نشریه علمی- ترویجی مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی ، دوره هفتم ، شماره ۲ ، خرداد ماه ۱۳۹۵

# تحلیل سری‌های زمانی بارش در حوضه‌های آبریز اصلی ایران بر مبنای تبدیلات فوریه و موجک

**امیررضا مرادی[*1]، محمد علی شریفی[2]**

[1]دانشجوی دکتری ژئودزی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
amoradi90@ut.ac.ir

[2]دانشیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
sharifi@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت تیر ۱۳۹۴، تاریخ تصویب دی ۱۳۹۴)

## چکیده

زندگی بشر در طول تاریخ و در سراسر جهان همواره در معرض انواع مخاطرات طبیعی قرار داشته است. بخشی از این خطرات و حوادث ناشی از فعالیت ها و فرآیندهای زمین‌شناسی از قبیل زلزله و بخشی دیگر که از فراوانی و گستردگی بیشتری برخوردارند، حوادث ناشی از فرآیندهای آب و هوایی می‌باشند که در این میان، خشکسالی از اهمیت و گستردگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. در مقاله ی حاضر با استفاده از ابزار آنالیز طیفی فوریه و موجک به مطالعه ی روند تغییرات بارش در حوضه های آبریز اصلی کشور پرداخته شده است. داده های مورد استفاده برای تولید سری های زمانی متناظر، میزان بارش ثبت شده در ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور از سال ۱۹۶۰ الی ۲۰۱۰ میلادی بوده اند که به دلیل الگوی رفتاری مشابه مورد انتظار در حوضه های آبریز، متوسط ماهیانه این مشاهدات در گستره ی هر حوضه استخراج و بر مبنای آنالیز طیفی فوریه و موجک تحلیل و با ذخیره ی کلی آب از مدل هیدرولوژی مقایسه گشته اند. نتایج به دست آمده ضمن معرفی فرکانس های خاص هر حوضه، فرکانس های مشترک و بازه ی زمانی وقوع آن ها، با نتایج مورد انتظار در باره ی خشکسالی در ایران همخوانی دارند.

**واژگان کلیدی:** بارش ماهیانه، خشکسالی، آنالیز طیفی، موجک، سری زمانی بارش

---

* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

بی شک، خشکسالی یکی از مخاطراتی است که امروزه به طرز خزنده ای زندگی بشر را تحت تاثیر قرار داده و به لحاظ ماهیت وقوع و عواقب ناشی از آن با سایر مخاطرات طبیعی متفاوت می باشد. خسارت های ناشی از خشکسالی، غیر ساختاری است و وسعت مناطق آسیب دیده در اثر آن در مقایسه با سایر بلاهای طبیعی بیشتر است، همچنین اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی آن مدت ها پس از پایان خشکسالی باقی خواهد ماند. با وجود تعاریف مختلف برای مقوله ی خشکسالی و تفاوت هایی که از دیدگاه های هواشناسی، هیدرولوژیکی، کشاورزی و اجتماعی برای این مفهوم وجود دارد ولیکن می توان به طور کلی خشکسالی را متناظر با دوره ای با بارش کمتر از میزان متعارف برای یک منطقه دانست [۱] و بنابراین مطالعه و پایش روند بارش در مناطق مختلف می تواند به عنوان عاملی مهم در مدیریت و پیش بینی زمان شروع و خاتمه خشکسالی در گستره های مورد مطالعه و در نتیجه برنامه‌ریزی جهت کاهش خسارت های ناشی از آن تلقی گردد؛ به ویژه آن که مبدا و منشا تمامی خشکسالی ها کمبود بارش بوده و کاهش بارش مقدم بر انواع خشکسالی ها می باشد.

در مطالعات بسیاری، با استفاده از ابزار تحلیل طیفی، سری های زمانی تولید شده بر مبنای بارش های متنسب به نواحی کوچک یا بزرگ، به فضای فرکانس منتقل و بررسی آن ها منجر به ارائه ی محتویات فرکانسی سیگنال های مذکور و به نوعی منتهی به رفتار شناسی بارش در این محدوده ها شده است [۲]، [۳]، [۴]، [۵]، [۶]و [۷].

به طور خاص در ایران، تقوی و همکاران با اعمال تبدیل موجک[۱] بر سری های زمانی بارش منتسب به چند ایستگاه هواشناسی در غرب ایران، رفتار فرکانسی و زمانی بارش در این نواحی را مورد تحلیل قرار داده [۸] و یوسفی و همکاران با استفاده از تخمین هارمونیک[۲] سری های زمانی بارش در شمال ایران به مطالعه ی زمانی- مکانی بارش حدی در این منطقه پرداخته اند [۹].

در این مقاله، ضمن به کار گیری هر دو ابزار فوریه و موجک، اولی به لحاظ قدرت تفکیک بالا در شناسایی محتویات فرکانسی و دارای ضعف مهم عدم قابلیت در شناسایی زمان وقوع این فرکانس ها و دومی با امکان ارائه‌ی توصیف همزمان زمانی و شبه فرکانسی از سیگنال، تحلیل طیفی[۳] بارش با نگرشی مبتنی بر مقایسه ی رفتار سری های زمانی بارش در حوضه های آبریز اصلی ایران انجام پذیرفته است بدین ترتیب، مطالعه ی رفتار پدیده ی بارش در حوضه ها و مشابهت ها و تمایزات آن ها در حوضه ی فرکانس به نوعی معرف رفتار هیدرولوژیکی حوضه ها نیز خواهد بود. چنین تحلیلی، اگر چه پیش تر به طور منفرد و بر اساس داده هایی با گستره ی جغرافیایی محدود تر در حوضه های آبریز سابقه داشته، ولیکن با جامعیتی مبتنی بر اطلاعات کلیه ی ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی منتسب به حوضه های آبریز اصلی کشور و با پوشش زمانی بیش از ۵۰ سال، ویژگی بارز تحقیق حاضر است.

برای دستیابی به اهداف مورد نظر، در ابتدا مروری بر تئوری های مورد استفاده بیان گشته و در ادامه ضمن معرفی داده ها و نحوه ی تولید سری های زمانی منتسب به حوضه ها، به آنالیز و تحلیل طیفی آن ها پرداخته و وجوه تمایز و افتراق آن ها و نتایج به دست آمده، ارائه خواهند گشت.

## ۲- مروری بر تبدیلات فوریه و موجک و تحلیل طیفی

اگر بتوان تابعی مانند $f(t)$ را به صورت ترکیب خطی $f(t)=\sum a_i\psi_i$ نوشت که در ان $a_i$ ها ضرایبی حقیقی موسوم به ضرایب بسط و $\psi_i$ ها نیز توابعی حقیقی بنام توابع بسط هستند، آنگاه تحلیل، توصیف و پردازش سیگنال به طریقی ملموس تر و کارآمدتر قابل انجام بوده و این موضوع اساس آنالیز طیفی را تشکیل می دهد [۱۰].

اگر مجموعه ضرایب بسط برای یک تابع، منحصر به فرد باشند توابع بسط را پایه ای برای فضای شامل $f(t)$ می نامیم و در صورتیکه این توابع پایه، متعامد یکه باشند می توان نوشت:

$$a_i =< f(t),\psi_i(t) >= \int f(t)\psi_i(t)dt \qquad (۱)$$

۱ Wavelet transformation
۲ Harmonic estimation
۳ Spectral analysis

که در آن $<,>$ نماد ضرب داخلی می باشد.

در تبدیل فوریه، توابع پایه متعامد یکه ی سیستم به صورت توابع نمایی یا سینوسی هایی با دامنه ی نامحدود در فضای زمان و در تبدیل موجک، توابعی متعامد و یا غیر متعامد موسوم به موجک ها می باشند که امواجی متمرکز و با انرژی محدود در زمان هستند. بنابراین در تناظر با رابطه ی (۱) می توان به ترتیب از روابط (۲) و (۳) برای انتقال از فضای زمان به فرکانس در تبدیلات فوریه و موجک بهره جست:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-2\pi j\omega t} dt \qquad (۲)$$

$$c(a,b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{a,b}^{*}(t) dt \qquad (۳)$$

در دو رابطه ی (۲) و (۳) سری زمانی ورودی، $f(t)$ و در رابطه ی (۳)، $\psi_{a,b}^{*}$ مزدوج مختلط تابع موجک مادر نرمال شده، مقیاس و انتقال یافته می باشد [۱۰].

همانگونه که ملاحظه می شود، محاسبه ی ضرایب بسط از طریق اعمال ضرب داخلی انجام پذیرفته و لذا ضرایب بسط در هر فرکانس، نشان دهنده ی میزان شباهت سیگنال مورد بررسی با تابع پایه بوده و نمودار طیفی به دست آمده از این دو تبدیل که در تبدیل فوریه، طیف نگار[۱] و در تبدیل موجک، مقیاس نما[۲] نامیده می‌شود و در واقع شمایی از انرژی ضرایب حاصل از تبدیل خواهد بود، تصویری از تشابه سیگنال مورد تحلیل با توابع پایه می باشد [۱۱]. در تبدیل فوریه به دلیل نامحدود بودن دامنه ی توابع پایه اطلاعاتی از زمان وقوع محتویات فرکانسی حاصل نمی گردد حال آن که در تبدیل موجک ساختار توابع پایه و تبدیل به گونه ایست که کاستی فوق به خوبی برطرف می گردد.

بدین ترتیب اگر تبدیل فوریه را در حکم نگاشتی بدانیم که یک تابع یک بعدی را به یک دسته ضرایب یک بعدی تبدیل می نماید، تبدیل موجک یک بعدی نگاشتی است که تابع یک بعدی مفروض را به مجموعه ای از ضرایب دو بعدی تبدیل می کند؛ از این روی در آنالیز ویولت امکان نگرش همزمان به هر دو مسئله مکان و فرکانس( مقیاس) وجود داشته و از این لحاظ به نوعی می توان آن را، به لحاظ مفهوم، شبیه نحوه قرار گیری نت های موسیقی در یک آهنگ- نوشته دانست که قرارگیری نت ها هم بیانگر زمان اجرا و هم نمایانگر فرکانس هستند [۱۰].

## ۳- داده ها و تحلیل طیفی آن ها

به منظور تولید سری های زمانی، مقادیر بارش ثبت شده در ۲۰۳ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور، در قالب میانگین ماهیانه از سال ۱۹۶۰ تا سال ۲۰۱۰ میلادی که در نتیجه ی پالایش و پردازش داده‌های روزانه‌ی بارش به دست آمده اند، به عنوان مشاهدات اولیه، مورد استفاده قرار گرفته و با توجه به مختصات جغرافیایی منتشره برای هر ایستگاه، از یک سو و از سویی دیگر، مختضات نقاط مرزی حوضه های آبریز اصلی ایران که در شکل (۱) ملاحظه می گردد، هر یک از ایستگاه های فوق الذکر در حوضه های آبریز جانمایی شده اند. بدین ترتیب با متوسط گیری از مقادیر بارش ماهیانه در کلیه‌ی ایستگاه‌های منتسب به هر حوضه، سری های زمانی بارش برای حوضه ها، در فضای زمان، حاصل می گردند. تعدد ایستگاه های واقع در همه ی حوضه ها، منجر به تولید سری های زمانی با پوشش زمانی کامل ۶۲۱ ماهه برای هر حوضه ی آبریز، بدون هر گونه شکاف[۳] شده است.

شکل۱- شمایی از حوضه های آبریز اصلی در ایران( برگرفته از وب سایت سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور)

۱ Periodogram
۲ Scalogram
۳ Gap

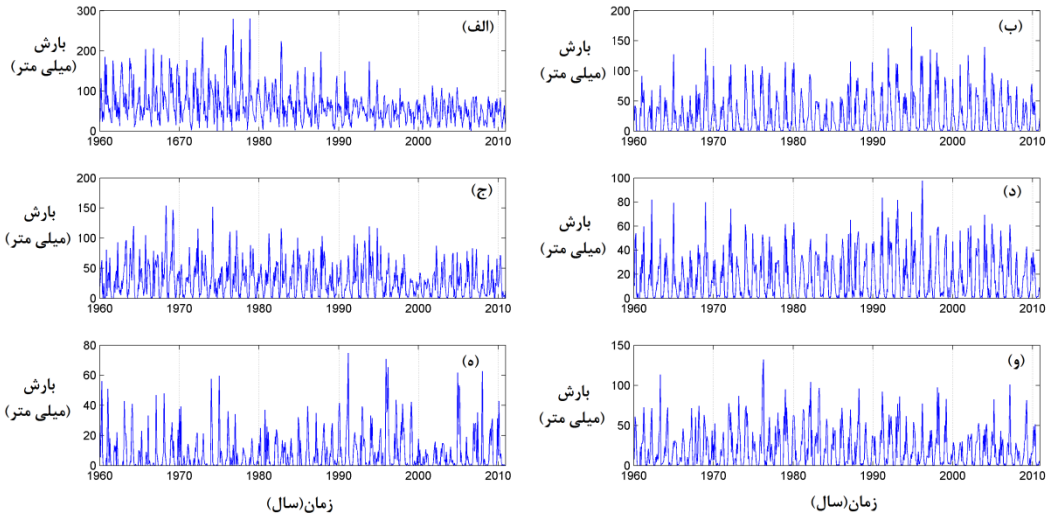
در اشکال (۲) تا (۴) به ترتیب سری های زمانی بارش در حوزه ی زمان، طیف نگار ها و مقیاس نما های متناظر منتسب به حوضه های آبریز دریای خزر، خلیج فارس، دریاچه ی ارومیه، مرکزی، هامون و سرخس به تصویر کشیده شده اند.

همانگونه که در طیف نگار ها ملاحظه می گردد، دوره‌ی تناوب اصلی بارش در تمام حوضه ها، مقداری نزدیک به دوازده ماه داشته که این مولفه ناشی از تغییرات و گردش کلی جو می باشد و البته دوره ی شش ماهه نیز به طرز ضعیف تری در حوضه های هامون و سرخس و به ویژه در حوضه های خزر و دریاچه ی ارومیه، قابل تشخیص می باشد که به عنوان مولفه ی درون سالی تلقی می گردد.

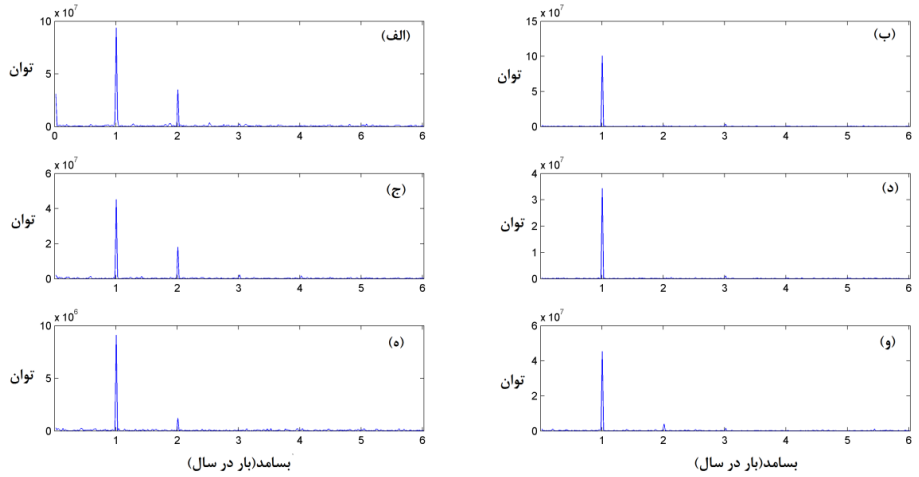
مطابق انتظار، استخراج اطلاعات مربوط به زمان وقوع و یا شدت و ضعف تناوب های مذکور مستلزم مراجعه به مقیاس نما های مربوط به حوضه ها که از تبدیل موجک پیوسته سری های زمانی بارش به دست آمده اند بوده و این مهم به خوبی در اشکال معرفی شده، قابل استنباط است. دوره های تناوب متناظر با مقیاس های مندرج در مقیاس نما ها، با توجه به نرخ نمونه ها در سری زمانی و فرکانس مرکزی تابع موجک مورد استفاده، قابل محاسبه می باشند [۱۲].

در کلیه ی مقیاس نما های شش گانه ی متناظر با حوضه ها، بازهم دوره ی اصلی حاکم که متناظر با مقیاس ۱۰ برای موجک مورد استفاده (مورلت) می باشد، همان دوره ی تناوب دوازده ماهه بوده که در این مورد بر خلاف تبدیل فوریه، به وضوح در این مقیاس می توان شدت و ضعف مولفه ی اصلی در طول پنجاه سال مورد مطالعه را ملاحظه نمود و به تبع آن وقوع خشکسالی و ترسالی ها در این بازه را ، با توجه به قوت و ضعف مقادیر طیفی تشخیص داد. به علاوه دوره های بلند مدت تر بارش در حوضه های آبریز که می توان آن ها را متناظر با النینو دانست، نیز قابل تشخیص می باشند.

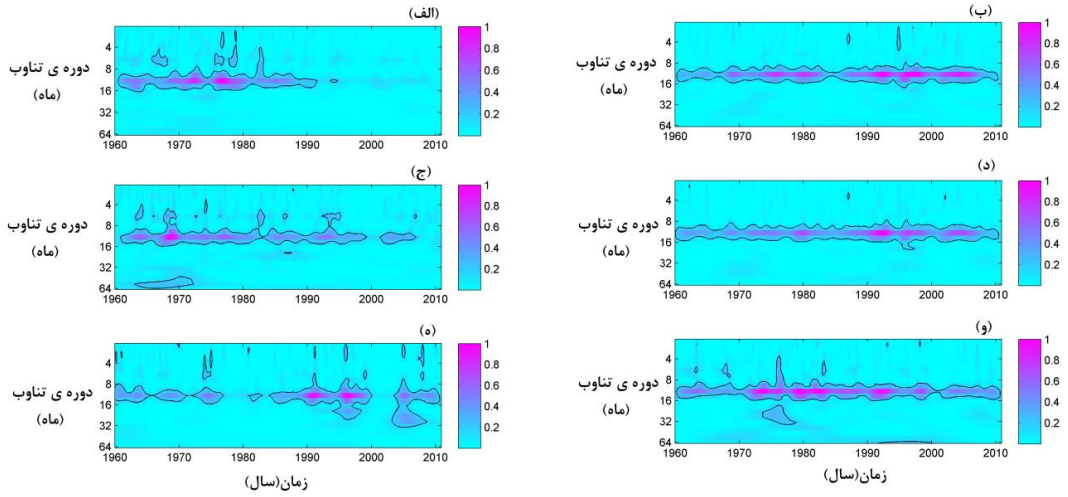
شایان ذکر است که نوع موجک مورد استفاده در تولید مقیاس نما ها، در شرایطی که تمرکز اصلی، مشابه تحقیق حاضر، بر تفسیر مقیاس نما ها و مقادیر طیفی استوار است، موضوع جندان تعیین کننده ای نیست و نتایج کیفی حاصل از به کارگیری توابع مختلف، کمابیش شبیه یکدیگر خواهند بود [۱۳].




شکل۲- سری های زمانی بارش ماهیانه در حوضه های آبریز اصلی ایران: (الف) حوضه ی خزر، (ب) حوضه ی خلیج فارس، (ج) حوضه ی دریاچه ی ارومیه، (د) حوضه ی مرکزی، (ه) حوضه ی هامون و (و) حوضه ی سرخس




شکل۳- طیف نگار های بارش در حوضه های آبریز اصلی ایران: (الف) حوضه ی خزر، (ب) حوضه ی خلیج فارس، (ج) حوضه ی دریاچه ی ارومیه، (د) حوضه ی مرکزی، (ه) حوضه ی هامون و (و) حوضه ی سرخس

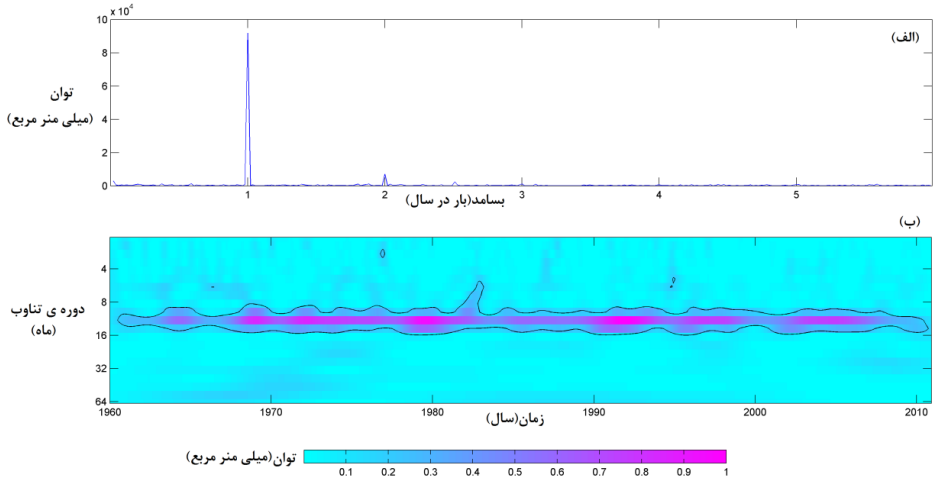



شکل ۴- مقیاس نما های بارش در حوضه های آبریز: (الف) حوضه ی خزر، (ب) حوضه ی خلیج فارس، (ج) حوضه ی دریاچه ی ارومیه، (د) حوضه ی مرکزی، (ه) حوضه ی هامون و (و) حوضه ی سرخس

در شکل (۵) تخمین چند متغیره[۱] ی سری های زمانی بارش بر مبنای مجموع مقادیر طیفی سری های زمانی [۱۴] هر یک از حوضه ها به نمایش درآمده که مطابق انتظار، دروه ی تناوب مشترک ۱۲ ماهه و نیز توزیع زمانی آن قابل ملاحظه می باشد. نکته ی شایان توجه در این رفتار مشترک، نمایان شدن زمان متناظر با خشکسالی کلی اخیر، حوالی سال ۲۰۰۷ میلادی است که در منابع علمی نیز برای مناطقی فرا تر از ایران در خاور میانه گزارش شده است [۱۵] و[۱۶].

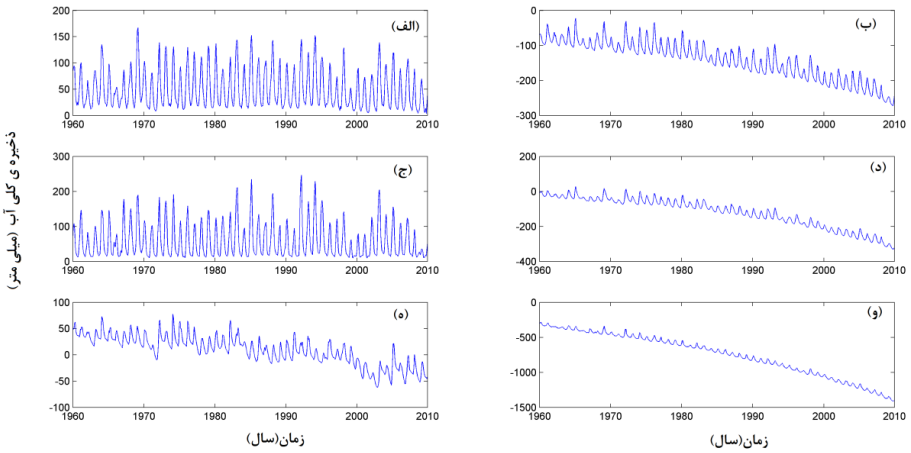
به منظور مقایسه ی رفتار بارش در حوضه های آبریز با روند تغییرات ذخیره ی کلی آب[۲] دراین محدوده ها، از مدل هیدرولوژی WGAP[۳] بهره جسته ایم. این مدل با هدف مقایسه و مطالعه ی منابع آب و شرایط کنونی مصرف آب در دنیا و نیز ترسیم تصویری از تغییرات جهانی آب، ارائه گشته و کلیه ی مولفه های لازم جهت دستیابی به چرخه ی جهانی هیدرولوژی و چرخه ی مصرف جهانی آب از این مدل قابل استحصال می باشند [۱۷]. بر مبنای مدل مزبور، میزان ذخیره ی کلی آب ماهیانه در هر حوضه و در بازه ی زمانی بین سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۹ را برآورد نموده ایم.

۱ Multivariate estimation
۲ Total water storage
۳ Water - Global Assessment and Prognosis

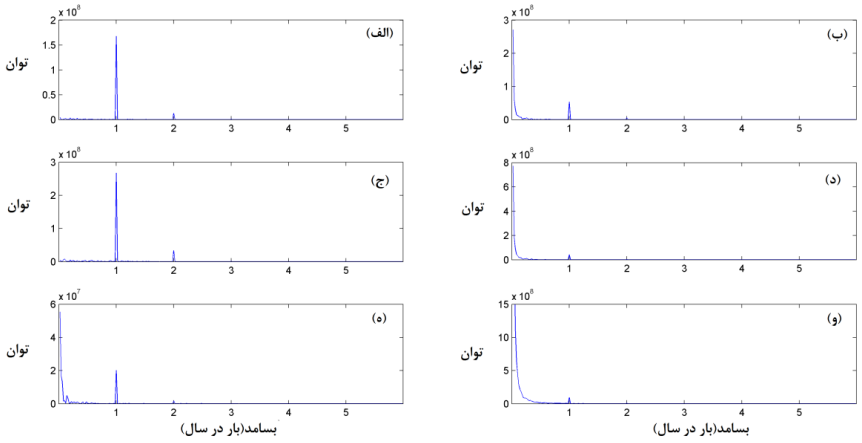



شکل ۵- طیف نگار و مقیاس نمای چند متغیره ی بارش برای همه ی حوضه های آبریز اصلی ایران: (الف) طیف نگار و (ب) مقیاس نما

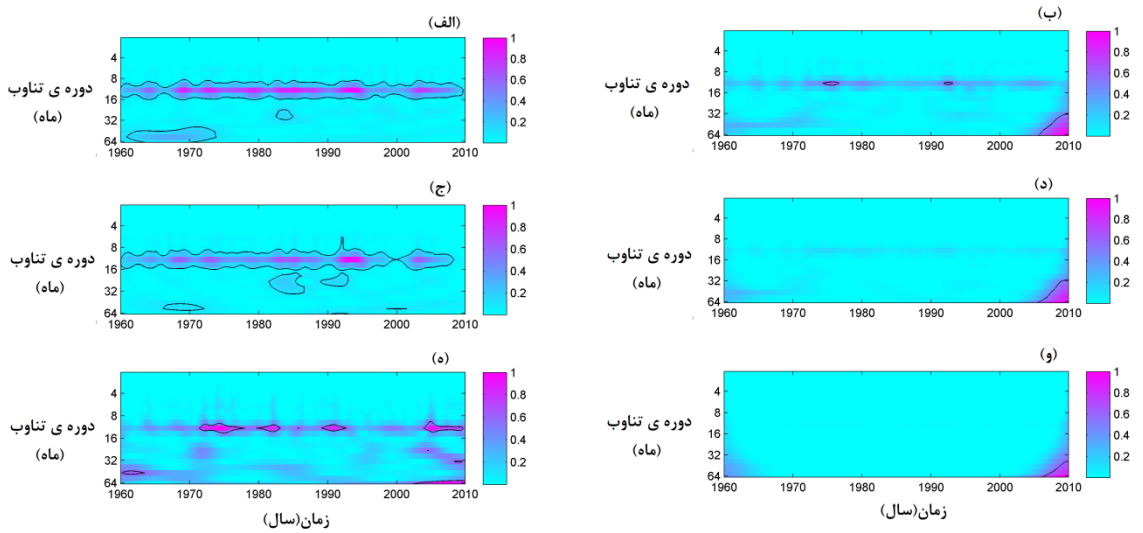
تصاویر (۶) تا (۸) سری های زمانی، طیف نگار و مقیاس نمای مربوط به ذخیره ی آب در حوضه های آبریز دریای خزر، خلیج فارس، دریاچه ی ارومیه، مرکزی، هامون و سرخس را نشان می دهند و در شکل (۹) نیز برآورد چند متغیره محتویات زمانی – شبه فرکانسی ذخیره ی کلی آب به نمایش درآمده است.



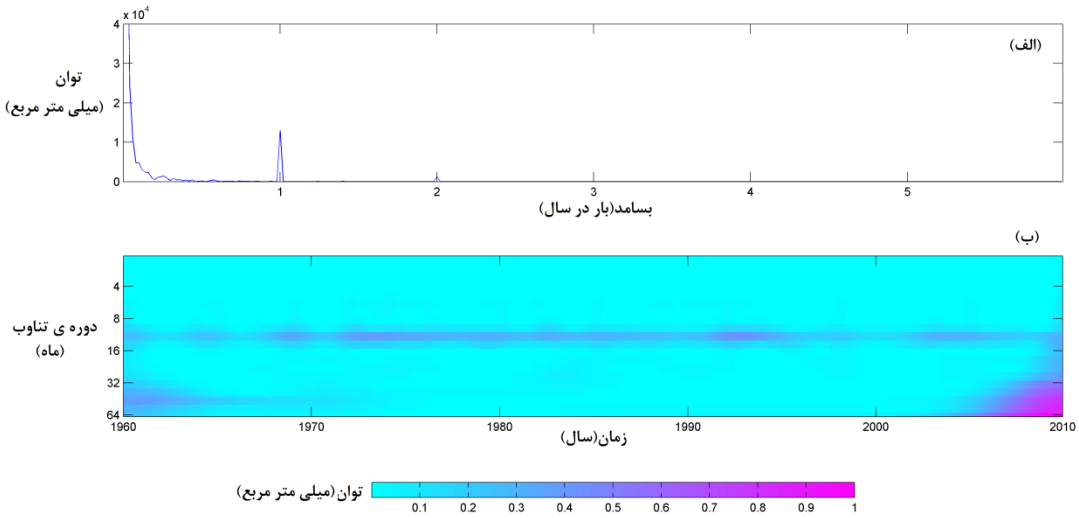

شکل۶- سری های زمانی مجموع ذخایر آبی مدل سازی شده در حوضه های آبریز اصلی ایران: (الف) حوضه ی خزر، (ب) حوضه ی خلیج فارس، (ج) حوضه ی دریاچه ی ارومیه، (د) حوضه ی مرکزی، (ه) حوضه ی هامون و (و) حوضه ی سرخس




شکل۷- طیف نگار های ذخیره ی کلی آب در حوضه های آبریز: (الف) حوضه ی خزر، (ب) حوضه ی خلیج فارس، (ج) حوضه ی دریاچه ی ارومیه، (د) حوضه ی مرکزی، (ه) حوضه ی هامون و (و) حوضه ی سرخس




شکل۸- مقیاس نما های ذخیره ی آب در حوضه های آبریز: (الف) حوضه ی خزر، (ب) حوضه ی خلیج فارس، (ج) حوضه ی دریاچه ی ارومیه، (د) حوضه ی مرکزی، (ه) حوضه ی هامون و (و) حوضه ی سرخس




شکل۹- طیف نگار و مقیاس نمای چند متغیره ی ذخیره ی کلی آب در ایران: (الف) طیف نگار و (ب) مقیاس نما

دوره ی تناوب اصلی ۱۲ ماهه، بازهم برای ذخیره‌ی کلی آب در حوضه ها، دوره ی مشترک بوده که البته، نسبت به بارش، به طرز ضعیف تری در این مورد ملاحظه می گردد. البته این تناوب در حوضه های سرخس، مرکزی و خلیج فارس بسیار ضعیف بروز نموده و کاهش چشمگیر ذخیره‌ی کلی آب در این حوضه ها منجر به کاهش کلی این کمیت در مجموعه ی ذخایر آبی کشور بسیار ملموس تر از آن چه در مورد بارش دیده شد، گردیده به نحوی که روند خطی[۱] کاهش ذخیره ی کلی آب از شیب تقریبی۲/۶۶- برخوردار است در حالیکه این روند برای بارش تقریبا ۳۴ برابر کوچک تر، یعنی تقریبا ۰/۰۷۸- می‌باشد که می توان این مقوله را ناشی از آن دانست که اصولا مجموع ذخیره ی آبی، بسیار بیشتر از پدیده ی بارش، تحت تاثیر عوامل غیر طبیعی، به ویژه، سوء مدیریت منابع آبی قرار دارد. در جدول (۱) ضریب زاویه ی روند خطی بارش و ذخیره ی کلی آب در حوضه های آبریز با هم مقایسه شده اند. ملاحظه ی این جدول نیز مؤید مطلب فوق الذکر بوده و جالب این جاست که با وجود آن که دو حوضه ی خزر و ارومیه، بیشترین افت بارش را شاهد بوده اند ولی افت ذخیره آب در این حوضه‌ها کمترین نیست.

۱ Linear trend

جدول۱- مقایسه ی روند خطی بارش و ذخیر ه کلی آب در حوضه‌های آبریز ایران

| ناحیه ی مورد مطالعه | ضریب زاویه ی روند خطی بارش ($m_P$) | ضریب زاویه ی روند خطی ذخیره‌ی آب ($m_{TWS}$) |
|---|---|---|
| دریای خزر | -0.072 | -0.018 |
| خلیج فارس | 0.01 | -0.282 |
| دریاچه ی ارومیه | -0.018 | -0.016 |
| مرکزی | 0.004 | -0.472 |
| هامون | 0.004 | -0.130 |
| سرخس | 0.006 | -1.742 |
| مجموع حوضه ها | -0.078 | -2.660 |

## ۴- نتیجه گیری

به عنوان جمع بندی نتایج حاصل از تحقیق حاضر، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- مطالعه ی روند بارش، به ویژه در کشوری با ویژگی های اقلیمی ایران امری بسیار ضروری بوده و نقش مهمی در مدیریت یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی حال حاضر دنیا، یعنی خشکسالی دارد.
- آنالیز طیفی، به ویژه تحلیل موجک ابزاری بسیار کارآمد در شناسایی مولفه ی های مهم بارش و روند تغییرات زمانی و فرکانسی آن می باشد.
- مهمترین دوره ی تناوب بارش در ایران دوره ی سالانه ی آن می باشد؛ ولیکن دوره های تناوبی بلند مدت تر از یک سال نیز که در برخی حوضه‌ها، به مرور زمان قوی تر نیز گشته اند، همراه با عوامل احتمالی ایجاد آن ها می توانند در بررسی الگوی بارش حوضه ها مورد توجه بیش تری قرار گیرند ضمن آن که کم رنگ شدن اثر طیفی مولفه ی سالانه ی بارش که از گردش سالیانه ی جو منبعث می گردد در برخی حوضه ها، به ویژه در حوضه های پر بارش خزر و دریاچه ی ارومیه، نگران کننده خواهد بود.
- علیرغم کاهش محسوس بارش در ایران و در عمده ی حوضه ها؛ عوامل انسانی نقشی مهم تر در بحران کم آبی کشور بازی می نمایند.

## مراجع


[۱] رحیمی، د.، موحدی، س. و برقی، ح. (۱۳۸۸). "بررسی شدت خشکسالی با شاخص نرمال بارش( مطالعه ی موردی استان سیستان و بلوچستان)"، مجله ی جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ش ۴، صص ۴۳-۵۶.

[۲] حسین عساکره، ح. و رزمی، ر. (۱۳۹۰). "تحلیل تغییرات سالانه ی بارش در شمال غرب ایران"، مجله ی جغرافیا و توسعه، جلد ۴۷، ش ۳، صص ۱۴۷-۱۶۲.

[۳] غریب دوست، م.، قربانی، م. ع.، فاضلی‌فرد، م. ح. و اسدی، ا. (۱۳۹۱). "تحلیل طیف توانی (اسپکترومی) برای بررسی مقیاس‌پذیری بارش ماهانه ۳۳ ایستگاه باران‌سنجی ایران "، مجله ی پژوهش آب ایران، ش ۴، صص ۴۳-۵۶.

[۴] عساکره، ح. (۱۳۸۶). "تغییرات زمانی- مکانی بارش ایران زمین طی ده های اخیر"، مجله ی جغرافیا و توسعه، ش ۱۰، صص ۱۴۵-۱۶۴.

[۵] تقوی، ف.، ناصری، م.، بیات، ب.، متولیان، س. و آزادی فرد، د. (۱۳۹۰). "تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه بندی مقادیر حدی بارش و دما"، پژوهشهای جغرافیای طبیعی، ش ۷۷، صص ۱۲۴-۱۰۹.

[۶] تقوی، ف.، زهرایی، ب. و ناصری، م. (۱۳۹۲). "رفتار شناسی مکانی-زمانی بارش در حوضه آبریز استان قزوین با استفاده از روش توابع متعامد معمولی و فازی"، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ی ۳۷، ش ۳، صص ۱۹۱-۲۰۳.

[۷] بازچی، د.، نیستانی، ا. و تقوی، ف. (۱۳۸۹). "بررسی چرخه‌ی فصلی بارش در خاورمیانه بر اساس تحلیل طیفی مشاهدات و یک مدل گردش کلیCM2.1 " چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، اردیبهشت۱۳۸۹ ، موسسه ی ژئوفیزیک دانشگاه تهران.

[۸] تقوی، ف.، نیستانی، ا.، محمدی، ح. و رستمی جلیلیان، ش. (۱۳۹۰). " کاربرد تحلیل موجک در شناسایی رفتار بارش در مناطق غربی ایران"، مجله ی ژئوفیزیک ایران، جلد ۵، ش ۴، صص ۱۳-۳۰.

[9] Yousefi, Y., Mohammadi, H., Azizi, Gh., Taghavi, F., Masomnia, A., Roradeh, H. and Masoompour J. (2013). “Spatial and temporal study of extreme precipitation over north of Iran.” Global Nest Journal. Vol. 15, No. 3, PP. 305-314.

[10] Burrus, C. S., Gopinath, R. A. and Guo, H. (1997). “Introduction to wavelets and wavelet transforms.” Prenotice Hall. New Jersey.

[۱۱] مقتصد آذر، خ.، و راثی پارام، س. (۱۳۹۱). " بررسی تاثیر کاهش اثرات گذرا در روند تعیین سطح متوسط دریاها از داده‌های جهانی جزر و مد بر اساس روش جمع تجمعی و تبدیل موجک پیوسته "، نشریه علمی پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری ، جلد ۲، ش ۵، صص ۴۵-۵۸.

[12] Zhao, G., Jiang, D., Diao, J. and Qian, L. (2004). "Application of wavelet time-frequency analysis on fault diagnosis for steam turbine." Surveillance, 5CETIM Oct2004, Senlis.

[13] Torrence, C. and Compo, G.P. (1998). "A practical guide to wavelet analysis." Bulletin of the American Meteorological society. Vol.79, No.1, PP. 61-78.

[14] Amiri-Simkooei, A. R. and Asgari, J. (2011). “Harmonic analysis of total electron contents time series: methodology and results.” GPS solutions. Vol.16, No.1, PP. 77-88.

[15] Joodaki, G., Wahr, J. and Swenson, S. (2014). “Estimating the human contribution to groundwater depletion in the Middle East, from GRACE data, land surface models, and well observations.” Water Resources Research. Vol.50, No.3, PP. 2679-2692.

[16] Voss, K.A., Famiglietti, J.S., Lo, M., Linage, C., Rodell, M. and Swenson, S.C. (2013). “Groundwater depletion in the Middle East from GRACE with implications for transboundary water management in the Tigris- Euphrates-Western Iran region Water Resources Research. Vol.49, No.2, PP. 904-914.

[17] Döll, P., Kaspar, F. and Lehner, B. (2003). “A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation.” Journal of Hydrology. Vol.270, No.1, PP. 105-134.