ارزیابی شاخص فقرآب در قسمتی از حوضه آبریز رودخانه کارون

محمدرضا گودرزی[۱*]، فائزه منکاوی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی تنش آبی در قسمت بالا دست حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ برای تحلیل وضعیت آبی منطقه انجام گرفته است. به این منظور، بعد از جمع آوری داده ها مقدار شاخص فقر آب با توجه به معیارهای منابع، دسترسی، مصارف، محیط زیست و ظرفیت اجتماعی- اقتصادی برای قسمت بالا دست حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ محاسبه شد. پس از محاسبه هر یک از معیارهای شاخص فقر آب می‌توان بیان کرد که محدوده تغییرات معیارهای شاخص فقر آب در حوضه مورد مطالعه بین۶/۶ تا ۱۸/۲ می‌باشد که کمترین امتیاز ۶/۶ مربوط به محیط زیست و بیشترین امتیاز ۱۸/۲ مربوط به دسترسی است، هرچه امتیاز کسب شده از هر یک از معیارها بیشتر باشد بیان کننده وضعیت بهتر آن معیار است که در نتیجه باعث افزایش مقدار شاخص فقر آب شده و نهایتاً نشان دهنده این است که فقر آب در آن حوضه کمتر می‌باشد. به طور کلی مقدار شاخص فقر آب برای حوضه آبریز مورد مطالعه ۶۷/۶۵ به دست آمد که بر اساس طبقه‌بندی مرکز اکولوژیکی و هیدرولوژیکی والینگفورد از لحاظ فقر آبی در محدوده فقر آبی کم تا متوسط می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته شاخص فقر آب را می‌توان به عنوان یک ابزار موثر در مدیریت منابع آب و برنامه جامع استفاده از آب برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: شاخص فقر آب، تنش آبی، حوضه روخانه کارون، مدیریت منابع آب

[۱] نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران. Email: goodarzi6mr@gmail.com . شماره تماس: ۰۹۱۲۲۱۷۰۷۹۵

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران.

۱. مقدمه

آب به عنوان عنصر اساسی حیات و وجه مشترک اهداف و چالش‌های توسعه پایدار می‌باشد و کمبود آب یکی از بزرگترین چالش‌های قرن حاضر و بحران چند وجهی نیم قرن آینده است که می‌تواند سر منشأ بسیاری از تحولات مثبت و منفی جهان قرار گیرد. اهمیت مباحث کمیت و کیفیت آب برای زندگی حیاتی و تامین آب کافی یک پیشنیاز بنیادی برای توسعه پایدار اقتصادی- اجتماعی جوامع انسانی می‌باشد[۱]. تنش منابع آبی محدود به آب تنها نمی‌باشد بلکه آب، انرژی و غذا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ارتباطات آب، انرژی و غذا (WEF[1]) نامیده می‌شود که از چالش‌های کشور-های در حال توسعه هستند و میزان تقاضا برای آب، انرژی و غذا بر نیاز به هماهنگی بین این بخش‌ها تاکید می‌کند [۲]. شهر نشینی سریع منجر به افزایش نرخ جمعیت و بالا رفتن رشد اقتصادی شده است که سبب افزایش تولید نسبی زباله‌ها شده و به همین دلیل کیفیت آب را به دلیل آلودگی، جنگل زدایی و سایر فعالیت‌های انسانی کاهش داده و بنابراین آب را برای استفاده انسانی غیر قابل دسترس کرده است [۳]. در این شرایط منابع آبی به شیوه‌های مختلف در معرض آلودگی قرار می‌گیرند و کیفیت آنها نیز در سطح بسیار پایین قرار دارند. از میان شاخص‌های موجود، شاخص فقر آبی به عنوان شاخصی کل‌نگر، از سویی مباحث منابع آب را پوشش داده و از سوی دیگر، ابعاد برنامه‌ای و توسعه‌ای کم آبی را مد نظر قرار می‌دهد بنابراین بین شاخص‌های گوناگون معرفی شده در این زمینه شاخص فقر آب (WPI)[2] جامعیت بیشتری دارد. سالیوان و همکارانش [۴]کاربردهایی از شاخص فقر آب را در مقیاس‌های مختلف در سطح جامعه، منطقه و حوضه آبریز بیان کردند و بر اهمیت مقیاس‌های مختلف در مدیریت منابع آب تاکید کردند و نیز اظهار داشتند که اطلاعات یک مقیاس مشخص، لزوماً نمی‌تواند نشان دهندۀ شرایط مشابه در مقیاس دیگر باشد.

در حال حاضر مدیریت مناسب و کارآمد منابع آبی تبدیل به یک موضوع فراتخصصی شده است و حصول اهداف بنیادی توسعه مانند ریشه‌کنی فقر، توسعه عادلانه و حفاظت از محیط‌زیست بدون پرداختن دقیق و چند بعدی به مسئله مدیریت منابع آبی امری غیرممکن به نظر می‌رسد. همچین خشک سالی به عنوان یک خطر طبیعی، تهدیدی است که روی جوامع انسانی و محیط زیست اثرات منفی برجای خواهد گذاشت، که با افزایش تقاضای آب تشدید خواهد شد [۴ و ۵]. ادامه روند نامطلوب وضعیت منابع آبی در سطح جهان و پیش بینی تشدید وضعیت بحرانی در سال‌های آینده باعث شده است که محققین و نهادهای مختلف بین‌المللی

[1] Water- Energy- Food

[2] Water Poverty Index(WPI)

شاخص‌های متفاوتی را برای سنجش وضعیت کمی و کیفی منابع آبی نقاط مختلف دنیا پیشنهاد کنند [۶]. طی سال‌های گذشته، شاخص‌های متعددی در مطالعات مختلف در داخل و خارج کشور، برای ارزیابی، آسیب پذیری منابع آب بررسی شده‌اند. برون و متلاک(۲۰۱۱) وجود شاخص‌های مهم و یکسان برای مصرف آب، موجودیت و فقر آب را مشکل اساسی بحران آب بیان کرده‌اند و به مطالعه-ی شاخص‌های فقر آب اولیه و روش‌های ارزیابی منابع آب پرداختند [۵] مانندهار و همکارانش (۲۰۱۲) شاخص فقر آب را برای ارزیابی منابع آبی در حوضه‌ی آبریز رودخانهٔ کالی گاندکی[1] در کشور نپال محاسبه کردند. نتایج نشان داد مقادیر شاخص فقرآب بین۳۷/۱ تا ۵۶/۵ در داخل حوضهٔ مطالعه شده تغییر می‌کند. تجزیه و تحلیل مولفه‌های شاخص فقر آب نشان داد شاخص‌های دسترسی و منابع در سطح حوضه‌ی آبریز و شاخص‌های مصارف، محیط‌زیست و ظرفیت در زیرحوضه‌های آبریز تغییرات بیشتری دارند [۷]. شاکیا (۲۰۱۲) در حوضهٔ آبریز رودخانه ایندراواتی [2]در منطقه مرکزی نپال، شاخص فقر آب را محاسبه و نقشه فقر آب در مقیاس‌های کم، متوسط و زیاد را رسم کرد. متوسط شاخص فقر آب برای کل حوضهٔ آبریز ۵۲/۵ (فقرآبی متوسط) به دست آمده و مقادیر محاسباتی شاخص‌های موجودیت منابع آب و ظرفیت در بخش‌های بالادست و پایین دست متفاوت گزارش شد. در مطالعهٔ ایشان مشخص شد که خشک شدن منابع آب، دسترسی ناچیز، جنگل زدایی و کودهای شیمیایی از عوامل مهم فقر آب در حوضهٔ آبریز مطالعه شده بوده است [۸]. چو و اگوانگ (۲۰۱۴) در مطالعه خود در کانادا بیان کردند که شاخص فقر آب یک ابزار مبتنی بر داده‌های کمی به منظور اندازه گیری درجهٔ فقر آب در یک جامعه، منطقه یا کشور است و استفاده از این روش در مناطق مختلف نیاز به اصلاحات بیشتری دارد [۹]. تاکور و همکارانش (۲۰۱۷) شاخص فقر آب در حوضهٔ بالادست رودخانه‌ی باگماتی در نپال را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که شاخص فقر آب می‌تواند به عنوان ابزاری موثر در مدیریت یکپارچهٔ منابع آب و طرح جامع بهره برداری از آب به منظور دستیابی به اهداف توسعهٔ پایدار استفاده شود [۱۰]. ویور و همکاران (۲۰۱۳)، در منطقهٔ وال ترینگل در جنوب آفریقا پژوهشی با هدف تعیین تفاوت مقدار شاخص فقر آب، هنگام محاسبه با تابع افزایشی نسبت به تابع ضربی انجام دادند. پس از محاسبه شاخص‌ها برای سه شهر در منطقه‌ی مورد مطالعه به این نتیجه رسیدند که مقادیر شاخص‌های محاسباتی دارای اختلاف اندکی بوده و همچنین بیان نمودند که تحقیقات آینده باید براساس تصحیح و توسعهٔ تابع‌های موجود برای محاسبه شاخص فقر آب باشد [۱۱]. کاجیری (۲۰۰۳)، افزایش جمعیت همراه با

[1] Kali Gandaki
[2] Indravati River

توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی، چالش‌های فرعی در زمینه مدیریت منابع آب را مورد بررسی قرار دادند [۱۲]. القافی (۲۰۱۸) با استفاده از شاخص فقرآبی تلاش کرده است با افزودن زیرشاخص‌ها در ابعادی مانند انرژی، بهره-وری اقتصادی آب و سویه‌های جنسیتی این شاخص را توسعه دهد و سپس با بررسی روند تغییرات شاخص میان دولت‌های مختلف حاکم در مصر، اولویت‌های مدنظر ایشان و تغییرات ناشی از آن را در شاخص فقر آبی نمایان سازد[۱۳]. با افزایش سطح اطلاعات موجود و ارتباطات جهانی، روشها و همچنین سطح کمی و کیفی اطلاعات مورد استفاده شاخص‌های جامع‌تر و دقیق‌تری تعریف و ارائه می‌شود، که ارزیابی وضعیت منابع آب جهانی نیز از این قاعده مستثنی نیست. در رابطه با شاخص‌های مهم در زمینه ارزیابی منابع آبی می-توان به شاخص فقر آب اشاره نمود [۱۴]. علاوه بر بحث کمیت و کیفیت منابع آبی، مسئله نحوه مدیریت منابع آبی نیز از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، به طوریکه در کنفرانس جهانی آب در کیوتو (۲۰۰۳) نیز تاکید گردید، مهم‌ترین مشکل آب در دنیا مسئله مدیریت منابع آب می‌باشد. لذا برای بهبود و ارتقاء وضعیت موجود مدیریت منابع آب لازم است که از شاخص‌های مناسب‌تر و جامع-تری برای بیان وضعیت واقعی منابع و مصارف آب استفاده گردد، که شاخص فقر آبی می‌تواند نمونه مناسبی از آنها باشد.

در مطالعات پیشین، تنش آبی یا فقر آب برای زیر حوضه‌های آبریز رودخانه کارون مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین پژوهش حاضر قصد دارد به محاسبه شاخص فقر آب برای قسمت بالادست حوضه‌ی آبریز رودخانه کارون(حوضه آبریز بروجرد-دورود) بپردازد تا بتوان تاثیر گذاری هر یک از عوامل برکمبود منابع آب را مورد بررسی و تحلیل قرار داد.

۲. مواد و روشها

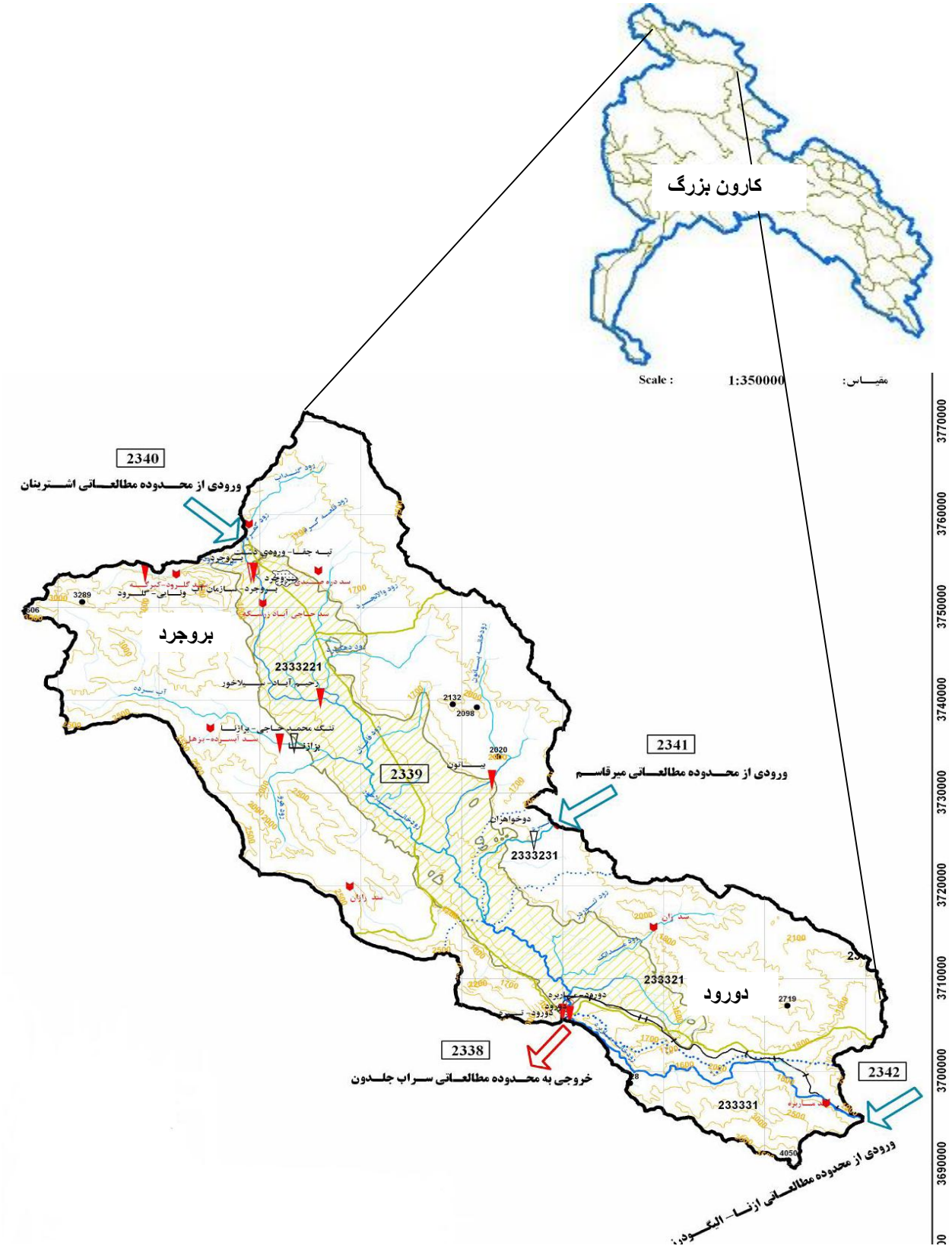
۱,۲ منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کارون بزرگ دارای وسعتی بالغ بر۶۶۶۷۵/۸۷ کیلومتر مربع می‌باشد که ۱۶۹۰۸/۹۴ کیلومتر مربع آن را دشت‌ها و پهنه‌های آبرفتی نسبتاً مسطح و گسترده و ۴۹۷۶۶/۹۳ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات و پهنه‌های آبرفتی نسبتا ناهموار و کم وسعت تشکیل می‌دهد. به این ترتیب ۷۴/۶ درصد از حوضهٔ آبریز کارون بزرگ شامل نواحی کوهستانی و مرتفع و ۲۵/۴ درصد آن دشت‌ها و مناطق پست و کم ارتفاع می‌باشد. این حوضه بین طول جغرافیایی ′۴۸°۲ تا ′ ۵۲°۰۰ شرقی و عرض جغرافیایی′۵۵ °۲۹ تا ′۱۰ °۳۴ شمالی قرار دارد. بیشترین ارتفاع حوضه قله دنا واقع در شمال شرقی حوضه قرار داشته و ۴۴۰۹ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. کمترین ارتفاع حوضه کمتر از ۲ متر از سطح دریا مربوط به نقطه خروجی حوضه (محل اتصال به خلیج فارس) است.

شکل۱: نقشه موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ

با توجه به شرایط و ویژگی‌های هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی، حوضه آبریز کارون بزرگ به ۴۲ محدوده مطالعاتی تقسیم شده که ۵ محدوده آن در استان لرستان آماربرداری و مدیریت می‌شوند. ضمناً بخشی از محدوده مطالعاتی اشترینان در استان همدان قرارگرفته است.

محدوده مطالعاتی بروجرد - دورود با وسعت نسبتاً زیاد به میزان ۲۵۴۵/۸ کیلومتر مربع در شمالی ترین قسمت حوضه آبریز کارون بزرگ و در جنوب محدوده مطالعاتی اشترینان واقع شده است. این محدوده تحت پوشش شرکت آب منطقه‌ای لرستان قرار دارد. محدوده مطالعاتی اشترینان با وسعت ۳۶۰/۴ در حوضه آبریز کارون بزرگ قرار گرفته است که ۲۰۴/۵ کیلومتر مربع آن را دشت و ۱۵۵/۹ کیلومتر مربع آن را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. در محدوده مطالعاتی بروجرد - دورود ۱۸ ایستگاه سنجش باران وجود دارد. جهت انتخاب ایستگاه معرف در دشت و ارتفاعات، از ایستگاه هایی استفاده شده است که دوره آمار برداری دراز مدت باران را داشته باشند. ایستگاه مروئک با دوره آمار برداری ۳۶ ساله باران واقع در محدوه میرقاسم و ایستگاه ونایی(سراب سفید) در محدوده اشترینان با ۴۲ سال دوره آماری بارندگی، به عنوان ایستگاه معرف در دشت و ارتفاعات محدوده بروجرد- دورود انتخاب شده‌اند. بر این اساس میانگین بارش سالانه در دشت‌های این محدوده ۴۹۲/۸ میلیمتر و میانگین بارندگی ارتفاعات آن۵۱۰ میلیمتر در سال محاسبه گردیده است.



شکل۲: موقعیت زیرحوضه بروجرد- دورود در حوضه آبریز کارون بزرگ

۲,۲ مفهوم شاخص فقرآب

شاخص فقر آب (WPI) وضعیت منابع آب موجود در حوضه را نشان می‌دهد و به همین دلیل، کمک به مدیریت موثر آب در مناطق تنش آبی ضروری است[۱۵]. دیدگاه انحصاری اکثر مردم و حتی بخش صنعتی کشور در مصرف آب، آسیب‌های غیرقابل جبرانی را به منابع آب وارد نموده است. در همین راستا شاخصی با عنوان شاخص فقر آب ارائه گردیده است[۱۶]. شاخص فقر آب براساس نتایج تحقیق سن[۱۷] توسط سولیوان[۴ و۶] ارائه شده است.

شاخص فقر آب یک معیار سنجش میان رشته‌ای است که بیان کننده روابط رفاه جوامع و دسترسی به آب و میزان تاثیرات کمبود آب بر روی جوامع انسانی می‌باشد. چنین شاخصی این امکان را به وجود می‌آورد که مناطق و یا حوضه‌ها و زیرحوضه-های مختلف را از لحاظ فاکتورهای فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی مرتبط با کمبود آب رتبه بندی کرد. تنوع جغرافیایی در رابطه با آب و میزان دسترسی به آن از اهمیت بالایی برخوردار است، به نحوی که بین مناطق مختلف از لحاظ میزان دسترسی به آب تفاوت قابل ملاحظه‌ای وجود دارد، این تغییرات گاهی به قدری شدید است که بین جوامع، روستاها و حتی حوضه‌های هم‌جوار نیز مشهود است[۴].

۳,۲ اهمیت شاخص فقرآب در ایران

توسعه شاخص فقر آب (WPI) با هدف ایجاد یک ابزار سیاستی جامع و مبتنی بر علوم فیزیکی و اجتماعی و کاربردی در سراسر جهان است. توسعه چنین شاخصی باعث می‌شود تصمیم گیرندگان، مسائل متقابل را به صورت یکپارچه مدیریت کنند [۱۸]. بر مبنای طبقه بندی مرکز اکولوژیکی و هیدرولوژی والینگفورد در سال ۲۰۰۳، ایران جزء کشورهایی قرار می‌گیرد که از لحاظ فقر آبی در حد متوسط می‌باشد. مقدار شاخص فقر آب برای کل کشور محاسبه شده و با توجه به وضعیت ناعادلانه توزیع مکانی منابع آب و همچنین سایر معیارهای مرتبط در نقاط مختلف کشور، مقدار این شاخص نمی‌تواند برای همه نقاط کشور نماینده مناسبی باشد. اهمیت شاخص فقر آب در ایران به دلیل تغییر پذیری زمانی و مکانی دسترسی به منابع آب است و شاخص‌های ساده‌ای که در آنها منابع آب در دسترس بر تعداد جمعیت تقسیم می‌شود، چندان نشان دهنده واقعیت‌های موجود در زمینه وضعیت منابع آبی مناطق مختلف نیستند.

۴,۲ محاسبه شاخص فقرآب

مدیریت و برنامه ریزی منابع آب بدون ارزیابی مناسب از وضعیت آن باعث از دست دادن منابع آب می‌شود. با توجه به اینکه برای مسائل فقرآب و شاخص‌های نشان دهنده آن در مقیاس‌های مختلف

مکانی هیچ معیار مشخصی وجود ندارد، انتخاب دقیق شاخص‌ها و در دسترس بودن داده برای به کار بردن شاخص فقر آب ضروری می‌باشد[۷]. شاخص‌های متعددی برای ارزیابی آسیب پذیری منابع آب بررسی می‌شوند. در این پژوهش از شاخص فقر آب که یک ترکیب همه جانبه‌ای از شاخص‌های آب و رفاه انسان است استفاده شده است. شاخص فقر آب (WPI) از پنج عنصر کلیدی تشکیل شده است که هر یک چندین زیر مجموعه دارد. در تحقیق حاضر انتخاب معیارها و زیر معیارها به گونه‌ای صورت گرفته است که با شرایط داده‌های موجود در کشور قابل محاسبه است. اطلاعات و داده‌های آماری مورد استفاده در محاسبه شاخص فقر آب از اداره آب، جهاد کشاورزی و سازمان آب و فاضلاب شهرستان بروجرد جمع آوری شده است. برای تعیین شاخص فوق باید داده‌های متنوعی از پنج محور جمع‌آوری و تحلیل شود. این شاخص شامل پنج جزء اصلی، منابع(R)[۱]، دسترسی(A)[۲]، ظرفیت(C)[۳]، مصرف(U)[۴] و محیط زیست (E)[۵] می-باشد.

شاخص فقرآب (WPI) برای یک مکان خاص همانطور که توسط سالیوان و همکارانش (۲۰۰۳) شرح داده شده است می‌تواند محاسبه شود [۴و۶]

رابطه کلی شاخص فقرآب(WPI) در زیر ارائه شده است:

$$WPI = \frac{W1 \times R + W2 \times A + W3 \times U + W4 \times C + W5 \times E}{\sum_{i=1}^{5} wi} \quad (1)$$

می‌توان برای هریک از پنج شاخص، منابع(R)، دسترسی(A)، ظرفیت(C)، مصرف(U) و محیط زیست(E) وزن تعریف کرد، که این وزن‌ها (w_i) غیرمنفی می‌باشد. استفاده از وزن یکسان برای آن-ها که در مقیاس‌های بزرگ مانند سطوح ملی استفاده می‌شود و اعمال وزن مخصوص برای مقیاس‌های کوچک به کار می‌رود. شیوه‌ی وزن دهی به معیارهای مختلف در جدول زیر آورده شده است.

[1] Resources
[2] Access
[3] Capacity
[4] Use
[5] Environment

جدول۱: شیوه‌های وزن دهی به معیارهای مختلف در محاسبهٔ شاخص فقر آب

	منابع	محیط زیست	ظرفیت	مصارف	دسترسی
وزن یکسان	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰
تاکید بر شاخص منابع	۴۰	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
تاکید بر شاخص محیط زیست	۱۵	۴۰	۱۵	۱۵	۱۵
تاکید بر شاخص ظرفیت	۱۵	۱۵	۴۰	۱۵	۱۵
تاکید بر شاخص مصارف	۱۵	۱۵	۱۵	۴۰	۱۵
تاکید بر شاخص دسترسی	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۴۰

در این پژوهش چون وضعیت آبی یک زیر حوضه بررسی شده و اولویت بندی مد نظر نیست از وزن دهی یکسان برای معیارهای شاخص فقر آب استفاده شده است که از رابطه (۱) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$WPI = R + A + U + C + E \qquad (2)$$

محاسبات هر جزء از شاخص WPI برمبنای فرمول-های ارائه شده زیر می‌باشد:

۱- منابع(R): این معیار دسترسی طبیعی به منابع آب، در منطقهٔ مورد مطالعه را مشخص می‌کند. مقادیر بالای این معیار نشان دهنده‌ی قابلیت استفاده فراوان نسبت به محاسبه تغییر پذیری سالانه داخلی و فصلی است که توسط دو معیار دسترسی و تغییر پذیری ارزیابی می‌شود.

۱-۱ دسترسی (R_1)[1]: کاهش موجودیت منابع آب باعث درگیری بر روی مصرف منابع خواهد بود، بنابراین دسترسی، فشار جمعیت بر روی منابع آب موجود را نشان می‌دهد[۱]. همانطور که در معادله (۳) نشان داده شده است، این معیار با سرانه منابع آب سالانه اندازه‌گیری شده و با استفاده از روش حداکثر، نرمال سازی خواهد شد.

$$R_1 = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \qquad (3)$$

که در آن x_i : مقدار سرانه منابع آب(مترمکعب)، x_{min} و x_{max} : پایین‌ترین و بالاترین مقادیر مربوط به سرانه منابع آب می-باشد.

۱-۲ تغییرپذیری(R_2)[2]: برای تخمین این معیار از ضریب تغییرات[3] بارندگی استفاده شده است. در این معیار هر چه میزان تغییرات بارندگی بیشتر باشد، اطمینان موجودیت منابع آب در زمان و مکان کمتر است. اطمینان کمتر، خطرات ناشی از تغییر اقلیم و آسیب‌پذیری

[1] Availability

[2] Variability

[3] Coefficient of Variation

منابع را نشان می‌دهد [۱۹]. برای محاسبه، ابتدا مقادیر بارش ماهانه‌ی به ثبت رسیده در ۱۸ ایستگاه باران سنجی محدوده بروجرد-دورود طی دوره آماری ۴۲ ساله تا سال ۱۳۹۶ مرتب شد، سپس برای محاسبهٔ ضریب تغییرات بارندگی ایستگاه‌های باران سنجی، متوسط بارش سالانه و انحراف معیار برای هر یک از ایستگاه‌ها به دست آمد. ضریب تغییرات مساوی یا بیشتر از ۳۰ درصد، آسیب پذیرترین وضعیت را نشان می‌دهد [۲۰]. با استفاده از معادلهٔ (۴) مقادیر معیار یاد شده نرمال سازی شد [۲۱].

$$R_2 = \frac{x_i}{0.3} \qquad (4)$$

که در آن x_i : ضریب تغییرات بارندگی مربوط به هر منطقه است و در صورتی که $x_i \leq 0.3$ باشد، R_2 برابر یک می‌شود.

در نهایت معیار منابع(R) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{R_1 + R_2}{2} \times 20 \qquad (5)$$

۲- دسترسی(A) : دسترسی کافی به منابع آب و امکانات بهداشتی، جامعه را به مراعات اصول بهداشتی بهتر تشویق می‌کند. این شاخص جمعیتی را با دسترسی مناسب به مقدار کافی از آب آشامیدنی سالم و بهداشت، جهت سلامتی بیشتر و رفاه نشان می‌دهد [۱۹]. دسترسی کافی به آب، منجر به فقدان زمان در جمع‌آوری آب می-شود، که می‌تواند برای فعالیت‌های اقتصادی و تولیدی استفاده شود. این جزء با دو معیار دسترسی به منبع آب (A_1) و دسترسی به بهداشت (A_2) محاسبه شود که در معادلهٔ (۶) نشان داده شده است.

$$A_1 = \frac{x_w}{x} , A_2 = \frac{x_s}{0.3} \qquad (6)$$

که در آن x_s و x_w : به ترتیب جمعیت با امکانات بهداشتی و جمعیت با موجودی آب هستند،X: کل جمعیت در واحد مورد مطالعه می‌باشد.

در نهایت معیار دسترسی(A) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \frac{A_1 + A_2}{2} \times 20 \qquad (7)$$

۳- مصارف(U) : در زمینه بخش مصرف، مصرف آب برای اهداف مختلف مد نظر است و میزان مصرف آب و نوع بهره‌برداری از منابع آبی را بررسی می‌کند. مصارف اصلی آب، مصرف خانگی و کشاورزی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۱ مصرف آب خانگی(U_1)[1] : نشان دهندهٔ وضعیت فعلی مصرف منابع آب در فعالیت‌های خانگی روزانه (پخت‌وپز، مصارف بهداشتی و شست‌وشو) و پیش‌بینی‌های آینده آن است

[1] Domestic water use

[۲۲]. این شاخص به وسیلهٔ سرانهٔ مصرف آب خانگی روزانه اندازه‌گیری شده و با استفاده از روش حداکثر نرمال سازی شده است (معادله۸)

$$U_1 = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad (8)$$

که در آن،X_i :مصرف آب خانگی،X_{min} : کمترین آب مورد نیاز برای بهداشت خانگی، سرانه آب روزانهٔ هر نفر۲۰ لیتر در نظر گرفته خواهد شد [۲۳]،X_{max} : بیشترین آبی که همهٔ نیازهای آب خانگی را برآورده می‌کند، سرانهٔ آب روزانهٔ هر نفر۱۰۰ لیتر در نظر گرفته می‌شود [۲۴].

۳-۲ مصرف آب کشاورزی(U2)[1] : این زیر معیار امکانات آبیاری موجود در یک منطقه را نشان می-دهد. توسعهٔ کشاورزی آبی محرک بزرگی برای رشد اقتصادی است و کاهش فقر، ناشی از آن سهم زیادی در بهبود معیشت دارد [۲۵]. برای ارزیابی مصرف آب کشاورزی، از نسبت زمین‌های آبی به کل زمین‌های کشت شده (معادلهٔ ۹) استفاده می-شود [۶].

$$U_2 = \frac{X_i}{X} \qquad (9)$$

که در آنX_i : زمین‌های آبی، X: کل زمین‌های کشت شده است. در نهایت معیار مصرف از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} \times 20 \qquad (10)$$

۴- محیط زیست(E) : حفظ کیفیت محیطی و سلامت اکوسیستم برای رسیدن به مصرف پایدار منابع آب، اهمیت زیادی دارد. با توجه به افزایش بهره‌برداری از منابع آب سطحی و نیز نگرانی‌های جدی در خصوص آسیب به اکوسیستم‌های رودخانه‌ای، ارزیابی تغییرات هیدرولوژیک رودخانه از مواردی است که در شرایط ایران بسیار اهمیت دارد. این معیار به وسیلهٔ سه زیر معیار ارزیابی می-شود.

۴-۱ جریان پایه(E_1)[2] : جریان پایه جزئی از جریان رودخانه است که نسبت به بارندگی واکنش نشان می‌دهد و به طور معمول با آب تخلیه شده از ذخیرهٔ آب زیرزمینی مرتبط است. کمیت و کیفیت جریان پایه در رودخانه‌های مناطق خشک و نیمه خشک تاثیر بسیاری در زیست‌بوم‌ها و تنوع اکولوژیکی دارد. جداسازی اجزای جریان پایه از طریق تجزیه و تحلیل هیدروگراف جریان، اطلاعاتی دربارهٔ ویژگی‌های ذخایر طبیعی که رودخانه را تغذیه می‌کند، در اختیار قرار می‌دهد. ویژگی‌های جریان پایه در ارزیابی کیفیت آب و کمیت جریان مفید است و می‌تواند برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های هیدرولوژی به کار رود. در این تحقیق از روش الگوریتم یک پارامتره استفاده شد که جزء روش‌های فیلتر عددی برگشتی

[1] Agricultural water use

[2] Base Flow

محسوب می‌شود. فیلتر یک پارامتره فقط نیاز به تعیین پارامتر ثابت بازگشت (k) دارد که در این تحقیق با استفاده از تحلیل شاخهٔ فروکش جریان (معادله۱۱) محاسبه شده است [۲۶].

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} \qquad (11)$$

که در آن k: پارامتر ثابت بازگشت و q_b: مقادیر دبی است.

۴-۲ پوشش گیاهی(E_2)[1] : دلایل از بین رفتن پوشش گیاهی شیوه‌های ناپایدار استفاده از اراضی، تغییر کاربری، چرای بیش از حد، قطع غیرقانونی درختان است که نشان دهندهٔ درجهٔ انحراف محیط زیست از حالت طبیعی است [۲۷]. کاهش پوشش گیاهی نشان دهندهٔ اختلال اکوسیستم طبیعی، اختلال چرخهٔ هیدرولوژیکی، احتمال افزایش فرسایش خاک و رسوب‌گذاری رودخانه است [۱۹]، بنابراین آسیب‌پذیری منابع آب و اکوسیستم افزایش می‌یابد(معادله۱۲).

$$E_2 = \frac{X_i}{X} \qquad (12)$$

که در آن X_i : مقدار پوشش گیاهی و X: کل منطقه شامل پوشش گیاهی و دیگر کاربری‌های اراضی است.

۴-۳ شاخص جریان$Q95$(E_3): پیش بینی دقیق جریان در رودخانه‌ها یکی از ارکان مهم در مدیریت منابع آبهای سطحی به ویژه به کارگیری تدابیر مناسب در مواقع سیلاب و بروز خشک سالی‌هاست. در مجموع کاهش جریان زیست محیطی در آبراهه در یک دوره طولانی در دراز مدت سبب بروز تاثیرات منفی بر جوامع گیاهی و جانوری در حاشیه رودخانه‌ها و بدنه‌های آبی خواهد شد [۲۸]. شاخص جریان$Q95$ برابر دبی با احتمال وقوع بیشتر از ۹۵ درصد در منحنی تداوم جریان است. این زیر معیار با استفاده از فرمول زیر استاندارد سازی شد(معادله۱۳).

$$E_3 = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \qquad (13)$$

که در آن X_i : مقدار شاخص جریان$Q95$ در هر حوضه، X_{min} و X_{max} : مقادیر کمترین و بیشترین شاخص جریان$Q95$ در هر حوضه است. درنهایت معیار محیط زیست از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$E = \frac{E_1 + E_2 + E_3}{2} \times 20 \qquad (14)$$

۵- ظرفیت(C) : این معیار اثربخشی توانایی مردم برای مدیریت آب را نمایش می‌دهد. با ارتباط نزدیک بین جامعه و مدیریت آب، اهمیت ظرفیت‌های اجتماعی و اقتصادی برای مدیریت آب به رسمیت شناخته شده است [۲۹]. از دو زیر معیار ظرفیت

[1] Vegetation coverage

اجتماعی و ظرفیت اقتصادی برای ارزیابی این بخش استفاده می‌شود.

۵-۱ ظرفیت اجتماعی(C_1)[1] : برای ارزیابی شاخص ظرفیت اجتماعی از دو زیر شاخص نرخ سواد(C_{1i})[2] و جمعیت فعال اقتصادی (C_{1ii})[3] می‌توان استفاده کرد. شاخص نرخ سواد به عنوان درصدی از جمعیت با سواد با سن ۱۵ سال و بیشتر تعریف شده است. مقادیر بیش از این شاخص نشان دهنده افراد باسوادتر است که توانایی خواندن، دسترسی به اطلاعات، درک مسائل مربوط به آب و در برخی موارد توانایی انجام دادن اقداماتی برای مدیریت آب را دارند [۳۰]. محاسبات بر مبنای معادلهٔ ۱۵ انجام شده است و در آن X_i: جمعیت باسواد، X: کل جمعیت است.

$$C_{1i} = \frac{X_i}{X} \quad (15)$$

جمعیت فعال اقتصادی به عنوان درصدی از جمعیت۱۰-۶۰ ساله با قدرت فیزیکی مقابله با فقر و تنش آب تعریف می‌شود و مقادیر بیشتر، نشان دهندهٔ ظرفیت بیشتر افراد برای مقابله با تغییرات آب است [۲۷]. محاسبات با استفاده از معادله ۱۶ انجام شده است که در آن X_i : جمعیت با سن ۱۰-۶۰ سال،X: کل جمعیت است.

$$C_{1ii} = \frac{X_i}{X} \quad (16)$$

۵-۲ ظرفیت اقتصادی(C2)[4] : برای ارزیابی این زیر معیار از اطلاعات اشتغال در بخش غیرکشاورزی (C_{2ii})[5] استفاده می‌شود. گوناگونی استمرار معاش در بخش غیرکشاورزی، قابلیت اطمینان از درآمد و در نتیجه ظرفیت اقتصادی توسط مردم برای مشکلات مربوط به مدیریت آب را افزایش می‌دهد [۳۰]. محاسبات در معادله ۱۷ ارائه شده است که در آن X: کل جمعیت، X_i: جمعیت شاغل در بخش غیرکشاورزی است.

$$c_{2ii} = \frac{X_i}{X} \quad (17)$$

در نهایت معیار ظرفیت از معادله ۱۸ قابل محاسبه است:

$$C = \frac{C_{1i} + C_{1ii} + C_{2ii}}{3} \times 20 \quad (18)$$

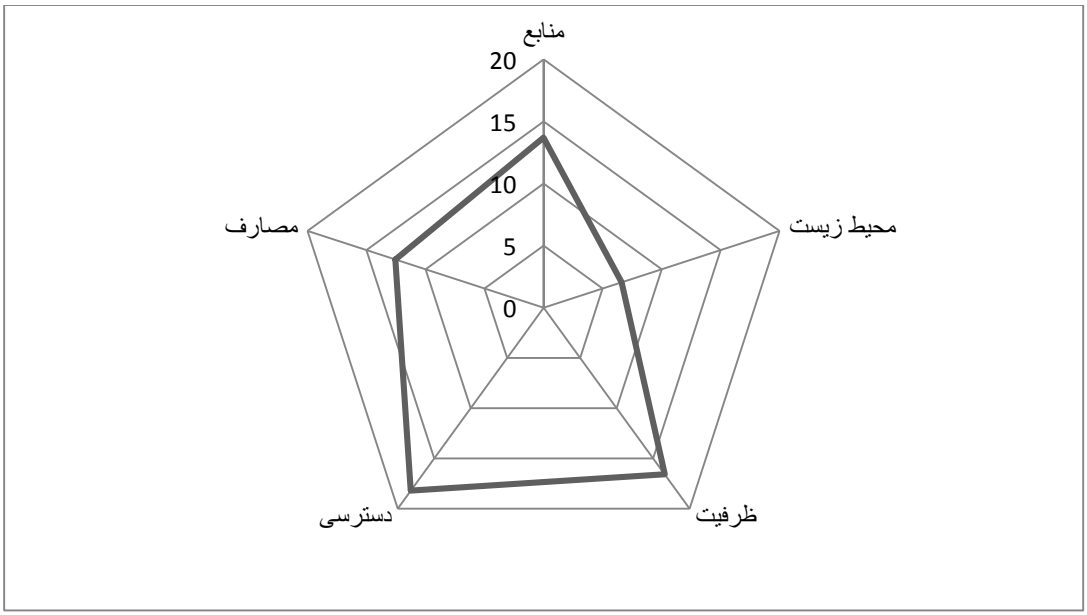
[1] Social capacity
[2] Literacy rate
[3] Economically active population
[4] Economic capacity
[5] Non agricultural employment

۳. نتایج

برای ساخت معیارهای مورد استفاده در چارچوب WPI از وزن‌دهی یکسان استفاده شده است و همچنین آمار و اطلاعات مورد نیاز از ادارات ذی ربط کسب شده است و در نهایت WPI از ۱۰۰ محاسبه شد. نمره اختصاص داده شده برای هر مولفه از شاخص فقر آب برای قسمت بالادست حوضه آبریز کارون بزرگ درجدول زیر ارائه شده است.

جدول۲: مقادیر معیارهای محاسبه شده برای قسمت بالا دست حوضه آبریز کارون بزرگ(حوضهٔ آبریز محدوده بروجرد- دورود) (منبع: یافته‌های تحقیق)

حوضهٔ آبریز	منابع	محیط زیست	ظرفیت	دسترسی	مصارف	WPI
بروجرد- دورود	۱۳/۷	۶/۶	۱۶/۶	۱۸/۲	۱۲/۵۵	۶۷/۶۵



شکل۳: مقادیر هر مولفه از اجزای شاخص فقرآب(منبع: یافته‌های تحقیق)

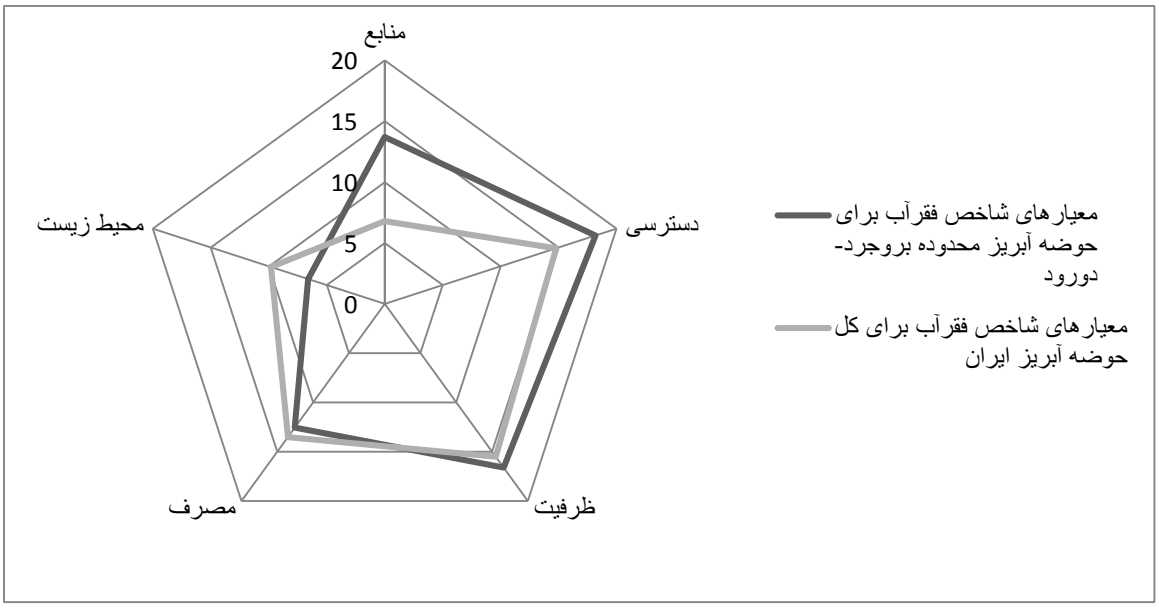
درسال ۲۰۰۳ مرکز اکولوژی و هیدرولوژی والینگفورد (CEH[1]) کشورهای مختلف را از لحاظ فقر آبی برمبنای شاخص WPI به ۵ گروه زیر طبقه بندی کرده است:

[1] Center for Ecology & Hydrology

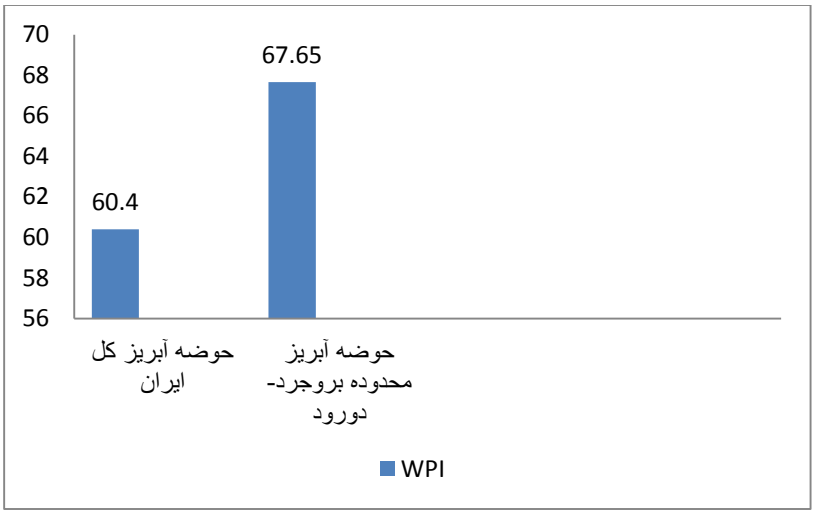
۱. محدوده ۶۸ تا ۷۸ (فقر آبی کم)؛ ۲. محدوده ۶۲ تا ۶۷/۹ (فقر آبی کم تا متوسط)؛ ۳. محدوده ۵۶ تا ۶۱/۹ (فقر آبی متوسط)؛ ۴. محدوده ۴۸ تا ۵۵/۹ (فقر آبی بالا)؛ ۵. محدوده ۳۵ تا ۴۷/۹ (فقر آبی شدید)

برای محدوده بروجرد- دورود شاخص فقر آب ۶۷/۶۵ می‌باشد که طبق طبقه بندی بالا در محدوده کم تا متوسط قرار گرفته است

مقادیر هر یک از معیارهای شاخص فقر آب و خود شاخص فقر آب برای کشورهای مختلف توسط لاورنس (۲۰۰۳) ارائه شده است به طور کلی از لحاظ فقر آبی ایران با کسب ۶۰/۴ امتیاز (منابع: ۸/۶، دسترسی: ۱۴/۸، ظرفیت: ۱۵/۵، مصرف: ۱۳/۵و محیط زیست: ۹/۸) در بین۱۴۷ کشور مورد مطالعه در رتبه ۵۸ ام قرار گرفته است[۱۴]. در این پژوهش با استناد بر مطالعات لاورنس بین زیر حوضه مورد مطالعه با حوضه آبریز ایران مقایسه‌ای به منظور هم‌خوانی یا تفاوت معیارهای شاخص فقر آب انجام گرفته است که در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه گردیده است. این مقایسه بیانگر این است که با توجه به وضعیت ناعادلانه توزیع مکانی منابع آب و همچنین سایر معیارهای مرتبط در نقاط مختلف کشور، مقدار این شاخص نمی‌تواند برای همه نقاط کشور نماینده مناسبی باشد.



شکل۴: مقایسه معیارهای شاخص فقرآب حوضه آبریز کل ایران و حوضه آبریز محدوده بروجرد- دورود



شکل۵: مقایسه WPI حوضه آبریز کل ایران با حوضه آبریز محدوده بروجرد- دورود

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، مقدار شاخص فقر آب در قسمت بالادست حوضه آبریز رودخانه کارون بزرگ با در نظر گرفتن معیارهای موثر بر آن (شامل منابع،دسترسی، ظرفیت، محیط زیست و مصارف) محاسبه شد. مسأله کیفیت منابع آبی موضوع بسیار مهمی است که نه تنها در بررسی وضعیت منابع آبی چندان توجهی به آن نمی‌شود، بلکه روند تخریب آن توسط منابع آلاینده بخش‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی نیز به شدت در حال گسترش می‌باشد و لذا نیازمند توجه فزآینده در فرآیند توسعه و مدیریت منابع آبی می‌باشد. در شاخص فقر آب ابعاد مختلف ابعاد مختلف تاثیرگذار بر مدیریت منابع آبی در نظر گرفته شده است و ابزاری موثر و جامع برای تحلیل موجودیت منابع آب سطحی و ارتباط آن با نیازهای انسان و محیط زیست است.

شاخص فقر آب برای قسمت بالادست حوضه آبریز کارون بزرگ ۶۷/۶۵ (فقر آبی کم تا متوسط) به دست آمده که با نتایج تحقیق شاکیا و همچنین مطالعات تاکور هم‌خوانی دارد چرا که مقادیر محاسباتی شاخص فقر آب نمایان کننده خشک شدن منابع آب، دسترسی ناچیز، جنگل زدایی و کودهای شیمیایی از عوامل مهم فقر آب در حوضه آبریز مورد مطالعه می‌باشد. از بررسی‌های انجام شده در این پژوهش نمایان است که معیار محیط زیست با ارزش۶/۶ نیاز به توجه بیشتر و اقدامات پیشگیرانه نظیر جلوگیری از کاهش پوشش گیاهی منطقه و مدیریت آبهای سطحی و جلوگیری از آلودگی آنها است. از مهم‌ترین مزایای شاخص فقر آب، در نظر گرفتن ویژگی‌های اقتصادی و اجتماعی جوامع به همراه تغییرپذیری ابعاد مختلف منابع آب سطحی است که می‌تواند در مقیاس‌های مختلف مکانی استفاده شود. ممکن است معیار میزان آبدهی در حوضه مورد مطالعه نسبت به سایر

حوضه‌های آبریز خشک بیشتر باشد اما میزان مصارف، دسترسی، محیط زیست و ظرفیت به گونه-ای باشد که وضعیت آب را در شرایط فقیر قرار داده است.

نتایج به دست آمده از چنین مطالعاتی می‌تواند در تصمیم گیری‌های مرتبط با مدیریت و توسعهٔ منابع آبی در مناطق مختلف کشور از جمله حوضه مورد مطالعه تاثیر به سزایی داشته باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، قسمت بالادست حوضه آبریز کارون در شرایط بحرانی قرار ندارد ولی اگر هر یک از معیارهای یاد شده و به خصوص در رابطه با معیار محیط زیست اقدامات پیشگیرانه انجام نگردد این حوضه در شرایط بحرانی قرار خواهد گرفت. انتظار می‌رود که مدیران و نهادهای ذی ربط به فکر راهکارها و برنامه‌های مدیریتی مناسب با توجه به شرایط موجود در این حوضه، به منظور جلوگیری از قرار گرفتن این حوضه در شرایط بحرانی باشند.

References

[1]. Alessa L, Kliskey A, Lammers R., Arp C, White D, Hinzman L, et al. The arctic water resource vulnerability index: an integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. Environmental Management. 2008; 42(1):523-541.

[2]. Joanna P, Declan C, Emilinah N, Katharine V, Andrew J. D, Japhet J. K. Climate change and the water–energy–food nexus: insights from policy and practice in Tanzania. Climate Policy. (2017);1-15.

[3]. Diwakar J, Thakur J. Environmental system analysis for river pollution control. Water Air Soil Pollut. 2012; 223 (6), 3207–3218.

[4]. Sullivan C, Meigh, J, Lawrence R. Application of the water poverty index at different scales: A cautionary Tale. International water resources association. 2006; 31(3):412- 426.

[5]. Brown A, and Matlock M. A review of water scarcity indices and methodologies. The Sustainability Consortium, University of Arkansas. 2011.

[6]. Sullivan C, Meigh J, Giacomello A, Fediw T, Lawrence P, and Samad M. The water poverty index: development and application at the community scale. Natural Resources Forum. 2003; 27:189-199.

[7]. Manandhar S, Pandey v, Kazama F. Application of water poverty index in Nepales context: A case study of Kali Gandaki River Basin (KGRB). Water Resources Management. 2012; 26: 89- 107.

[8]. Shakya B. Analysis and mapping water poverty of Indrawati Basin. World Wide Fund forNatureNepal Report. 2012;1-70.

[9]. Cho DL, Ogwang T. Water Poverty Index. In Encyclopedia of Quality of Life and Well-Being Research, Springer Netherlands. 2014; 7003-7008.

[10]. Thakur JK, Neupane M, Mohanan AA.Water poverty in upper Bagmati River Basin in Nepal. Water Science. 2017; 1-16.

[11]. Vyver C. Water Poverty Index Calculation: Additive or Multiplicative Function?. Journal of South African Business Research, Article. 2013; ID 615770, 1-11.

[12]. Kujiri T. Importance and necessity of integrated river basin management. Physics and Chemistry of the Earth. 2008;33:278-283.

[13]. El-Gafy,I.K. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector, Ain Shams Engineering Journal. 2018; 9, 173–186.

[14]. Lawrence p, Meigh, JR, Sullivan CA. The Water Poverty Index: An international comparison. Keel Economic Research Papers 2003/18 and Center for Ecology and Hydrology (CEH), Wallingford.2003.

[15]. Franklin SE, Remote Sensing for Sustainable Forest Management. CRC Press. 2001.

[16]. Sullivan CA, Calculating a Water Poverty Index. World Development. 2002; 30(7):1195-1210.

[17]. Sen A. Development as freedom. Anchor Books. A Division of Random House, Inc, New York. 1999.

[18]. Gerten D, Schaphoff S. Terrestrial vegetation and water balance-hydrological evaluation of a dynamic global vegetation model. J.Hydrol. 2004; 286 (1): 249–270.

[19]. Hamoud MA, NourEl-Din MM, Moursy FI. Vulnerability assessment of water resources systems in the Eastern Nile Basin. Water Resources Management. 2009; 23: 2697- 2725.

[20]. Babel MS, Wahid SM. Freshwater under threat: South Asia. Vulnerability assessment of freshwater resources to environmental change. United Nations Environment Programme and Asian InstituteofTechnology, Bangkok. 2009.

[21]. Ty TV, SunadaK Ichikawa Y, OishiS. Evaluation of the state of water resources using modified water poverty index: a case study in the Srepok river basin, Vietnam-Cambodia. International Journal of River Basin Management. 2010;8(3-4): 305- 317.

[22]. Cullis J, Oregan D. Targeting the water-poor through water poverty mapping. Water Policy.2004; 6: 397- 411.

[23]. World Health Organization/United Nations Childrens Fund (WHO/UNICEF). Joint monitoringprograme for water supply and sanitation. Global Water Supply and Sanitation Assessment Report.2000.

[24]. Howard G, Bartram J. Domestic water quantity, level and health. World Health Organization. 2003.

[25]. Han H, Zhao L. Rural income poverty in Western China is water poverty. China and World Economy, .2005;13(5): 76- 88.

[26]. Eckhardt, K. Acomparison of base flow indices which were calculated with seven different base flow separation methods. Journal of Hydrology. 2008; 35(2): 168-173.

[27]. Pandey VP, Babel MS, Shrestha S, Kazam F. A framework to assess adaptive capacity of the water resources sestem in Nepalese river basins. Ecological Indicators. 2011;11(2): 480- 488.

[28]. Smakhtin, VU. Low flow hydrology: a review. Journal of Hydrology. 2001; 240: 147- 186.

[29]. Appelgren B, Klohn W. Management of Water Scarcity: a focus on social capacities and options. Physics and Chemistry of the Earth. 1999; 24(4): 361- 373.

[30]. Brooks N, Adger WN, Kelly PM. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change-Human And Policy Dimensions. 2005; 15: 151- 163.

Assessment of water poverty index in part of Karoon River catchment area

Mohammadreza goodarzi[1]*, Faeze mankavi[2]

Abstract

The purpose of this study was to investigate water stress in the upper part of the basin of the Karoon River basin for analyzing the water status of the area. After data collection, the amount of water poverty index according to the criteria of resources, access, costs, environment and social capacity - economy the was calculated for the upper part of the basin of the Karoon River Basin. After calculating each of the indicators of the Poverty Index, it can be stated that the range of changes in the water poverty index in the studied basin is between 6.6 and 18.2, with the lowest 6.6 points for the environment and the highest score of 18.2 is related to access, the higher the score obtained from each criterion, the better the better the benchmark, which leads to an increase in the value of the poverty indicator and finally indicates that the poverty of the water in that basin is less than Be In general, the water poverty index for the catchment area was 67.65, which is based on the classification of the Oceanographic and Hydrological Center of Wallingford in terms of low water poverty in the range of low to moderate water poverty. According to surveys, the Water Poverty Index can be used as an effective tool in water resource management and a comprehensive water use program to achieve sustainable development goals.

Key words: water poverty index, water tension, karoon river catchment, water resources management.

[1] Assistant Professor of Civil Engineering, Ayatollah Boroujerdi University, Borujerd,Iran. Email: goodarzi6mr@gmail.com
[2] Master's Degree in Water Engineering and Hydraulic Structures, Ayatollah Boroujerdi University, Boroujerd,Iran.