‌های زمانی تحت شرایط عدم استقلال، توسعه دادند. GAMLSS برای رگردهای حداکثر سالانه‌ی حوضه‌ای در یونان که به شکل گسترده‌ای ساختار شهری داشت بکار رفت. نتایج این مطالعه قابلیت GAMLSS را در توصیف تغییرات در متوسط اختلاف در پیک‌های حداکثر سالانه با مدلسازی پارامترهایی که در توزیع انتخاب شده‌اند، همچون تابع زمان با مرتبه‌ی سوم اس‌پی‌لاپین‌ها نشان داد (۲۲).

برآورد منطقه‌ای سیلاب نیز به‌عنوان روشی استاندارد برای تعریف چندک‌های سیلاب در موقعیت‌های اندازه‌گیری نشده و یا سایت‌های با رکوردهای ثبت شده‌ی کوتاه می‌باشد. این روش به وفور در دهه‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته و محبوب‌ترین روش برای انجام برآورد ریسک سیلاب در حوضه‌هایی است که داده‌های کافی ندارند. حداد و رحمان (۹) در ارتباط با برآورد ریسک منطقه‌ای، رویکرد رگرسیون حداقل مربعات تعمیم یافته‌ی بیزین (BGLS)<sup>۲</sup> را با استفاده از یک چارچوب ثابت و تأثیر منطقه‌ای (BGLS)<sup>۳</sup> که به‌نظر می‌رسد واریانس خطاهای مدل بیزین را حداقل می‌کند، مورد استفاده قرار دادند.

شو و اوآردا (۱۷) روشی را با استفاده از سیستم‌های فازی - عصبی تطبیق‌پذیر (ANFIS)<sup>۴</sup> برای تخمین چندک سیلاب در سایت‌های اندازه‌گیری نشده ارائه کرده‌اند. این محققین معتقدند که می‌توان ارتباطی منطقه‌ای برای تخمین بزرگی سیلاب در سایت‌های اندازه‌گیری نشده و یا ضعیف اندازه‌گیری شده با استفاده از روش برآورد ریسک سیلاب منطقه‌ای ارائه کرد. در مطالعه‌ی مذکور روش منطقه‌ای کردن با استفاده از میانگین فازی، گشتاور ۱ و شبکه‌ی عصبی مصنوعی انجام شده است.

برخی دیگر از محققین نیز بر روی برآورد ریسک سیلاب منطقه‌ای با روش‌های دیگر همچون سیلاب شاخص و نقشه‌ی خصوصیات خود سازمان یافته‌ی ترکیبی و همچنین برآورد ریسک سیلاب منطقه‌ای غیرمستقل را برای سایت‌های اندازه‌گیری نشده ارائه

- 1- Generalized Adaptive Models for Location, Scale and Shape parameters
- 2- Bayesian Generalized Least Squares
- 3- Region-Of-Influence
- 4- Adaptive Neuro-Fuzzy Interface Systems

5- Fuzzy Expert System

6- Empirical Mode Decomposition

۱۷۶۵ کیلومتر مربع است. شکل ۱ تصویر ماهواره‌ای پلرود و ۲ ایستگاه هیدرومتری واقع بر آن را نشان می‌دهد.

رودخانه‌ی پلرود ۲ شاخه‌ی اصلی دارد. این دو شاخه در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. علاوه بر آن دو ایستگاه هراتبر و طول‌لات نیز در شکل نشان داده شده‌اند. اطلاعات بیشتر در ارتباط با حوضه‌ی پلرود و این دو ایستگاه در جدول ۱ و جدول ۲ ارائه شده است.

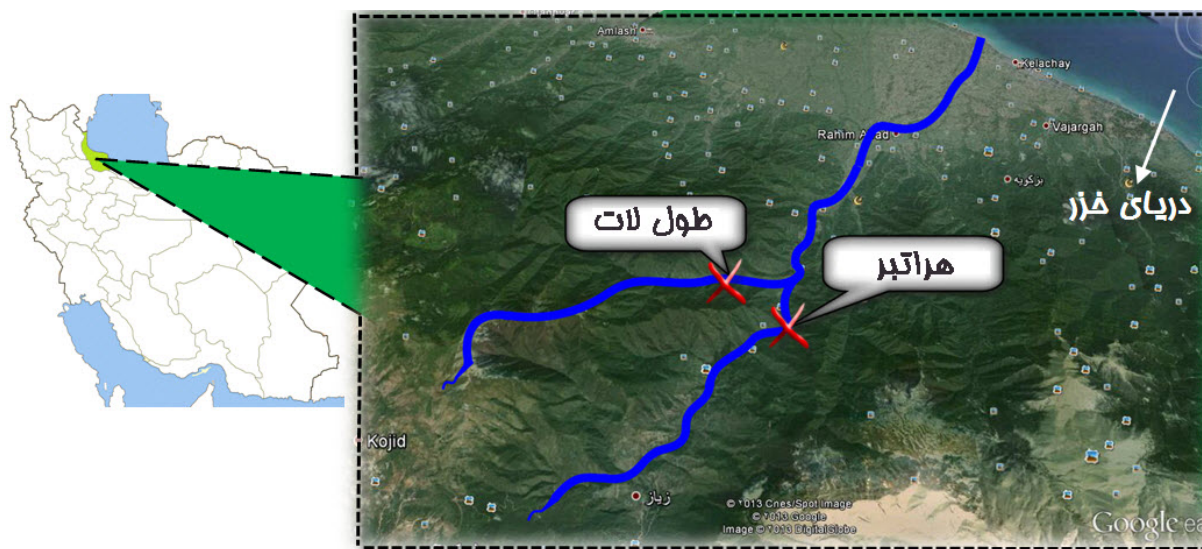
میانگین و انحراف معیار سری زمانی کامل ۳۲ ساله‌ی مورد استفاده در تبدیل موجکی، به ترتیب برابر ۱۵/۷۵ و ۱۷/۸۵ مترمکعب برثانیه است. از این سری در برآورد ریسک با استفاده از تابع انرژی و تابع چگالی استفاده شده است. علاوه بر آن نتایج تحلیل با استفاده از تابع چگالی موجک و دو سری ترکیبی که در این مقاله سری ۸۰٪ و ۹۵٪ خوانده می‌شود نیز ارائه شده است.

ها مهم نبوده چیزی را که در مقدمه به آن به خوبی پرداخته نشده است را مجاز نیستی در هدف استفاده کنی. در خصوص مستقل بودن/نبودن مطالبی در مقدمه نداری و یا در دسترس نیست) جهت برآورد ریسک سیلاب با دقت بیشتر می‌باشد. علاوه بر این، نتایج مدل موجکی ارائه شده در این مطالعه با سایر روش‌های متداول (حداکثر سالانه و سری‌های جزئی) و همچنین روش چگالی موجک ایضا این روش مقایسه خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### توصیف حوضه‌ی رودخانه‌ی پلرود

رودخانه‌ی پلرود بزرگترین رودخانه در منطقه‌ی شرق گیلان است. طول رودخانه‌ی پلرود ۵۱ کیلومتر و مساحت حوضه‌ی آن



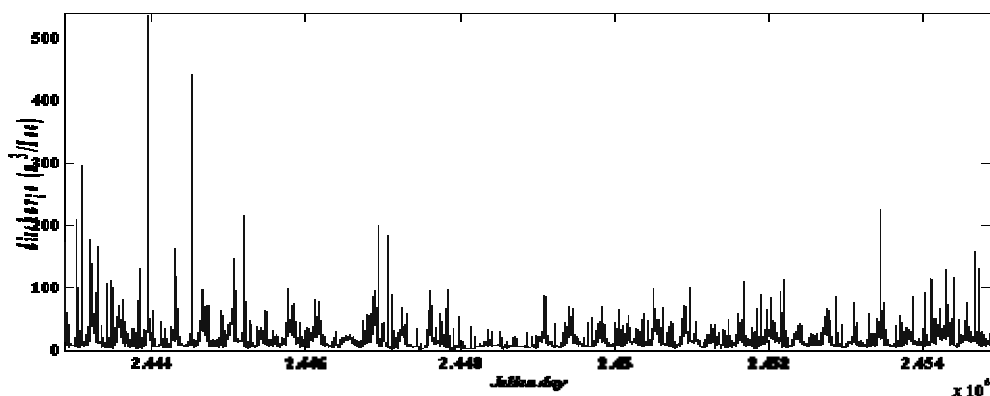
شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای از پلرود و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری واقع بر آن

### جدول ۱- خصوصیات رودخانه‌ی پلرود و حوضه‌ی آن.

| ویژگی                                   | کمیت/توصیف            |
|---|-----------------------|
| طول                                     | ۵۱ کیلومتر            |
| مساحت حوضه                              | ۱۷۶۵ کیلومتر مربع     |
| سرچشمه                                  | دامنه‌های جنوبی البرز |
| مصب رودخانه                             | دریای خزر             |
| آورد سالانه‌ی متوسط در دوره مورد مطالعه | ۴۷۲ میلیون متر مکعب   |

### جدول ۲- خصوصیات ایستگاه‌های واقع بر پلرود (۱)

| رودخانه (شاخه) | ایستگاه | ارتفاع (متر) | تأسیس | مساحت حوضه (km <sup>2</sup> ) | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی |
|----------------|---------|--------------|-------|-------------------------------|---------------|---------------|
| پلرود          | طول‌لات | ۱۱۳          | ۱۳۳۵  | ۱۵۷۴                          | ۵۰° ۱۷' ۳۰"   | ۳۶° ۵۹' ۴۱"   |
| سموش           | هراتبر  | ۱۲۳          | ۱۳۳۶  | ۱۱۵                           | ۵۰° ۱۸' ۱۱"   | ۳۶° ۵۹' ۵۳"   |



شکل ۲- سری زمانی کامل غیر ضروری. به جای آن در مورد خود سری زمانی توضیح بده



شکل ۳- نمایش شماتیک تبدیل موجک (۲۲)

موجک انجام شده است. بدین منظور یک سری زمانی از داده‌های دبی حداکثر روزانه شامل ۱۲۰۲۲ داده‌ی دبی استخراج شد. شکل ۲ این سری زمانی را نشان می‌دهد. محور افقی در این شکل براساس تاریخ ژولین روز ۱ را مشخص کن که بر مبنای تاریخ دقیق چه روزی است و محور قائم دبی برحسب مترمکعب برثانیه است. در این مقاله از نرم‌افزار MATLAB نسخه‌ی ۷/۸، سال ۲۰۰۹ (۲۰) بمنظور تحلیل در تمامی روش‌ها استفاده شده است. علاوه بر کدنویسی جهت بررسی موارد متداول آماری همچون بررسی استقلال، ایستایی و همگنی داده‌ها و همچنین برنامه‌نویسی جهت برآورد ریسک سیلاب با استفاده از روش‌های متداول مورد اشاره در این مقاله (حداکثر سالانه و سری‌های جزئی)، محاسبات و کنترل‌های روش پیشنهادی این نوشتار، با استفاده از دستورات و توابع تحلیل موجک شامل توابع پایه (هار، دوشی و ...)، تجزیه و بازسازی سری‌های زمانی، سطوح تجزیه و ... استفاده شده است. بخشی از جعبه ابزار موجک<sup>۱</sup> این نرم-افزار نیز استفاده شده، اما بخش قابل ملاحظه‌ای از نتایج با استفاده از کدنویسی در قالب MATLAB حاصل شده است، چون جعبه‌ابزار مذکور بسیاری از قابلیت‌های مورد نیاز جهت استخراج سری مورد استفاده در برآورد ریسک سیلاب، مانند استخراج سری تقریبی مورد استفاده در تخمین ریسک را ندارد. اصول ریاضی را از مرجع ۵ گرفتی؟ تصریح کن

منظور از دو سری فوق سری‌هایی هستند که از سری کامل نشان داده شده در شکل ۴ با حذف تمامی داده‌های کوچکتر از ۸۰٪ (۲۱/۷ مترمکعب بر ثانیه) و ۹۵٪ (۲۵/۸ مترمکعب بر ثانیه) کوچکترین دبی حداکثر سالانه‌ی واقع در سری کامل حاصل شده است. مقادیر میانگین و انحراف معیار سری اول به ترتیب ۱۵/۷۵ و ۱۷/۸۵ متر مکعب برثانیه و سری دوم ۴۰/۱۷ و ۲۶/۰۲ مترمکعب برثانیه است.

### تبدیل موجک

تبدیل موجک به دنبال ناکارایی تبدیل فوریه در وارد کردن پارامتر زمان و با توجه به محدودیت‌های گسترده‌ی آن در دهه‌های اخیر کاربرد گسترده‌ای در علوم یافته است. این موضوع خصوصاً در دو دهه‌ی اخیر در هیدرولوژی هم ورود یافته است. شکل شماتیک تبدیل موجک مطابق شکل ۳ می‌باشد.

مبانی نظری و ریاضی محض موجک‌ها به تفصیل در مرجع (۵) آورده شده است. مراجع (۲۱) در کجای مرجع ۲۱ باید دنبال توضیحات مناسب گشت؟) و (۵) نیز به ترتیب توابعی را که در این مقاله به منظور برآورد ریسک سیلاب مورد استفاده قرار گرفته‌اند (هار و دوشی) و همچنین نمونه‌ای از کاربرد موجک‌ها در هیدرولوژی را به-طور مشروح بیان می‌کنند.

### روش انجام کار

در این مطالعه برآورد ریسک سیلاب با استفاده از تابع انرژی

1- Wavelet Toolbox

سالانه و سری جزئی مقایسه می‌شود.

## نتایج و بحث

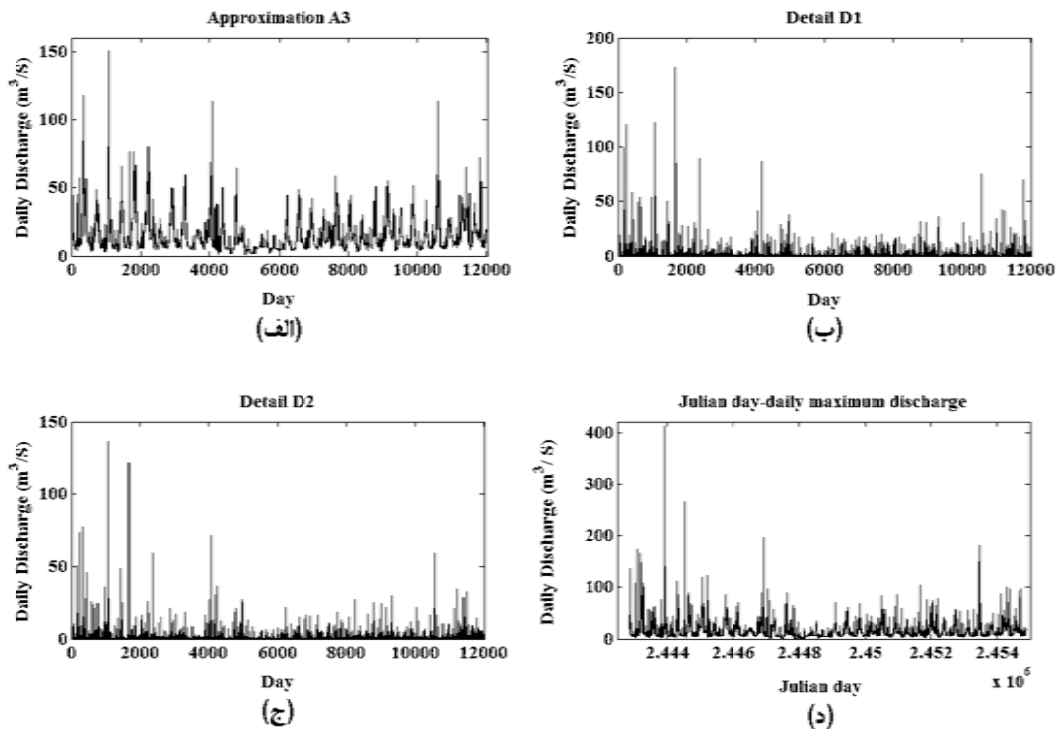
در این بخش، نتایج حاصل از برآورد ریسک سیلاب بر روی حوضه‌ی رودخانه‌ی پلرود ارائه شده است. در این قسمت بر روی روش تابع انرژی موجک بطور شاخص بحث شده است.

### نتایج حاصل از تابع انرژی موجک

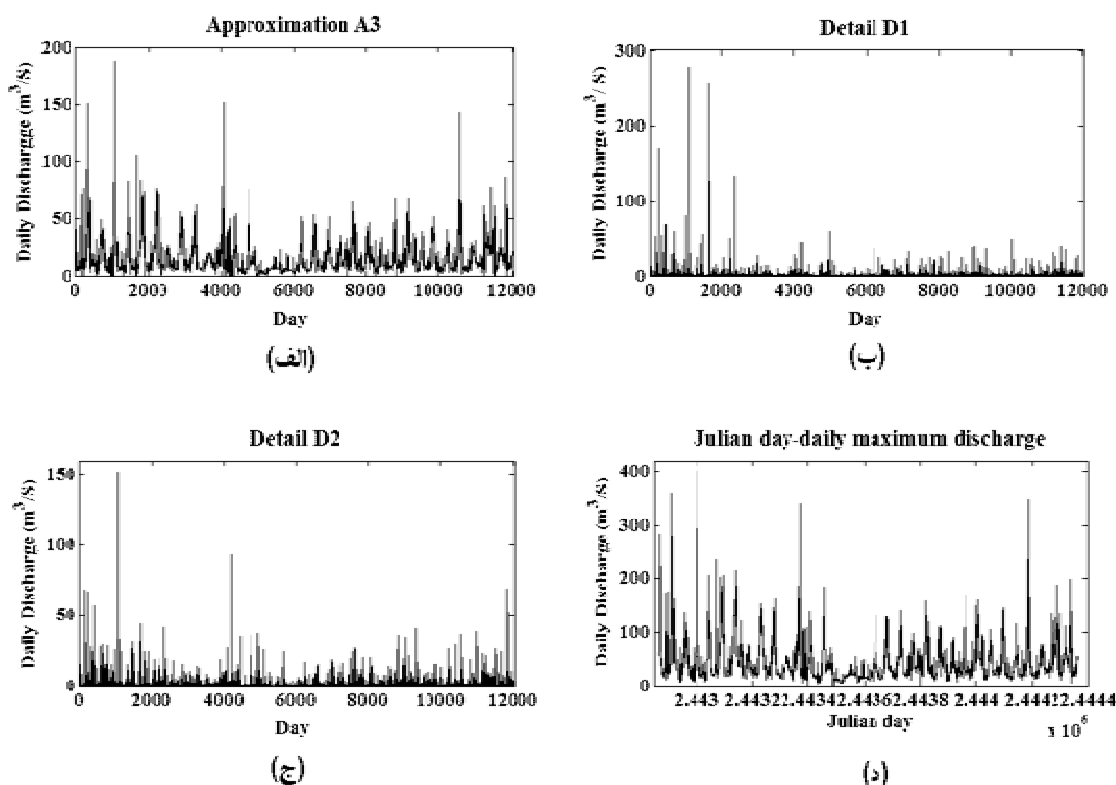
سری زمانی کاملی که در مراحل گذشته استخراج شد، برای تحلیل با تابع انرژی موجک به کار می‌رود. در گام نخست باید سری زمانی مذکور تجزیه شود، اما پیش از این کار الزامیست که توابع موجکی که جهت تجزیه به کار می‌رود، انتخاب شوند، این کار با توجه به طبیعت ماهیت سری اولیه و تطابق آن با توابع موجک موجود انجام خواهد شد. با توجه به این موارد در مطالعه‌ی حاضر توابع هار به جهت سادگی و دوشبی ۳ به‌خاطر تطبیق مناسب به سری کامل اولیه انتخاب شده است. شکل ۴ و شکل ۵ تجزیه‌ی سری اولیه با استفاده از توابع هار و دوشبی مرتبه‌ی ۳ را نشان می‌دهد. در دو شکل محور افقی بیانگر روز (از ابتدای دوره) و محور قائم نشان دهنده‌ی مقدار دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه است. یادآور می‌شود که در مورد سری اصلی محور افقی بر حسب تقویم ژولین نمایش داده شده است.

پس از ساخت سیگنال سیگنال را تعریف نکرده‌ای، گام بعدی انتخاب تابع موجک و سطح تجزیه‌ی آن است. وقتی از تبدیل موجک استفاده می‌شود انتخاب تابع موجک و سطح تجزیه‌ی آن مهمترین پارامترها در تحلیل هستند. انتخاب تابع موجک براساس طبیعت پدیده و شکل سیگنال اولیه صورت می‌گیرد، بنابراین هر تابع موجک مادری که از نظر هندسی تطابق بهتری با سیگنال اولیه داشته باشد نتایج بهتری را ارائه خواهد کرد. بعد از انتخاب تابع موجک، نکته‌ی مهم بعدی انتخاب سطح تجزیه است. در روش انرژی طبق نظر از گر سری‌های زمانی به زیر سری‌های خود با استفاده از موجک تجزیه می‌شوند (۱۲). از منظر تئوری تجزیه‌ی سری‌ها می‌تواند تا بینهایت ادامه داشته باشد، اما در واقع فرایند تجزیه‌ی سیگنال فقط تا جایی ادامه پیدا می‌کند که سیگنال جزئیات شامل یک پیکسل شود. در تجزیه‌ی یک سیگنال حداکثر سطح تجزیه نمی‌تواند صحیح باشد، چون هرچند دقت در محاسبات را افزایش می‌دهد اما می‌تواند دچار بیش برآزش شده و نتایج غیرواقعی ارائه دهد.

در روش تابع انرژی وقتی سری زمانی تجزیه شد (بسته به سطح تجزیه)، سیگنال‌های جزئیات حذف شده و سیگنال تقریب جهت برآورد ریسک سیلاب بکار می‌رود. در این مقاله توابع مادر هار و دوشبی جهت تجزیه و تحلیل مدل استفاده می‌شوند. در پایان این مطالعه نتایج تابع انرژی موجک با نتایج تابع چگالی موجک تعریف نکردی چی است و همچنین روش‌های سنتی‌تر همچون حداکثر



شکل ۴- نتایج تجزیه‌ی سری زمانی با استفاده از تابع هار تا ۲ سطح تجزیه



شکل ۵- نتیجه‌ی تجزیه‌ی سری زمانی تا ۳ سطح با استفاده از تابع دوبشی ۳

از شکل ۲ فوق جزئیات حذف شده و مقادیر تقریب جهت تحلیل فراوانی بکار می‌رود. جدول ۳ این نتایج را ارائه می‌کند.

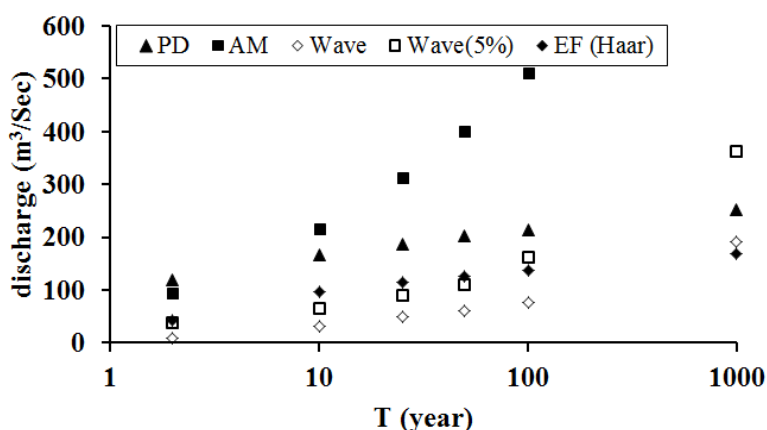
**جدول ۳- نتایج برآورد ریسک سیلاب با استفاده از تابع انرژی موجک**

| دبی (m <sup>3</sup> /sec) |        | احتمال بازگشت | دوره‌ی بازگشت (سال) |
|---------------------------|--------|---------------|---------------------|
| دوبشی ۳                   | هار    |               |                     |
| ۴۴/۸۱                     | ۴۴/۵۴  | ۰/۵           | ۲                   |
| ۹۷/۶۴                     | ۹۵/۸۹  | ۰/۱           | ۱۰                  |
| ۱۱۶/۹۸                    | ۱۱۴/۶۹ | ۰/۰۴          | ۲۵                  |
| ۱۳۹/۴۷                    | ۱۲۶/۸۴ | ۰/۰۲          | ۵۰                  |
| ۱۴۰/۷۱                    | ۱۳۷/۷۶ | ۰/۰۱          | ۱۰۰                 |
| ۱۷۲/۲۰                    | ۱۶۸/۳۸ | ۰/۰۰۱         | ۱۰۰۰                |

جدول ۴، ۵ و ۶ نتایج تحلیل فراوانی داده‌های دبی پلرود با استفاده از توابع هار و دوبشی ۱۰ چگالی موجک را به ترتیب برای سری‌های کامل (۱۰۰ درصد)، ۸۰ درصد و ۹۵ درصد ارائه می‌کنند. در ادامه نتایج برآورد ریسک سیلاب با استفاده از روش‌های حداکثر سالانه و سری‌های جزئی ارائه خواهد شد. به منظور تحلیل با این روش‌ها، داده‌های استخراج شده به یک توزیع برازش داده می‌شود. توجه شود که در صورت استفاده از این روش‌ها، بررسی شروط استقلال، ایستایی و همگنی داده‌ها ضروریست.

### نتایج حاصل از سایر روش‌ها

برآورد ریسک سیلاب با استفاده از روش‌های متداولی مانند حداکثر سالانه و سری‌های جزئی کاملاً شناخته شده بوده و در مراجع پایه‌ی هیدرولوژیکی آورده شده است (۷). همچنین برآورد ریسک سیلاب رودخانه‌ی پلرود با استفاده از تابع چگالی موجک، (که البته مفاهیم پایه‌ی آن جهت برآورد ریسک سیلاب متفاوت از تابع انرژی آن است) پیشتر در منابع گزارش شده است (۲) بنابراین در این بخش صرفاً به بیان نتایج تحلیل با استفاده از این روش‌ها پرداخته می‌شود.



شکل ۶- نتایج گرافیکی برآورد ریسک سیلاب با استفاده از روش‌های مختلف مورد بحث در این مقاله نمادهای راهنمای شکل در عنوان توضیح داده شوند

است.

جدول ۴- نتایج حاصل از تابع چگالی موجک برای سری کامل

| دوره‌ی بازگشت (سال) | احتمال بازگشت | دبی (m³/sec) دبی هار | دبی (m³/sec) دبی دوبشی ۱۰ |
|---------------------|---------------|----------------------|---------------------------|
| ۲                   | ۰/۵           | ۶/۶۳                 | ۸/۱۳                      |
| ۱۰                  | ۰/۱           | ۳۲/۴۹                | ۳۱/۸۵                     |
| ۲۵                  | ۰/۰۴          | ۴۸/۳۲                | ۴۸/۳۲                     |
| ۵۰                  | ۰/۰۲          | ۶۱/۵۸                | ۶۰/۹۳                     |
| ۱۰۰                 | ۰/۰۱          | ۷۶/۴۴                | ۷۵/۶۳                     |
| ۱۰۰۰                | ۰/۰۰۱         | ۱۸۸/۹                | ۱۸۹/۰۲                    |

جدول ۵- نتایج حاصل از تابع چگالی موجک برای سری ۸۰٪

| دوره‌ی بازگشت (سال) | احتمال بازگشت | دبی (m³/sec) دبی هار | دبی (m³/sec) دبی 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                     |

جدول ۶- نتایج حاصل از تابع چگالی موج کبرای سری ۹۵٪

| دوره‌ی بازگشت (سال) | احتمال بازگشت | دبی (m³/sec) دبی هار | دبی (m³/sec) دبی دوبشی ۱۰ |
|---------------------|---------------|----------------------|---------------------------|
| ۲                   | ۰/۵           | ۳۶/۲                 | ۳۶/۰                      |
| ۱۰                  | ۰/۱           | ۶۵/۵                 | ۸۵/۳                      |
| 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                     |

جدول ۷- برآورد ریسک سیلاب با استفاده از داده‌های حداکثر سالانه

| دوره‌ی بازگشت (سال) | احتمال بازگشت | دبی (m³/sec) دبی لوگ-پیرسون ۳ | دبی (m³/sec) دبی نمایي |
|---------------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| 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                  |

این شروط بصورت گرافیکی و همچنین با استفاده از آزمون‌های مان-ویتنی و والد - وولفویتز بررسی شده‌اند. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها در جدول ۷ و جدول ۸ با برآزش به توزیع لوگ - پیرسون نوع ۳ و توزیع نمایي آورده شده است.

در پایان مقایسه‌ای میان روش اصلی استفاده شده در این مقاله و سایر روش‌های مورد اشاره ارائه خواهد شد. نتایج گرافیکی روش‌هایی که در این مطالعه درباره‌ی آنها بحث شده در شکل ۶ آورده شده

در این شکل نتایج حداکثر سالانه با برآزش به توزیع لوگ -

ج) نتایج سری زمانی ترکیبی و تابع چگالی بطور چشمگیری به نتایج حاصل از تابع انرژی نزدیک شده که این مبین قابلیت روش ترکیبی ارائه شده می‌باشد.

### نتیجه گیری

ارائه‌ی روش‌های مختلف و متعدد در برآورد ریسک سیلاب در طول بیش از نیم قرن اخیر، نتوانسته موجب توجه کمتر محققین به این شاخه‌ی بسیار مهم از دانش هیدرولوژی شود، که این موضوع حکایت از اهمیت بالای این شاخه از هیدرولوژی دارد.

هدف از این مقاله ارائه‌ی روشی کارآمد جهت تخمین ریسک سیلاب صرف‌نظر از استقلال و ایستایی داده‌هاست. در روش‌های آماری متداول همواره شرط استقلال و ایستایی داده‌ها یک شرط اساسی در برآورد ریسک سیلاب است، حال آنکه در روش پیشنهادی این مقاله شرایط فوق جهت برآورد ریسک سیلاب اهمیت نداشته و روش پیشنهادی صرف‌نظر از وجود شرایط استقلال و ایستایی برای داده‌ها و یا عدم وجود آن کارا خواهد بود. در این مطالعه از داده‌های ۵۲ ساله‌ی حوضه‌ی پلرود (شرقی‌ترین و دومین حوضه‌ی مهم گیلان) به‌منظور برآوردی ریسک سیلاب استفاده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که استفاده از تابع انرژی موجک در مقایسه با تابع چگالی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نتایج تخمین ریسک سیلاب را افزایش می‌دهد، به‌عنوان مثال برای دوره‌ی بازگشت ده ساله میزان تخمین از کمتر از ۱۰ مترمکعب در ثانیه برای تابع چگالی به حدود ۹۵ مترمکعب در ثانیه با استفاده از تابع انرژی موجک افزایش یافته است. البته در استفاده از تحلیل موجکی همواره سطح تجزیه و تابع پایه‌ی مورد استفاده حائز اهمیت بوده تأثیر چشم‌گیری بر روی نتایج دارد. در این مطالعه توابع پایه‌ی دوشی بیشترین برآزش را به شکل طبیعی سری مستخرج از داده‌های دبی پلرود داشتند.

این مطالعه نشان می‌دهد که وقتی تعداد داده‌های کوچک مورد استفاده در تحلیل رو به افزایش می‌گذارد، تحلیل مدل نتایج کوچکتری را ارائه می‌دهد. بطور خلاصه، هنگامیکه داده‌های کوچک زیاد باشند و داده‌های بزرگ به ندرت رخ دهند، بسته به هدف مطالعه روش‌های مختلفی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند، اما وقتی توزیع داده‌ها تقریباً یکنواخت باشد یا تعداد داده‌های بسیار کوچک تعداد محدودی باشد، تبدیل موجک می‌تواند نتایج دقیقتری را نسبت به سایر روش‌های متداول ارائه کند. براساس بسیاری از مطالعات دهه‌ی اخیر روش‌های آماری متداول مبتنی بر بسیاری از فرضیات غلط می‌باشد و بسیاری از نتایج آنها، با نتایج واقعی فاصله دارد.

نتایج تبدیل موجک‌ها با استفاده از تابع انرژی که در این مطالعه مورد توجه قرار گرفته و تابع چگالی که نتایج آن ارائه شده است، بطور کلی به یکدیگر نزدیک نیستند اما در صورت استفاده از روش ترکیبی

پیرسون نوع ۳ آورده شده است. همچنین نتایج تحلیل موجکی با تابع چگالی برای دو سری کامل و ۵٪ (یا همان ۹۵٪) ارائه شده است.

جدول ۸- برآورد ریسک سیلاب با استفاده از برازش توزیع نرمال به

| داده‌های سری جزئی   |               |                           |
|---------------------|---------------|---------------------------|
| دوره‌ی بازگشت (سال) | احتمال بازگشت | دبی (m <sup>3</sup> /sec) |
| 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                     |

### با مطالعه‌ی دقیق شکل عمومی‌توان به موارد زیر پی برد:

الف) برآورد ریسک سیلاب با استفاده از حداکثر سالانه (AM) دست بالاترین نتایج را به دست می‌دهد. این موضوع برای داده‌های پلرود آشکارتر است، چون توزیع داده‌های دبی این رودخانه به توزیع نمایی نزدیک بوده و در سری داده‌های دبی حداکثر سالانه‌ی رودخانه‌ی پلرود تنها ۰/۰۶٪ از داده‌ها بیشتر از ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه هستند، که این تعداد داده نیز در سال‌های مختلف توزیع شده‌اند. بدین ترتیب روش حداکثر سالانه به دلیل دست بالا بودن، می‌تواند در یک ارزیابی محافظه‌کارانه مورد استفاده قرار گیرد.

ب) در سری جزئی (PD)، تعداد داده‌های به کار رفته در تحلیل حدود سه برابر تعداد داده‌های حداکثر سالانه است و تقریباً اکثر داده‌های اضافه بر داده‌های حداکثر سالانه از مقادیر نظیر در آن کوچکتر است، بنابراین انتظار می‌رود نتایج روش سری جزئی به شکل آشکاری کوچکتر از حداکثر سالانه باشد. برخی از محققین مرجع معتقدند وقتی حداقل ۲/۶۷ دبی در هر سال مورد استفاده قرار می‌گیرد، نتایج سری جزئی دقیقتر از حداکثر سالانه خواهد بود.

ت) در صورت استفاده از سری ۵٪ (یا همان ۹۵٪) نتایج به شکل قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از زمانی خواهد بود که از تابع چگالی و سری زمانی کامل استفاده می‌شود.

ث) نتایج برآورد ریسک سیلاب با استفاده از تابع انرژی موجک بطور آشکاری بزرگتر از نتایج استفاده از تابع انرژی موجک برای سری زمانی کامل است. دلیل این امر تجزیه‌ی سری‌های اولیه به چندین سری است. در این صورت نقش داده‌های کوچک چندان چشمگیر نخواهد بود.

- 1- Log-Pearson 3
- 2- Annual Maximum
- 3- Partial Duration Series



در تابع چگالی این نتایج بطور قابل ملاحظه‌ای بهم نزدیک خواهند شد. بطور خلاصه می‌توان گفت برای هر پروژه محقق باید روش مورد استفاده را بر مبنای مطالعات هیدرولوژیکی و طبیعت داده‌های در دسترس انتخاب کند.

## منابع

- ۱- سازمان آب منطقه‌ای گیلان، دفتر مطالعات پایه. ۱۳۹۰. گزارش طرح تحقیقات کاربردی. تحلیل فراوانی سیلاب با استفاده از تبدیل موجک‌ها بر روی رودخانه پلرود رودسر.
- ۲- شهبازی س، حسامی کرمانی م.ر، حسین نژاد ع. و پنج عزیزاده ب. ۱۳۹۱. تحلیل فراوانی سیلاب با استفاده از تبدیل موجک. فصلنامه‌ی علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران ۹: ۷۷-۸۸.
- 3- Adamowski J. A. 2008. Development of a Short-term River Flood Forecasting Method for snowmelt Driven Floods based on wavelet and cross-wavelet analysis. *Journal of hydrology*, 353: 247-266.
- 4- Adamowski J., and Chan, H. F. 2011. A Wavelet Neural Network Conjunction Model for Groundwater Model Forecasting. *Journal of Hydrology*, 407: 28-40.
- 5- Bogges A., and Narcowich F. J. 2009. *A First Course in Wavelets with Fourier Analysis*. John Wiley, New Jersey.
- 6- Box G. E. P., and Cox, D. R. 1964. An Analysis of Transformations. *Journal of the Royal Statistical Society*, 127(B):211-252.
- 7- Chow V., Maidment D., and Mays L. 2013. *Applied hydrology*. 2<sup>nd</sup>ed. McGraw-Hill Press, New York.
- 8- Googleearth (6.2.2.6613). 2012. (visited 23 October, 2013).
- 9- Haddad K., and Rahman A. 2012. Regional Flood Frequency Analysis in eastern Australia: Bayesian GLS Regression-Based Methods within Fixed Region and ROI Framework-Quantile Regression vs. Parameter Regression Technique. *Journal of Hydrology*. 430-431:142-161.
- 10- Karthikeyan L., and Kumar D. N. 2013. Predictability of non-stationary time series using wavelet and EMD based ARMA models. *Journal of Hydrology*. 502:103-119.
- 11- Lecrec M., and Ouarda T. B. M. J. 2007. Non-stationary Regional Flood Frequency Analysis at Ungaged Sites. *Journal of Hydrology*. 343: 254-265.
- 12- Ozger Mehmet., Mishra Ashok K., and Singh Vijay P. 2010. Scaling Characteristics of Precipitation Data in Conjunction with Wavelet Analysis. *Journal of Hydrology*. 395: 279-288.
- 13- Pellegrini M., Sini F., and Taramasso A. C. 2012. Wavelet – Based Automated Localization and Classification of Peaks in Streamflow Data Series. *Computers and Geosciences*. 40: 200-204.
- 14- Rao A. R., and Hamed, K. H. 2000. *Flood Frequency Analysis*. Dehli.
- 15- Rossi A., Massei N., and Laignel B. 2011. A Synthesis of the Time-Scale Variability of Commonly Used Climate Indices Using Continuous Wavelet Transform. *Global and planetary change*. 78: 1-13.
- 16- Sang Y. F. 2013. A review on the applications of wavelet transform in hydrology time series analysis. *Atmospheric Research*. 122: 8-15.
- 17- Shu C., and Ouarda T. B. M. J. 2008. Regional Flood frequency Analysis at Ungaged Sites Using the Adaptive Neuro-Fuzzy Interface System. *Journal of Hydrology*. 349: 31-43.
- 18- Shu C., and Burn D. H. 2004. Homogeneous Pooling Group Delineation for Flood Frequency Analysis Using a fuzzy Expert System with Genetic Enhancement. *Journal of Hydrology*. 291: 132-149.
- 19- Srinivas V. V., Tripathi S., Rao A. R., and Govindaraju R. S. 2008. Regional Flood Frequency Analysis by Combining Self-Organizing Feature Map and Fuzzy Clustering. *Journal of Hydrology*. 348: 148-166.
- 20- Subramanya K. 2008. *Engineering Hydrology*. McGraw-Hill Press.
- 21- The Math Works. 2009. MATLAB, Version 7.8.0.347(R2009a).
- 22- Villarini G., Smith J. A., Serinaldi F., Jerad B., Bates P. D., and Krajewski W. F. 2009. Flood Frequency Analysis for nonstationary Annual Peak Records in an Urban Drainage Basin. *Advances in water resources*. 32: 1255-1266.



## Assessment of Wavelet Energy Function Capability in Flood Risk Estimation in Compare with Traditional Methods

S. Shahabi<sup>1\*</sup> - M.J. Khanjani<sup>2</sup>

Received:29-12-2013

Accepted:26-07-2014

### Abstract

In this paper a method to perform Estimation of Flood Risk (EFR) is presented when the assumption of stationary is not important (or not valid). A wavelet transform model is developed to EFR. A full series is applied to EFR using energy function of wavelet. The data were decomposed into some details and an approximation through different wavelet functions and decomposition levels. The approximation series was employed to EFR. This was performed using daily maximum discharge data from of the Polroud River in the north of Iran. In this way, the data from 1956 to 2007 were evaluated by wavelet analysis. The study shows that wavelet full series model results (density function) are too small compared with the results of combined method and they are both lesser than traditional methods (AM and PD). In other hand, the results of energy function method are closed to the combined method when they are compared with the full series data results. These wavelet models were assessed with the AM and PD methods. The concrete result of this paper is that, the watershed hydrologic conditions and nature of the data are very important parameters to improve FFA and to select the best method of analysis.

**Keywords:** Wavelet Transform, Polroud River, Time Series

---

1,2- PhD Student and Professor of Civil Engineering Department, Shahahid Bahonar University of Kerman  
(\*- Corresponding Author Email: sajadshahaaby@gmail.com)