نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۴، ۱۳۹۸، صفحات ۹۸۴-۹۹۸

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 4, 2019, Pages 984-998
DOI: 10.22092/ijwmse.2018.109649.1277

ارزیابی پایداری منابع آب سطحی در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

رقیه آسیابی هیر[۱]، رئوف مصطفی‌زاده[*۲]، مجید رئوف[۳] و اباذر اسمعلی‌عوری[۴]

[۱] کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، [۲] استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی و [۳و۴] دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۰۹

چکیده

وجود و تأمین آب کافی از پیش‌نیازهای بنیادی برای توسعه اقتصادی-اجتماعی جوامع انسانی می‌باشد. هدف مطالعه حاضر، ارزیابی پایداری منابع آب سطحی و عوامل موثر بر آن است. به کمک شاخص‌های تعیین شده شامل: منابع (موجودیت، تغییرپذیری)، دسترسی (دسترسی به بهداشت)، مصارف (مصرف آب خانگی، مصرف آب کشاورزی)، محیط زیست (جریان پایه، پوشش گیاهی طبیعی، جریان زیست‌محیطی) و ظرفیت اجتماعی-اقتصادی (نرخ سواد، جمعیت فعال اقتصادی، اشتغال در بخش غیر کشاورزی) مؤلفه‌های اثرگذار بر پایداری منابع آب سطحی در ۲۱ حوزه آبخیز استان اردبیل ارزیابی شده است. مقادیر شاخص‌ها پس از محاسبه، بر اساس دامنه آن‌ها به‌صورت استاندارد در دامنه صفر تا ۱۰۰ ارائه شدند. امکان مقایسه مولفه‌های مختلف و چند بعدی در حوضه‌های مورد مطالعه، به‌صورت ارائه نتایج در قالب نمودارهای راداری فراهم شده است. معیار منابع که شامل سرانه آب و ضریب تغییرات بارش است، در حوضه‌های شمس‌آباد و هیر به‌ترتیب با مقادیر استاندارد ۱۶ و ۹۳ پایین‌ترین و بالاترین مقدار را دارند. حوضه‌های نیر، پل‌الماس و دوست‌بیگلو از نظر معیار استاندارد شده محیط زیست با مقادیر ۶۰، ۵۸ و ۵۴ در شرایط مطلوب و سایر حوضه‌ها در وضعیت بسیار نامناسبی قرار دارند. مقدار معیار ظرفیت در حوضه پل الماس بیشتر و پل سلطان کمتر از بقیه حوضه‌ها می‌باشد. در معیار دسترسی، حوضه‌های شمس‌آباد و احمدکندی به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را دارند. متوسط مقادیر استانداردسازی شده معیارهای منابع، مصارف، دسترسی، ظرفیت و محیط زیست به‌ترتیب برابر ۵۰، ۶۰، ۴۲، ۳۸ و ۲۵ است. در مجموع، نتایج نشان داد که معیارهای دسترسی و منابع دارای تغییرات بیشتری بوده، معیار محیط زیست در شرایط نامطلوبی قرار دارد. قابل ذکر است که حوضه‌های مرکزی و شرق استان دارای مقادیر مشابهی از نظر معیارها هستند.

واژه‌های کلیدی: معیار منابع، آب در دسترس، جریان زیست محیطی، ظرفیت اقتصادی-اجتماعی، مصارف

مقدمه

توجه به امنیت آبی و مدیریت موزون و پایدار به همراه نگاهی ویژه به بحران‌های جدی جهانی در سال‌های آتی ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. امروزه تعدد نیازهای استفاده از آب مانند کشاورزی، شرب و صنعت در کنار نیازهای زیست‌محیطی اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. رشد سریع جمعیت مهمترین عامل کاهش سرانه آب تجدیدشونده کشور و حایز اهمیت در دهه‌های گذشته بوده است. به‌منظور بهبود و ارتقاء عملکرد بخش آب در هر کشور و استفاده بهینه از

[*] مسئول مکاتبات: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir

منابع آب موجود، باید عملکرد این صنعت به‌طور مستمر ارزیابی شده و نقاط ضعف و قوت آن مشخص شود. یکی از ابزارهای حرکت به سوی تمدن و رفاه عمومی و توسعه پایدار جوامع، استفاده بهینه از منابع طبیعی از جمله منابع آب است. عواملی همچون رشد جمعیت، نیاز به غذای بیشتر، ضرورت ارتقای سطح بهداشت و رفاه اجتماعی، توسعه صنعتی و حفاظت اکوسیستم‌ها، تقاضای آب را روز به روز بیشتر می‌کند (Arabi-Yazdi و همکاران، ۲۰۰۹). به همین دلیل، انتخاب رویکرد مناسب و تاثیرگذار، در جهت مشکلات و معضلات پیش روی مدیریت منابع آب، ضرورت پیدا کرده است و اتخاذ نگرشی واحد با عنوان مدیریت جامع منابع آب در این زمینه می‌تواند مفید باشد. وجود و تقویت یکپارچگی زیست‌محیطی و هماهنگی میان اجزای مختلف زیست‌بوم می‌تواند موجب افزایش توانایی مقابله با بحران آب شده، به‌طور مداوم مزایایی برای جامعه از طریق ارائه خدمات اکوسیستم فراهم می‌کند (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳). تشدید بحران آب در سال‌های آینده با توجه به افزایش جمعیت، توسعه صنایع، افزایش آلودگی‌ها، تخریب جنگل‌ها و پوشش گیاهی و خشکسالی اجتناب‌ناپذیر خواهد بود، که حل این بحران نیازمند همکاری و اراده جهانی است و آینده‌نگری و برنامه‌ریزی برای منابع آبی در جهان امری ضروری و مهم به نظر می‌رسد. با توجه به وجود عوامل مؤثر بر وضعیت منابع آبی یک کشور یا منطقه و یا یک حوضه، تغییرات کوچک آب و هوایی می‌تواند مشکلات بسیار پیچیده‌ای را برای منابع آب به‌ویژه برای مناطق خشک و نیمه‌خشک ایجاد کند. از جمله تاثیرات مهم تغییر اقلیم، غیر یکنواخت بودن توزیع بارش، گسترش خشکسالی‌ها و تداوم آن‌ها و در نهایت تاثیر منفی بر منابع آب در سطح جهان است که این امر سبب ایجاد تنش‌های سیاسی کشورها در زمینه منابع آب و حفظ آن در محدوده سرزمین خود شده است (Asiabi و همکاران، ۲۰۱۶). آشنایی با الگوهای مدیریتی و مصرفی جدید و البته واسنجی شده با شرایط متفاوت اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی ایران، در بخش منابع آب در سطح جهان مانند شاخص فقر آب و یا شاخص ردپای آب می‌تواند دریچه‌ای متفاوت و مناسب در زمینه مدیریت آب نسبت به گذشته، به روی مسئولین و دست‌اندرکاران بگشاید. به استناد مطالعات طرح جامع آب کشور و گزارش وزارت نیرو، در حال حاضر منابع آب تجدیدپذیر کل کشور به ۱۲۳ میلیارد مترمکعب بالغ می‌شود (Fahmi، ۲۰۱۴؛ ICCIM، ۲۰۱۳). مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد که از کل منابع آب تجدیدشونده کشور حدود ۹۳ میلیارد مترمکعب برای مصارف بخش‌های کشاورزی، صنعت و معدن و خانگی برداشت می‌شود که حدود ۸۶ میلیارد مترمکعب آن به بخش کشاورزی، شش میلیارد مترمکعب به بخش خانگی و یک میلیارد مترمکعب به بخش صنعت و نیازهای متفرقه دیگر اختصاص دارد و این نشان‌دهنده وضعیت بحرانی در کشور است (Arabi-Yazdi و همکاران، ۲۰۰۹). در سال‌های اخیر، لزوم تدوین و ارائه شاخص‌های جدید جامع و چند بعدی برای ارزیابی وضعیت موجود و پیش‌بینی روند آتی منابع آب (سطحی و زیرزمینی) از اهمیت بالایی برخوردار شده است. در همین راستا، بررسی معیارهای اثرگذار بر منابع آب سطحی شامل منابع[1] (موجودیت[2]، تغییرپذیری[3])، دسترسی[4] (دسترسی به بهداشت[5])، مصارف[6] (مصرف آب خانگی[7]، مصرف آب کشاورزی[8])، محیط زیست[9] (جریان پایه[10]، پوشش گیاهی[11]، جریان Q95) و ظرفیت اجتماعی-اقتصادی[12] (نرخ سواد[13]، جمعیت فعال اقتصادی[14]، اشتغال در بخش غیر کشاورزی[15]) از اهمیت بالایی برخوردار است (Alessa و همکاران، ۲۰۰۸). تحقیقات متعددی در خصوص ارزیابی وضعیت منابع آب در دنیا صورت گرفته است. البته بیشتر مطالعات در مقیاس کلان

[1] Resources
[2] Availability
[3] Variability
[4] Access
[5] Access to sanitation
[6] Use
[7] Domestic water use
[8] Agricultural water use
[9] Environment
[10] Base flow
[11] Vegetation coverage
[12] Social- economic capacity
[13] Literacy rate
[14] Economically active population
[15] Non-agricultural employment

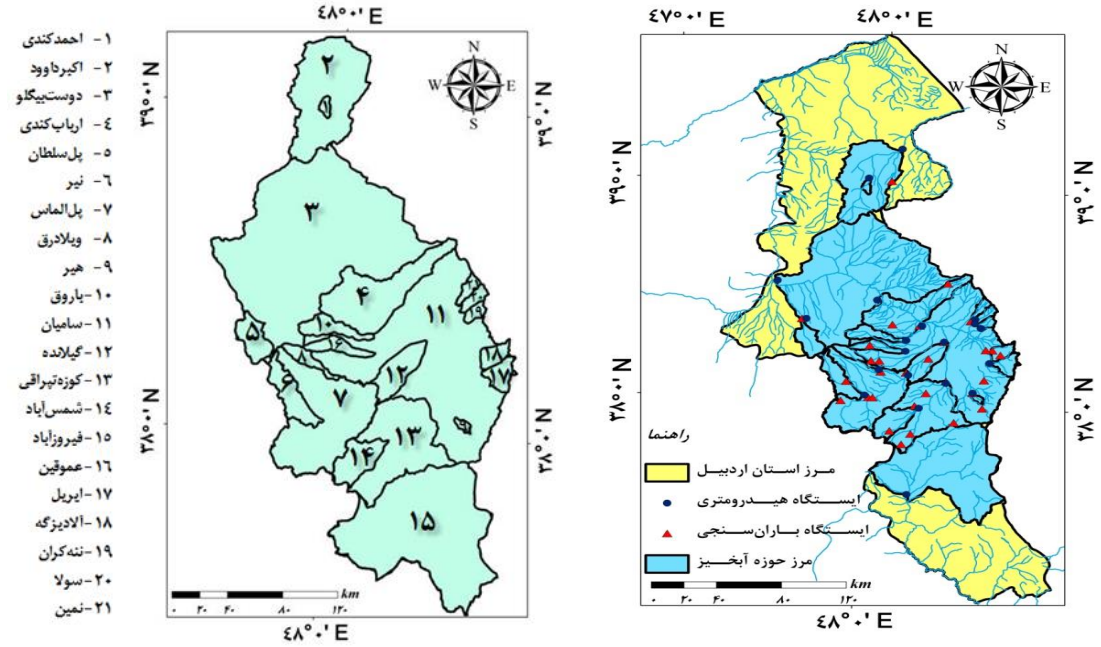
بوده، مطالعات در سطح زیرحوضه‌ها بسیار اندک می‌باشد. در زیر به نمونه‌هایی از موارد مرتبط اشاره شده است. Lawrence و همکاران (۲۰۰۳)، مؤلفه‌های اثرگذار بر منابع آب سطحی را در مقیاس‌های ملی و با مقایسه ۱۴۷ کشور، بررسی کردند. آن‌ها این کشورها را با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی، فیزیکی و اجتماعی، رتبه‌بندی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد، کشورهای فنلاند و هائیتی به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقدار این معیارها را داشتند. Heidecke (۲۰۰۶) پارامترهای اثرگذار بر تغییرپذیری منابع آب سطحی را در مقیاس محلی به‌عنوان یک ابزار پایش در بخش آب منطقه‌ای در جنوب آفریقا به‌کار گرفت. نتایج به‌دست آمده تمایز بین شمال و جنوب کشور را، از لحاظ رتبه‌بندی این معیارها نشان می‌دهد.

Yahaya و همکاران (۲۰۰۹) با تمرکز بر متغیرهایی مانند منابع آب، دسترسی به آب سالم، استفاده از آب و اثرات زیست‌محیطی به‌عنوان ابزاری یکپارچه، وضعیت آب مناطق محلی در ایالت اوندو نیجریه را ارزیابی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مناطق اودو، ایلاج و مناطق دولت محلی ایرل، مناطق دارای تنش آبی بالا همراه با شاخص توسعه انسانی پایین در این ایالت هستند، در حالی‌که مناطقی مانند اوسو، استئوتومی، غرب اوندو و مناطق شرق اوندو حکومت‌های محلی دارای دسترسی عادلانه به آب قابل حمل و بهبود شاخص توسعه انسانی است. Brown و Matlock (۲۰۱۱) وجود شاخص‌های مهم و یکسان برای مصرف آب، موجودیت و فقر آب را مشکل اساسی بحران آب بیان کرده‌اند. Manandhar و همکاران (۲۰۱۲)، ۱۰ معیار و ۱۲ زیرمعیار را برای ارزیابی منابع آبی در حوزه آبخیز رودخانه‌ی کالی‌گاندکی در کشور نپال مورد محاسبه قرار دادند. نتایج نشان داد، معیارهای دسترسی و منابع در سطح حوزه آبخیز و معیارهای مصارف، محیط زیست و ظرفیت در زیرواحدهای حوزه آبخیز دارای تغییرات بیشتری هستند. Bozi و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهشی به ابعاد بحران آب و چالش‌ها و راه‌کارهای حل این مسئله در خاورمیانه پرداختند و اظهار کردند که ایجاد یک برنامه و اقدام جهانی به‌منظور تضمین دسترسی به آب سالم از موارد ضروری است. تدوین سیاست‌های ملی و منطقه‌ای و افزایش کمک‌های بین‌المللی به کشورهای در حال توسعه و توسعه نیافته به‌ویژه در منطقه خاورمیانه در کنار این برنامه جهانی برای حل این معضل بسیار مؤثر خواهد بود. Shahedi و Talebi (۲۰۱۳) در مطالعه خود چند شاخص کاربردی به‌منظور بررسی تعادل منابع آب و پایداری توسعه ارائه دادند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که نسبت مصرف به آب تجدیدپذیر در حوزه آبخیز قره‌قوم معادل ۱/۲۴ می‌باشد که با توجه به استانداردهای موجود، نشانه عدم تعادل در بیلان است. سرانه آب تجدیدپذیر (شاخص فالکن‌مارک) نیز در حوزه آبخیز معادل ۵۶۲ مترمکعب به ازای هر نفر به‌دست آمد که نشان‌دهنده ناکافی بودن آب مورد نیاز برای تامین اهداف توسعه پایدار است. Shirdeli (۲۰۱۴)، در ارزیابی پایداری منابع آب ایران و حوضه قره‌قوم به‌وسیله شاخص‌های بین‌المللی، به این نتیجه دست یافت که طبق شاخص فالکن‌مارک در ایران، میزان آب قابل دسترس در سال‌های ۱۳۳۴ و ۱۳۶۹ به‌ترتیب ۶۲۰۳ و ۲۰۲۵ مترمکعب و در سال پایه چشم‌انداز ۱۳۸۶ حدود ۱۰۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال و شاخص پایداری ۱/۱۲ است و در افق ۱۴۰۴ این مقدار به ۸۱۶ مترمکعب به ازای هر نفر در سال و شاخص پایداری ۰/۹۹ خواهد رسید. در جامعه جهانی، شروع تنش آبی ۱۷۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال پذیرفته شده است و شاخص پایداری نباید بیش از ۰/۷ حتی در مناطق خشک باشد. Sabeti و همکاران (۲۰۱۵) وضعیت آب را در حوزه آبریز کارون بزرگ و استان‌های این محدوده را مورد بررسی قرار دادند. Asiabi و همکاران (۲۰۱۸) تغییرات مکانی شاخص فقر آب در استان اردبیل را مورد ارزیابی قرار دادند و ضمن اولویت‌بندی حوضه‌ها نتیجه گرفتند که مقدار متوسط شاخص فقر آب برای کل حوضه‌های مطالعه شده در استان اردبیل ۴۳ به‌دست آمد که طبق طبقه‌بندی مرکز اکولوژی و هیدرولوژی والینگفورد، فقر آبی شدیدی را دارا است. مطالعات در این حوضه نشان داد که شاخص‌های ظرفیت و مصرف شرایط نامطلوبی دارد. در مجموع، بر اساس سوابق تحقیق می‌توان گفت که بیشتر مطالعات انجام شده در

مقیاس بزرگ بوده، مطالعات در سطح حوضه، محدود است. همچنین، در مطالعات ارزیابی عوامل موثر بر منابع آب در دسترس تک بعدی بوده، مطالعات با رویکرد جامع و در نظر گرفتن همه عوامل، محدود است. قسمت اعظم استان اردبیل را مناطق مرتفع و کوهستانی تشکیل داده است که رودخانه‌های متعدد در آن جریان دارند، کاهش کمیت و کیفیت منابع آب در بخش‌های مختلف استان، تحلیل وضعیت منابع آب برای تدوین راه‌کارهای مدیریتی را ضروری کرده است. با توجه به تغییرات و تنوع توپوگرافی و کاربری اراضی در سطح استان اردبیل، هدف از این پژوهش ارزیابی منابع آب سطحی و پایداری آن در تعدادی از حوزه‌های آبخیز استان اردبیل می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان اردبیل در شمال غرب کشور و در بین نصف‌النهارهای ´۱۵ °۴۷ و ´۵۶ °۴۸ طول شرقی و مدارهای ´۹ °۳۷ و ´۴۲ °۳۹ عرض شمالی قرار گرفته است. مساحت استان اردبیل ۱۷۹۵۳ کیلومتر مربع می‌باشد که حدود ۱/۰۹ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. ارتفاع متوسط استان از ۴۰ تا ۴۸۱۱ متر متغیر است که این اختلاف ارتفاع دامنه تغییراتی در حدود ۲۰ درجه سانتی‌گراد را در متوسط دمای سالانه سبب می‌شود که از دیگر خصوصیات اقلیمی استان می‌باشد (Mehry و همکاران، ۲۰۱۷). غرب استان اردبیل دارای بیشترین مجموع بارش سالیانه است. پوشش گیاهی در این منطقه به‌صورت استپی بوده، در شمال غرب آن پوشش نیمه‌جنگلی نیز مشاهده می‌شود. در پژوهش حاضر، وضعیت آسیب‌پذیری منابع آب سطحی در ۲۱ حوزه آبخیز استان اردبیل در یک دوره ۲۳ ساله در فاصله ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۰ مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت حوزه‌های آبخیز، ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه‌های آبخیز، ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری مورد مطالعه در استان اردبیل

روش پژوهش: به‌منظور تعیین پایداری منابع آب سطحی، واحدهای هیدرولوژیک مورد مطالعه تعیین شد و از آمار و اطلاعات هواشناسی، هیدرومتری، جمعیت و نیز گزارش‌های موجود استفاده شد. سپس، با استفاده ازروابط ارائه شده، مقادیر استاندارد مولفه‌های پایداری مورد محاسبه قرار گرفت. در ادامه، به‌منظور مقایسه معیارهای مختلف در حوضه‌های مورد مطالعه از نمودارهای اسپایدر استفاده شد. در انتها،

مقایسه مقادیر مولفه‌های مختلف در بخش‌های مختلف استان به‌صورت نقشه نمایش داده شد. نحوه محاسبه معیارهای ارزیابی پایداری منابع آب سطحی در تحقیق حاضر، در ادامه ارائه شده است.

۱. معیار منابع (R): این معیار دسترسی طبیعی به منابع آب، در منطقه مورد مطالعه را مورد ارزیابی قرار می‌دهد. مقادیر بالای این معیار نشان‌دهنده قابلیت استفاده فراوان نسبت به محاسبه تغییرپذیری بین سال‌ها و فصلی بوده، به‌وسیله دو زیر معیار موجودیت و تغییرپذیری ارزیابی می‌شود.

الف- زیرمعیار موجودیت (R_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 (Alessa و همکاران، ۲۰۰۸). همان‌طور که در رابطه (۱) نشان داده شده است، این معیار با سرانه منابع آب سالانه اندازه‌گیری شده و با استفاده از روش بیشینه، نرمال‌سازی شد.

$$R_1 = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، X_i مقدار سرانه منابع آب (متر مکعب)، X_{min} و X_{max} پایین‌ترین و بالاترین مقادیر مربوط به سرانه منابع آب است. با استفاده از رابطه (۱) برای هر منطقه مقادیری بین صفر تا صد به‌دست می‌آید. مقدار صفر به فقیرترین سطح یعنی بالاترین درجه از فقر آب و ۱۰۰ به شرایط مطلوب اختصاص می‌یابد. برای محاسبه حجم آبدهی کل در طول دوره آماری (۱۳۹۰-۱۳۶۸)، از داده‌های دبی روزانه هر حوضه استفاده شد. بدین صورت که ابتدا متوسط دبی‌های روزانه هر سال، در هر حوضه، به‌صورت مجزا محاسبه شد. سپس، از دبی‌های سالانه محاسبه شده، در طول ۲۳ سال، میانگین‌گیری انجام گرفت. در مرحله بعد، با استفاده از متوسط دبی به‌دست آمده برای هر حوضه، حجم آبدهی کل در طول دوره آماری مورد مطالعه محاسبه شد. سپس، برای محاسبه سرانه آب در هر حوضه از داده‌های جمعیت روستایی به ثبت رسیده در سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، استفاده شد.

ب- زیرمعیار تغییرپذیری (R_2): برای تخمین این معیار از ضریب تغییرات[1] بارندگی استفاده شده است. در این معیار، هرچه میزان تغییرات بارندگی بالاتر باشد، اطمینان موجودیت منابع آب در زمان و مکان کمتر است. اطمینان کمتر، خطرات ناشی از تغییر اقلیم و آسیب‌پذیری منابع را نشان می‌دهد (Hamouda و همکاران، ۲۰۰۹). ضریب تغییرات مساوی یا بیشتر از ۳۰ درصد، آسیب‌پذیرترین وضعیت را نشان می‌دهد (Babel و Wahid، ۲۰۰۹). با استفاده از رابطه (۲) مقادیر معیار مذکور نرمال‌سازی شد (Ty و همکاران، ۲۰۱۰).

$$R_2 = \frac{X_i}{0.3} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، X_i ضریب تغییرات بارندگی مربوط به هر منطقه است و در صورتی‌که X_i مساوی ۰/۳ باشد R_2 برابر ۱۰۰ می‌شود.

۲. معیار دسترسی (A): دسترسی کافی به منابع آب و امکانات بهداشتی به مراعات اصول بهداشتی بهتر تشویق می‌کند که برای رهایی از فقر شدید لازم است (Curtis و همکاران، ۲۰۰۰). در این معیار، جمعیت با دسترسی مناسب به مقدار کافی از آب آشامیدنی سالم و بهداشت، برای سلامتی بیشتر و رفاه نشان داده می‌شود (Hamouda و همکاران، ۲۰۰۹). دسترسی کافی به آب، منجر به سرعت دسترسی به آب می‌شود که می‌تواند برای فعالیت‌های اقتصادی و تولیدی استفاده شود. این معیار با زیرمعیار دسترسی به بهداشت (A_1) محاسبه شد که در رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$A_1 = \frac{X_s}{X} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن، X_s جمعیت با امکانات بهداشتی، X کل جمعیت هستند و پارامتر A_1 بین صفر تا ۱۰۰ متغیر می‌باشد که مقادیر بالا بیانگر مطلوب بودن وضعیت از نظر دسترسی به منابع آب و بهداشت را بیان می‌کند.

۳. معیار مصارف (U): در ارتباط با بخش مصرف، مصرف آب برای اهداف مختلف مدنظر بوده، میزان مصرف آب و نوع بهره‌برداری از منابع آبی را بررسی می‌کند. مصارف اصلی آب، مصرف خانگی و کشاورزی در نظر گرفته می‌شود.

[1] Coefficient of variation

الف- زیرمعیار مصرف آب خانگی (U_1): نشان‌دهنده وضعیت فعلی مصرف منابع آب در فعالیت‌های خانگی روزانه (پخت و پز، مصارف بهداشتی و شست‌وشو) و پیش‌بینی‌های آینده آن است (Cullis و Oregan، ۲۰۰۴). این شاخص به‌وسیله سرانه مصرف آب خانگی روزانه اندازه‌گیری شده و با استفاده از روش بیشینه نرمال‌سازی شده است (رابطه ۴).

$$U_1 = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \times 100 \quad (۴)$$

که در آن، X_i مصرف آب خانگی، X_{min} کمینه آب مورد نیاز برای بهداشت خانگی و X_{max} بیشینه آبی که همه نیازهای آب خانگی را برآورده می‌کند (Howard و Bartram، ۲۰۰۳). قابل ذکر است که کمینه سرانه آب روزانه هر نفر ۲۰ لیتر و بیشینه سرانه آب روزانه هر نفر ۱۰۰ لیتر بر اساس استاندارد جهانی و نیز چهارچوب روش محاسبه فقر آب، در نظر گرفته شده است. بر اساس آمار مصارف هر خانوار و بر اساس اطلاعات ارائه شده شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل در سال ۱۳۹۳، مقدار مصرف متوسط مصرف هر واحد خانگی برابر ۴۲۰ تا ۴۵۸ (متوسط ۴۳۹) لیتر در روز محاسبه شده است که با احتساب بعد خانوار ۳/۳۵ (بر اساس سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۹۰) متوسط مقدار آب مصرفی در منطقه مورد مطالعه برابر ۱۳۱ لیتر در روز به‌دست خواهد آمد. به‌عبارتی، در رابطه ارائه شده فقط اعداد کمینه و بیشینه استاندارد جهانی مورد استفاده قرار گرفته است و متوسط آب مصرفی استفاده نمی‌شود.

ب- زیرمعیار مصرف آب کشاورزی (U_2): این زیرمعیار امکانات آبیاری موجود در یک منطقه را نشان می‌دهد. توسعه کشاورزی آبی محرک بزرگی برای رشد اقتصادی بوده، کاهش فقر، ناشی از آن سهم زیادی در بهبود معیشت دارد (Han و Zhao، ۲۰۰۵). برای ارزیابی مصرف آب کشاورزی، از نسبت زمین‌های آبی به کل زمین‌های کشت شده استفاده می‌شود (Sullivan و همکاران، ۲۰۰۳). مقادیر بالای این شاخص، نشان‌دهنده فراوانی مصرف آب برای آبیاری است که تولیدات کشاورزی، افزایش فرصت‌های شغلی، تثبیت درآمد و برآورده شدن نیازهای مختلف خانواده را بهبود می‌بخشد (رابطه ۵).

$$U_2 = \frac{X_i}{X} \times 100 \quad (۵)$$

که در آن، X_i زمین‌های آبی، X کل زمین‌های کشت شده می‌باشد.

۴. معیار محیط زیست (E): حفظ کیفیت محیطی و سلامت اکوسیستم برای رسیدن به مصرف پایدار منابع آب، اهمیت زیادی دارد. این جزء به‌وسیله سه زیرمعیار ارزیابی می‌شود.

الف- جریان پایه (E_1): جداسازی اجزای جریان پایه از طریق تحلیل هیدروگراف جریان، اطلاعاتی راجع به ویژگی ذخایر طبیعی که رودخانه را تغذیه می‌کند، در اختیار قرار می‌دهد. ویژگی‌های جریان پایه در ارزیابی کیفیت آب و کمیت جریان مفید بوده، می‌تواند برای اعتبارسنجی مدل‌های هیدرولوژی به‌کار رود (Hasani و همکاران، ۲۰۱۲). در این تحقیق از روش الگوریتم یک پارامتره استفاده شد. فیلتر یک پارامتره نیاز به تعیین پارامتر ثابت بازگشت (K) دارد که با استفاده از تحلیل شاخه فروکش جریان (رابطه ۶) محاسبه شده است (Eckhardt، ۲۰۰۸).

$$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_i \quad (۶)$$

که در آن، $q_{b(i)}$ مقادیر دبی پایه، $q_{b(i-1)}$ مقدار دبی پایه در روز قبل، $q_{(i)}$ مقادیر دبی روزانه جریان رودخانه و K پارامتر ثابت فروکش جریان می‌باشد. مقدار پارامتر K در رودخانه‌های مورد مطالعه متفاوت بوده، در دامنه اعداد ۰/۵۵۹ تا ۰/۹۰۵ متغیر است.

ب- پوشش گیاهی طبیعی (E_2): دلایل از بین رفتن پوشش گیاهی شیوه‌های ناپایدار استفاده از اراضی، تغییر کاربری، چرای بیش از حد، قطع غیر قانونی درختان است که نشان‌دهنده درجه انحراف محیط زیست از حالت طبیعی است (Pandey و همکاران، ۲۰۱۱). کاهش پوشش گیاهی نشان‌دهنده اختلال اکوسیستم طبیعی، اختلال چرخه هیدرولوژیکی، احتمال افزایش فرسایش خاک و رسوب‌گذاری رودخانه است (Hamouda و همکاران، ۲۰۰۹)، بنابراین، آسیب‌پذیری منابع آب و اکوسیستم افزایش می‌یابد (رابطه ۷).

$$E_2 = \frac{X_i}{X} \times 100 \quad (۷)$$

که در آن، X_i مقدار پوشش گیاهی طبیعی و X کل منطقه شامل پوشش گیاهی طبیعی و دیگر کاربری‌های اراضی می‌باشد.

ج- جریان Q95 (E_3): با توجه به تغییرات و افزایش بهره‌برداری از منابع آب، بررسی اثرات زیست‌محیطی جریان‌های کم (جریان زیست‌محیطی یا جریان زنده) در مطالعات و برنامه‌ریزی منابع آب از موارد حائز اهمیت می‌باشد (Maran، ۲۰۰۲). در این تحقیق، از شاخص جریان Q95 برابر دبی با احتمال وقوع برابر یا بیشتر از ۹۵ درصد در منحنی تداوم جریان استفاده شد. این زیرمعیار با استفاده ازرابطه زیر استانداردسازی شد (رابطه ۸).

$$E_3 = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (۸)$$

که در آن، X_i مقدار شاخص جریان Q95 در هر حوضه و X_{min} و X_{max} مقادیر کمینه و بیشینه شاخص دبی جریان Q95 در حوضه‌های مورد مطالعه است. مقادیر Q95 پس از رسم منحنی تداوم جریان دبی ماهانه حوضه‌های مورد مطالعه استخراج شد. مقادیر مذکور در مقیاس زمانی ماهانه به‌دلیل تطابق با داده‌های آبدهی و بارش ماهانه مورد استفاده در محاسبه شاخص‌های قبلی بوده است.

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 (Appelgren و Klohn، ۱۹۹۹). از دو زیرمعیار ظرفیت اجتماعی و ظرفیت اقتصادی برای ارزیابی این بخش استفاده می‌شود.

الف- ظرفیت اجتماعی (C_1): برای ارزیابی زیرمعیار ظرفیت اجتماعی از دو مؤلفه نرخ سواد (C_{1i}) و جمعیت فعال اقتصادی (C_{1ii}) می‌توان استفاده کرد. شاخص نرخ سواد به‌عنوان درصدی از جمعیت باسواد با سن ۱۵ سال و بالاتر تعریف شده است. مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده افراد باسوادتر بوده که توانایی خواندن، دسترسی به اطلاعات، درک مسائل مربوط به آبو در برخی موارد توانایی انجام دادن اقداماتی برای مدیریت آب را دارند (Brooks و همکاران، ۲۰۰۵). محاسبات بر مبنای رابطه (۹) انجام شده است.

$$C_{1i} = \frac{X_i}{X} \times 100 \quad (۹)$$

که در آن، X_i جمعیت باسواد و X کل جمعیت است.

جمعیت فعال اقتصادی به‌عنوان درصدی از جمعیت با سن ۶۰-۱۰ سال با قدرت فیزیکی مقابله با فقر و تنش آب تعریف می‌شود و مقادیر بالاتر، نشان‌دهنده ظرفیت بالاتر افراد برای مقابله با تغییرات آب است (Pandey و همکاران، ۲۰۱۱). محاسبات با استفاده از رابطه (۱۰) انجام شده است.

$$C_{1ii} = \frac{X_i}{X} \times 100 \quad (۱۰)$$

که در آن، X_i جمعیت ۶۰-۱۰ ساله و X کل جمعیت می‌باشد.

ب- ظرفیت اقتصادی (C_2): برای ارزیابی این زیرمعیار از اطلاعات اشتغال در بخش غیر کشاورزی (C_{2ii}) استفاده می‌شود. گوناگونی استمرار معاش در بخش غیر کشاورزی، قابلیت اطمینان از درآمد و در نتیجه ظرفیت اقتصادی به‌وسیله مردم برای مشکلات مربوط به مدیریت آب را افزایش می‌دهد (Brooks و همکاران، ۲۰۰۵). محاسبات در رابطه (۱۱) ارائه شده است.

$$C2_{ii} = \frac{X_i}{X} \times 100 \quad (۱۱)$$

که در آن، X کل جمعیت و X_i جمعیت شاغل در بخش غیر کشاورزی است.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها برای تجسم بهتر معیارها در هر مقیاس، از تحلیل گرافیکی و رسم نمودارهای اسپایدر پلات استفاده شد.

نتایج و بحث

به‌منظور محاسبه سرانه آب در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در استان اردبیل، حجم آبدهی کل به‌دست آمده برای هر حوضه بر تعداد جمعیت حوضه مورد نظر، تقسیم شد. نتایج حاصل از حجم آبدهی کل و جمعیت و در نهایت سرانه آب در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.

بر طبق نتایج جدول ۱، حوضه‌های ویلادرق و دوست‌بیگلو به‌ترتیب با مقادیر ۲/۲۸ و ۲۰۲/۳۷ دارای کمترین و بیشترین مقدار حجم آبدهی کل در منطقه مورد مطالعه بر اساس دوره آماری ۲۴ ساله هستند.

جدول ۱- حجم آبدهی کل ایستگاه‌های استان اردبیل در طول سال‌های ۱۳۹۱-۱۳۶۸

حوزه آبخیز	حجم آبدهی کل (میلیون مترمکعب)	حوزه آبخیز	حجم آبدهی کل (میلیون مترمکعب)	حوزه آبخیز	حجم آبدهی کل (میلیون مترمکعب)
کوزه‌تپراقی	۲۴/۲۸	پل‌سلطانی	۲۳/۳۷	گیلانده	۸۸/۴۶
فیروزآباد	۹۸/۴۵	پل‌الماس	۹۰/۴۱	نمین	۳/۱۲
عموقین	۶/۷۵	باروق	۶/۷۱	نیر	۳۷/۳۰
شمس‌آباد	۱۰/۷۸	ایریل	۹/۷۹	ننه‌کران	۲/۶۲
سولا	۶/۵۰	اکبرداوود	۴/۰۹	ارباب‌کندی	۸۶/۹۰
دوست‌بیگلو	۲۰۲/۳۷	هیر	۸/۳۷	آلادیزگه	۶/۸۰
احمدکندی	۵/۴۵	ویلادرق	۲/۲۸	سامیان	۱۵۴

جدول ۲- آمار جمعیت حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در استان اردبیل

حوزه آبخیز	جمعیت	حوزه آبخیز	جمعیت	حوزه آبخیز	جمعیت
کوزه‌تپراقی	۱۴۲۶۴	پل‌سلطانی	۱۵۳۸	گیلانده	۴۷۰۶۰
فیروزآباد	۴۲۷۶۱	پل‌الماس	۱۶۹۵۲	نمین	۲۳۱۸
عموقین	۴۷۱۲	باروق	۲۹۱۶	نیر	۳۰۶۸
شمس‌آباد	۲۱۱۱	ایریل	۴۵۷۰	ننه‌کران	۱۳۰۷
سولا	۱۶۸۶	اکبرداوود	۲۱۳۱۶	ارباب‌کندی	۲۰۳۷۶۸
دوست‌بیگلو	۲۷۶۴۵۰	هیر	۶۱۰	آلادیزگه	۹۰۸۶
احمدکندی	۱۷۴۱	ویلادرق	۴۵۶	سامیان	۱۸۳۶۳۱

جدول ۳- سرانه آب حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در استان اردبیل

حوزه آبخیز	سرانه آب (مترمکعب برای هر نفر)	حوزه آبخیز	سرانه آب (مترمکعب برای هر نفر)
کوزه‌تپراقی	۱۷۰۱/۸۸	آلادیزگه	۷۴۸/۲۸
فیروزآباد	۲۳۰۲/۲۲	ایریل	۲۱۴۲/۹۲
عموقین	۱۴۳۲/۱۹	اکبرداوود	۱۹۲/۰۳
شمس‌آباد	۵۱۰۸/۵۳	هیر	۱۳۷۲۰/۲۹
سولار	۳۸۵۳/۱۳	ویلادرق	۴۹۹۰/۷۱
دوست‌بیگلو	۷۳۲/۰۱	گیلانده	۱۸۷۹/۷۵
احمدکندی	۳۱۲۸/۹۷	نمین	۱۳۴۷/۸۸
پل‌سلطانی	۱۵۱۹۲/۱۱	نیر	۱۲۱۵۹/۲۲
پل‌الماس	۵۳۳۳/۰۰	ننه‌کران	۲۰۰۷/۷۵
باروق	۲۳۰۰/۷۸	ارباب‌کندی	۴۲۶/۴۹
سامیان	۸۳۸/۶۳	-	-

بر اساس آمار و اطلاعات و محاسبات انجام شده، مقادیر هر یک از زیرمعیارها به تفکیک حوضه‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اثرگذار بر تغییرات منابع آب سطحی، به تفکیک حوزه‌های آبخیز مطالعه شده در استان اردبیل در جدول ۵ ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۵، معیار منابع در حوضه شمس‌آباد کمترین و در دو حوضه نیر و هیر بیشترین مقدار را دارد. دلیل وجود این شرایط می‌تواند وجود بیشینه ضریب تغییرات بارندگی (۱۰۰) و موجودیت منابع آب سطحی نسبتا پایین (۳۳) در حوضه شمس‌آباد باشد. در مقابل، به‌ترتیب در حوضه‌های نیر و هیر ضریب تغییرات بارندگی در

سطح بسیار پایین و موجودیت منابع آب سطحی در سطح بسیار بالا قرار دارد. مقادیر معیار محیط زیست بر اساس مقادیر سه زیرمعیار جریان پایه، جریان زیست‌محیطی و پوشش گیاهی در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس این مقادیر حوضه‌های سولا، نمین، ننه‌کران، آلادیزگه، ایریل و اکبرداوود دارای کمترین مقدار معیار محیط زیست و حوضه‌های نیر و پل‌الماس دارای بیشترین مقدار این معیار می‌باشند. در حوضه‌هایی که مقدار معیار محیط زیست در سطح بسیار پایین قرار دارد، زیرمعیارهای جریان پایه، جریان زیست‌محیطی و پوشش گیاهی، مقادیر پایین‌تری را نسبت به سایر حوضه‌ها دارا هستند، در حالی‌که در حوضه‌های نیر و پل‌الماس مقادیر این سه زیرمعیار دارای سطح متوسط به بالا می‌باشد. مقادیر معیار ظرفیت که از دو زیرمعیار ظرفیت اجتماعی و ظرفیت اقتصادی افراد ساکن در حوضه‌ها به‌دست آمده، در دو حوضه شمس‌آباد و پل‌سلطانی کمترین و در حوضه ننه‌کران بیشترین مقدار را دارد.

جدول ۴- مقادیر زیرمعیارهای استانداردسازی شده مؤلفه‌های تغییرپذیری منابع آب سطحی در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

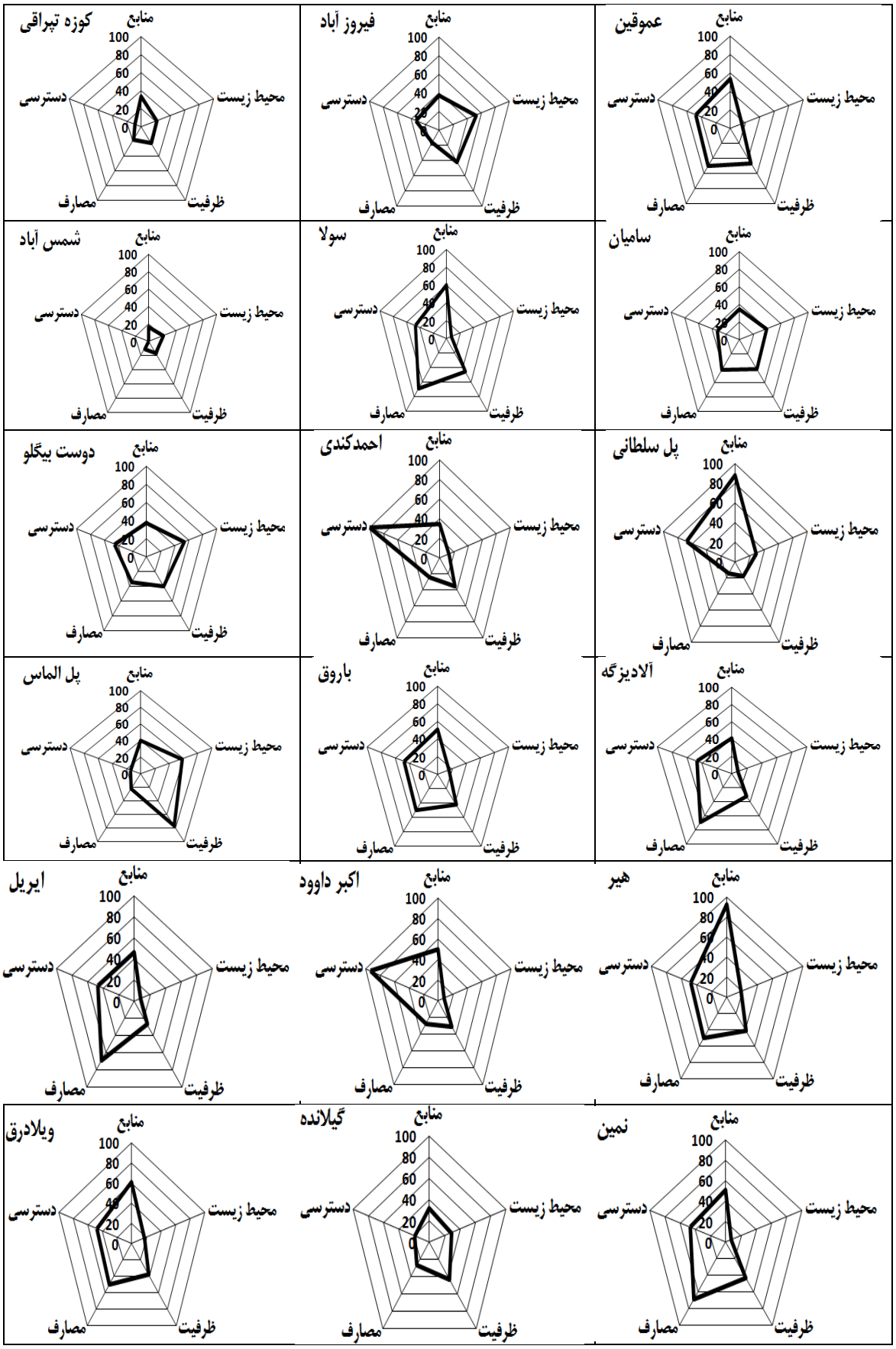
حوضه‌ها	مصرف آب خانگی	مصرف آب کشاورزی	ضریب تغییرات بارندگی	موجودیت منابع آب	جریان پایه	شاخص Q95	پوشش گیاهی	جمعیت فعال اقتصادی	نرخ سواد	جمعیت شاغل در بخش غیرکشاورزی	دسترسی به آب آشامیدنی سالم
کوزه‌تپراقی	۶	۲۹	۴۳	۱۰	۶	۰	۵۸	۱۵	۳۳	۱۸	۹
فیروزآباد	۲۵	۸	۳۹	۱۴	۵۴	۳	۱۰۰	۱۹	۴۴	۶۲	۳۴
عموقین	۳۵	۶۵	۰	۸	۲	۰	۴۵	۱۰	۲۸	۱۰۰	۴۸
شمس‌آباد	۰	۲۱	۱۰۰	۳۳	۵	۰	۶۱	۱۹	۳۲	۰	۰
سولا	۱۰۰	۳۷	۵	۲۴	۰	۰	۲۱	۳۷	۵۸	۴۰	۴۷
سامیان	۳۹	۴۵	۳۵	۴	۷۵	۰	۴۵	۲۲	۴۶	۵۶	۳۳
دوست‌بیگلو	۳۱	۳۷	۲۹	۴	۱۰۰	۷	۵۴	۲۱	۴۱	۵۷	۴۶
احمدکندی	۴۹	۰	۴۹	۲۰	۱۳	۱	۲۴	۲۳	۴۳	۳۹	۱۰۰
پل‌سلطانی	۱۴	۱۵	۲۴	۱۰۰	۱۲	۰	۷۵	۴	۰	۴۸	۶۸
پل‌الماس	۱۰	۳۴	۵۴	۳۴	۵۱	۶۷	۵۶	۱۰۰	۱۰۰	۳۰	۱۴
باروق	۳۵	۶۵	۱۱	۱۴	۲	۰	۴۵	۶	۲۰	۱۰۰	۴۸
آلادیزگه	۱۰۰	۳۷	۲۱	۴	۲	۱	۲۱	۱۳	۴۱	۴۰	۴۷
ایریل	۱۰۰	۳۷	۲۰	۱۳	۴	۰	۲۱	۹	۳۰	۴۰	۴۷
اکبرداوود	۵۲	۲	۰	۰	۱	۲	۲۱	۱۷	۳۶	۳۸	۹۴
هیر	۳۵	۶۵	۵	۹۰	۳	۸	۴۵	۷	۱۶	۱۰۰	۴۸
ویلادرق	۳۵	۶۵	۱۰	۳۲	۰	۷	۴۵	۰	۱۳	۱۰۰	۴۸
گیلانده	۱۵	۳۹	۴۷	۱۱	۳۳	۰	۵۴	۲۹	۵۷	۴۳	۲۰
نمین	۱۰۰	۳۷	۵	۸	۰	۰	۲۱	۳۲	۵۵	۴۰	۴۷
نیر	۲	۲۳	۰	۸۰	۲۰	۱۰۰	۶۰	۲۴	۳۷	۵	۲
ننه‌کران	۱۰۰	۳۷	۷	۱۲	۰	۰	۲۱	۳۶	۹۰	۴۰	۴۷
ارباب‌کندی	۳۹	۴۷	۳۲	۲	۳۹	۰	۴۴	۲۱	۴۲	۶۰	۳۵

جدول ۵- مقادیر معیارهای محاسبه شده مؤلفه‌های تغییرپذیری منابع آب سطحی در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

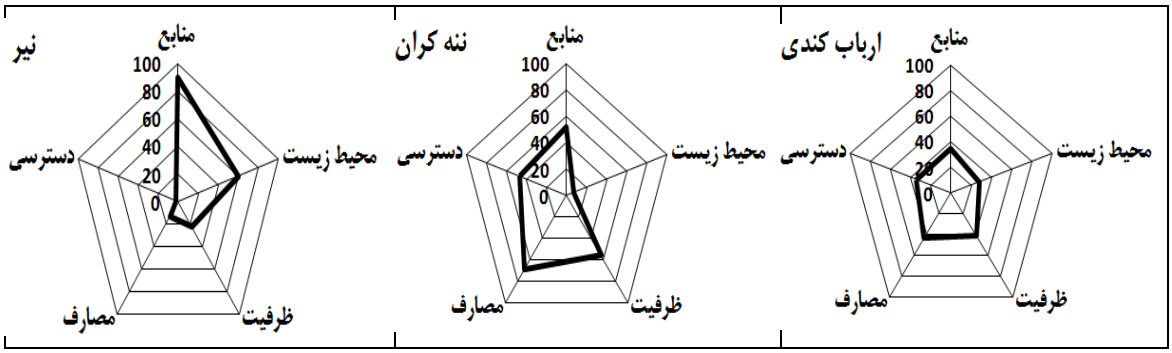
حوزه آبخیز	منابع	محیط زیست	ظرفیت	دسترسی	مصارف	حوزه آبخیز	منابع	محیط زیست	ظرفیت	دسترسی	مصارف
کوزه‌تپراقی	۳۴	۲۱	۲۲	۹	۱۸	آلادیزگه	۴۱	۸	۳۱	۴۷	۶۹
فیروزآباد	۳۷	۵۳	۴۲	۳۴	۱۷	ایریل	۴۷	۸	۲۶	۴۷	۶۹
عموقین	۵۴	۱۶	۴۶	۴۸	۵۰	اکبرداوود	۵۰	۸	۳۰	۹۴	۲۷
شمس‌آباد	۱۶	۲۲	۱۷	۰	۱۱	هیر	۹۳	۱۹	۴۱	۴۸	۵۰
سولا	۶۰	۷	۴۵	۴۷	۶۹	ویلادرق	۶۱	۱۷	۳۸	۴۸	۵۰
سامیان	۳۵	۴۰	۴۱	۳۳	۴۲	گیلانده	۳۲	۲۹	۴۳	۲۰	۲۷
دوست‌بیگلو	۳۷	۵۴	۴۰	۴۶	۳۴	نمین	۵۱	۷	۴۳	۴۷	۶۹
احمدکندی	۳۵	۱۳	۳۵	۱۰۰	۲۴	نیر	۹۰	۶۰	۲۲	۲	۱۲
پل‌سلطانی	۸۸	۲۹	۱۷	۶۸	۱۴	ننه‌کران	۵۲	۷	۵۶	۴۷	۶۹
پل‌الماس	۴۰	۵۸	۷۷	۱۴	۲۲	ارباب‌کندی	۳۵	۲۸	۴۱	۳۵	۴۳
باروق	۵۱	۱۶	۴۲	۴۸	۵۰	-	-	-	-	-	-

بررسی دو زیر معیار ظرفیت نشان می‌دهد که در حوضه‌های شمس‌آباد و پل سلطانی، شاغلین در بخش غیر کشاورزی، نرخ سواد و جمعیت فعال اقتصادی این دو حوضه به‌ترتیب دارای مقادیر صفر، ۳۲ و ۱۹ در حوضه شمس‌آباد و مقادیر ۴۸، صفر، چهار در حوضه پل سلطانی است که در سطح پایین قرار دارد. در مقابل، در حوضه ننه‌کران با وجود این‌که مقادیر جمعیت شاغل در بخش غیر کشاورزی (۴۰) و جمعیت فعال (۳۶) در سطح متوسط و پایین قرار دارد اما نرخ سواد با مقدار ۹۰، ظرفیت اجتماعی این حوضه را افزایش داده است. معیار دسترسی به منابع آب آشامیدنی سالم و بهداشتی در حوضه‌های شمس‌آباد و نیر کمترین و در حوضه‌های احمدکندی و اکبرداوود بیشترین سطح دسترسی به آب آشامیدنی سالم را دارا هستند. معیار مصارف که نشانگر میزان مصارف خانگی و کشاورزی منابع آب سطحی است در حوضه‌های شمس‌آباد و نیر کمترین مقدار و در حوضه‌های سولا، آلادیزگه، ایریل، نمین و ننه‌کران بیشترین مقدار را دارند. نکته‌ای که می‌توان به آن اشاره کرد این است که زیرمعیار مصارف خانگی حوضه‌ها بسیار اثرگذارتر از زیرمعیار مصارف کشاورزی بوده است، به گونه‌ای که در حوضه‌های شمس‌آباد و نیر زیرمعیار مصارف خانگی کمترین مقدار و در حوضه‌های سولا، آلادیزگه و ایریل بیشترین مقدار را دارد که در مقدار معیار مصرف نهایی نیز نتایج به‌همین روال می‌باشد. مقادیر هر یک از مؤلفه‌های مؤثر بر تغییرات منابع آب سطحی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

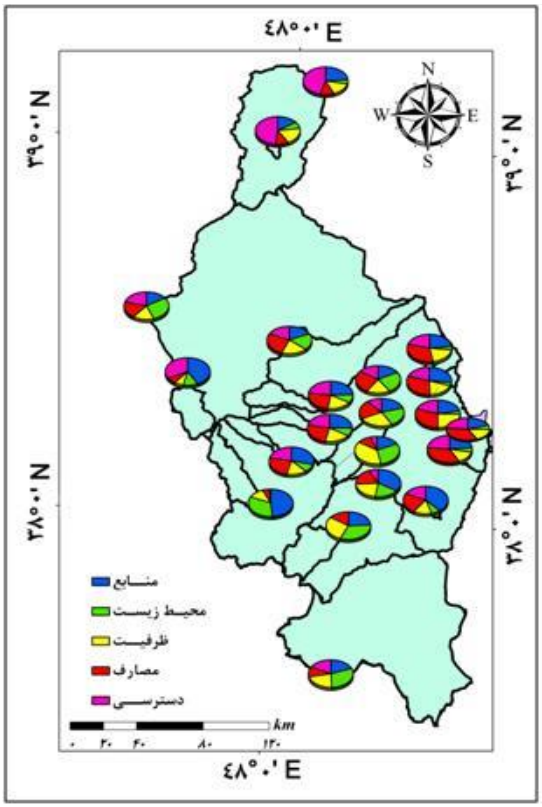
بر اساس اطلاعات شکل ۲، مقدار معیار منابع در حوضه‌های هیر، نیر و پل سلطانی بیشتر از حوضه‌های دیگر است و در حوضه‌های شمس‌آباد، گیلانده و سامیان کمترین مقدار را دارد. معیار محیط زیست در حوضه‌های عموقین، سولا، احمدکندی، باروق، آلادیزگه، ایریل، اکبرداوود، نمین و ننه‌کران کمترین مقدار و در حوضه‌های نیر، فیروزآباد، دوست‌بیگلو و پل الماس بیشترین مقدار را دارد. معیار ظرفیت در حوضه‌های نیر، کوزه تپراقی، شمس‌آباد و پل‌سلطانی دارای پایین‌ترین مقادیر و در حوضه‌های ننه‌کران و پل‌الماس بالاترین مقدار را دارد. معیار مصارف حوضه‌های آلادیزگه، سولا، ایریل، نمین و ننه‌کران دارای مقادیر بالاتر و حوضه‌های کوزه‌تپراقی، شمس‌آباد، پل‌سلطانی و نیر دارای مقادیر پایین‌تر می‌باشد. معیار دسترسی در حوضه‌های اکبرداوود و احمدکندی دارای بیشترین مقدار و در حوضه‌های کوزه‌تپراقی، شمس‌آباد و پل الماس دارای کمترین مقادیر هستند.



شکل ۲- نمودار اسپایدر پلات معیارهای مؤثر بر تغییرپذیری منابع آب سطحی در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل



ادامه شکل ۲- نمودار اسپایدر پلات معیارهای مؤثر بر تغییرپذیری منابع آب سطحی در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

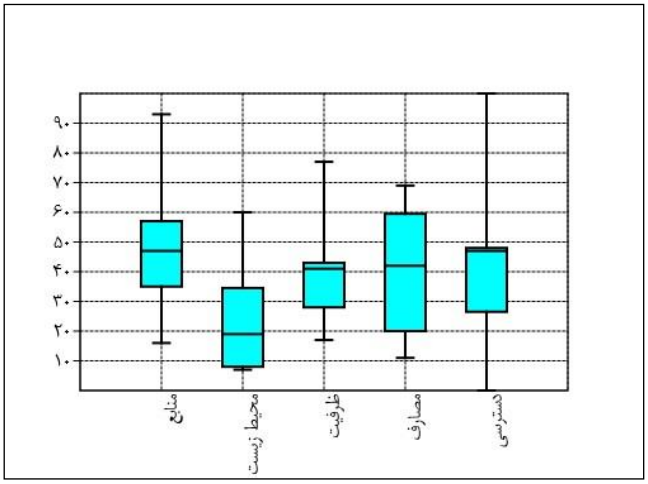


شکل ۳- نقشه معیارهای مؤثر بر منابع آب سطحی در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

بر اساس اطلاعات شکل ۳، نقشه پراکنش معیارهای اثرگذار بر تغییرات منابع آب سطحی نشان می‌دهد که در حوضه‌های اکبرداوود، احمدکندی و پل سلطانی میزان معیار دسترسی دارای بیشترین مقدار نسبت به حوضه‌های دیگر می‌باشد. معیار منابع در حوضه‌های نیر، پل سلطانی، هیر و کوزه‌تپراقی نسبت به معیارهای دیگر بیشتر است. معیار محیط زیست در حوضه‌های نیر، پل الماس و فیروزآباد بیشترین مقدار را دارد. معیار ظرفیت در حوضه پل الماس دارای مقدار بیشتری می‌باشد. میزان معیار مصارف هم در حوضه‌های پل سلطانی و نیر کمترین مقدار را دارد.

نکته‌ای دیگر که می‌توان به آن اشاره کرد، این است که حوضه‌های مرکزی و شرق استان دارای مقادیر مشابهی از نظر معیارها می‌باشند.

با توجه به شکل ۴، از میان معیارهای اثرگذار بر منابع آب سطحی، دامنه تغییرات مقادیر معیارهای دسترسی و منابع در حوضه‌های مطالعه شده، بالاتر از دیگر معیارها می‌باشد به‌طوری که مقادیر معیار منابع در دامنه ۱۶ تا ۹۳ و مقادیر معیار دسترسی در دامنه صفر تا ۱۰۰ در تغییر می‌باشد. معیار محیط زیست کمترین تغییرات را دارا می‌باشد و دامنه تغییرات آن بین هفت تا ۶۰ است و این معیار شرایط مطلوبی ندارد.



شکل ۴- دامنه تغییر در معیارهای استاندارد شده (بی‌بعد) موثر بر منابع آب سطحی در زیرحوضه‌های مورد مطالعه استان اردبیل

نتیجه‌گیری

در بررسی این معیارها، ابعاد مختلف تاثیرگذار بر مدیریت منابع آبی در نظر گرفته شده است و ابزاری مؤثر و جامع برای تحلیل موجودیت منابع آب سطحی و ارتباط آن با نیازهای انسان و محیط زیست می‌باشد. در معیار منابع حوضه‌های هیر و شمس‌آباد به‌ترتیب بالاترین و پایین‌ترین مقدار را دارند. حوضه‌های ننه‌کران، نمین، سولا کمترین مقدار و حوضه نیر بیشترین مقدار را در معیار محیط زیست دارد. مقدار معیار ظرفیت در حوضه پل الماس بیشتر و پل سلطان کمتر از بقیه حوضه‌ها می‌باشد. در معیار دسترسی، حوضه‌های شمس‌آباد و احمدکندی به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار را دارند. حوضه‌های سولا، الادیزگه، ایریل، نمین، ننه‌کران بیشترین مقدار و حوضه شمس‌آباد کمترین مقادیر معیار مصارف را دارا می‌باشند. تفاوت معیارهای مورد استفاده در مطالعات مختلف می‌تواند به‌دلیل تنوع داده‌های در دسترس در مقیاس‌های متفاوت مکانی باشد که در این خصوص Lawrence و همکاران (۲۰۰۳) از معیارهای فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی استفاده کرده‌اند. نتایج به‌دست آمده در تحقیق Manandhar و همکاران (۲۰۱۲) و Sabeti و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که معیارهای دسترسی و منابع بالاترین تغییرات را دارا می‌باشد. علاوه بر این، در تحقیق ایشان، معیارهای مرتبط با محیط زیست به‌دلیل وسعت تخریب‌های محیطی، معمولاً در شرایط نامطلوبی قرار داشت، که می‌توان گفت در حوضه‌های مورد مطالعه نیز از پایین بودن مقدار معیار محیط زیست نسبت به سایر معیارها (شکل ۴) نتیجه مشابهی حاصل شده است. با توجه به شاخص‌های مورد استفاده در معیار محیط زیست (شامل دبی پایه، پوشش گیاهی طبیعی و دبی Q95) می‌توان به اهمیت حفظ پوشش گیاهی طبیعی و نیز تداوم جریان زیست‌محیطی در رودخانه‌ها در بهبود پایداری منابع آب سطحی اشاره کرد. بعد از معیار محیط زیست، معیار ظرفیت در منطقه مورد مطالعه دارای مقادیر پایینی است. در این خصوص، می‌توان گفت که شاخص جمعیت فعال (با توانایی انجام اقدامات مدیریت آب) در استان دارای مقادیر پایینی است که در این خصوص آگاهی بیشتر مردم در خصوص مقابله با تنش کم‌آبی و نیز آموزش راه‌های صرفه‌جویی می‌تواند موثر باشد. از طرفی، جمعیت شاغل در بخش غیر کشاورزی نیز نشان می‌دهد که ساکنان بخش‌های مختلف وابستگی بسیار زیادی به مصرف آب در مشاغل خود دارند. در این راستا، نتایج مطالعات Yahaya و همکاران (۲۰۰۹) نشان داده است که با افزایش توسعه انسانی شامل ظرفیت اجتماعی و اقتصادی افراد جامعه، دسترسی عادلانه به منابع آب نیز افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، بیشتر حوضه‌های مطالعه شده در استان اردبیل در شرایط بحرانی قرار دارند، به همین دلیل، انتظار بر این است که مدیران و نهادهای ذیربط به فکر راه‌کارها و برنامه‌های مدیریتی مناسب با توجه به شرایط موجود در حوضه، به‌منظور بهبود شرایط کنونی باشند. در این راستا، نتایج حاصل از چنین مطالعاتی می‌تواند در

تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت و توسعه منابع آبی در مناطق مختلف کشور تأثیر به‌سزایی داشته باشد. پیشنهاد می‌شود تا نتایج و پایش روند مدیریت منابع آب و سنجش نتایج عملکرد مصرف‌کنندگان، مدیران و سیاست‌گذاران بخش آب بروزرسانی شود و معیارهای مؤثر بر تغییرپذیری منابع آب سطحی، به‌صورت سالانه محاسبه شود تا بتوان هر سال، یک امتیاز به مدیریت منابع آب داد و نتایج عملکرد مدیران و سیاست‌گذاران صنعت آب و همچنین، نوع عملکرد مصرف‌کنندگان را سنجید. همچنین، علل پایین بودن معیارها و زیرمعیارها در مناطق مورد مطالعه بررسی شود.

منابع مورد استفاده

1. Alessa, L., A. Kliskey, R. Lammers, C. Arp, D. White, L. Hinzman and R. Busey. 2008. The arctic water resource vulnerability index: an integrated assessment tool for community resilience and vulnerability with respect to freshwater. Environmental Management, 42: 523-541.
2. Appelgren, B. and W. Klohn. 1999. Management of water scarcity: a focus on social capacities and options. Physics and Chemistry of the Earth (B), 24(4): 361-373.
3. Arabi-Yazdi A., A. Alizadeh and F. Mohammadian. 2009. Study on ecological water footprint in agricultural section of Iran. Journal of Water and Soil, 23(4): 1-15.
4. Asiabi-Hir, R., R. Mostafazadeh, M. Raoof and A. Esmali-Ouri. 2016. Water poverty index and its importance in water resources management. Extension and Development of Watershed Management, 3(3): 17-22 (in Persian).
5. Asiabi-Hir, R., R. Mostafazadeh, M. Raoof and A. Esmali-Ouri. 2018. Multi-criteria evaluation of water poverty index spatial variations in some watersheds of Ardabil Province. Ecohydrology, 4(4): 997-1009 (in Persian).
6. Babel, M.S. and S.M. Wahid. 2009. Freshwater under threat: South Asia. Vulnerability assessment of freshwater resources to environmental change. United Nations Environment Programme and AsianInstituteof Technology, Bangkok, 31 pages.
7. Bozi, Kh., S. Khosravi, M. Javadi and M. Hosseinnejad. 2010. Water crisis in the Middle East (challenges and solutions). 4th International Congress of the Islamic World Geographers, Zahedan (in Persian).
8. Brooks, N., W.N. Adgerand and P.M. Kelly. 2005. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. Global Environmental Change, Human and Policy Dimensions, 15: 151-163.
9. Brown, A. and M.D. Matlock. 2011. A review of water scarcity indices and methodologies. The Sustainability Consortium, University of Arkansas, 106 pages.
10. Cullis, J. and D. Oregan. 2004. Targeting the water-poor through water poverty mapping. Water Policy, 6: 397-411.
11. Curtis, V., S. Cairncrossand and R. Yonli. 2000. Domestic hygiene and diarrhea-pinpointing the problem. Tropical Medicine and International Health, 5(1): 22-32.
12. Eckhardt, K. 2008. Acomparison of base flow indices which were calculated with seven different base flow separation methods. Journal of Hydrology, 352: 168-173.
13. Fahmi, H. 2014. Iran's third national communication to United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Part 4, Vulnerability assessment and adaptation report, 40 pages.
14. Hamouda, M.A., M.M. Nour El-Din and F.I. Moursy. 2009. Vulnerability assessment of water resources systems in the Eastern Nile Basin. Water Resources Management, 23: 2697-2725.
15. Han, H. and L. Zhao. 2005. Rural income poverty in Western China is water poverty. China and World Economy, 13(5): 76-88.
16. Hasani, M., A. Malekian, M. Rahimi, M. Samiei and M. Khamoushi. 2012. Study of efficiency of various baseflow separation methods in arid and semi-arid rivers, case study: Hablehroud Basin. Arid Biome, 2(2): 10-22 (in Persian).
17. Heidecke, C. 2006. Development and evaluation of a regional water poverty index for Benin. International Food Policy Research Institute, 35 pages.
18. Howard, G. and J. Bartram. 2003. Domestic water quantity. Service level and health. World Health Organization, Geneva, 33 pages.
19. Iran Chamber of Commerce, Industries, Mines and Agriculture (ICCIMA). 2013. The assessment of current condition: the water resources. Final Report, 19 pages.
20. Lawrence, P., J.R. Meigh and C.A. Sullivan. 2003. The water poverty index: an international comparison. Keele Economics Research Papers, 24 pages.

21. Manandhar, S., V. Pandey and F. Kazama. 2012. Application of water poverty index in Nepales context: a case study of Kali Gandaki River Basin (KGRB). Water Resources Management, 26: 89-107.
22. Maran, S. 2002. Environmental flows and integrated water resource management: the Vomano River case study. Core Support to the Activities of the IUCN Mediterranean Office, 12 pages.
23. Mehry, S., R. Mostafazadeh, A. EsmaliOuri and A. Ghorbani. 2017. Spatial and temporal variations of Base Flow Index (BFI) the Ardabil Province rivers, Iran. Earth and Space Physics, 43(6): 623-634.
24. Mostafazadeh, R., A. Sadoddin, A. Bahremand and V.B. Sheikh and A. ZareGarizi. 2017. Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision making technique in Northeast Iran. Natural Hazards, 87(3): 1827-1846.
25. Mostafazadeh, R., M. Vafakhah and M. Zabihi. 2015. Analysis of monthly wet and dry spell occurrence by using power laws in Golestan Province, Iran. Ecohydrology, 2(2): 29-43 (in Persian).
26. Pandey, V.P., M.S. Babel, S. Shrestha and F. Kazama. 2011. A framework to assess adaptive capacity of the water resources sestem in Nepalese river basins. Ecological Indicators, 11(2): 480- 488.
27. Sabeti, M., S. Jamali and Gh. Ghiyasvand. 2015. The use of water poverty index in local scale, case study: Karoun Basin. 10th International Congress on Civil Engineering, University of Tabriz (in Persian).
28. Sadoddin, A., V.B. Sheikh, R. Mostafazadeh and M.Gh. Halili. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Iran. International Journal of Plan Production (IJPP), 4(1): 51-62.
29. Shahedi, M. and F. Talebi. 2014. Introducing some indices to evaluate the balance of water resources and sustainable development, case study: Ghareghom Basin in Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 1(1): 73-79 (in Persian).
30. Shirdeli, A. 2014. Evaluation of the water resources sustainability in Iran and Ghareghom Watershed by international indices in 1404 vision. Water Management in Arid Land, 1(1): 53-60 (in Persian).
31. Sullivan, C.A., J.R. Meighand and A.M. Giacomello. 2003. The water poverty index: development and application at the community scale. Natural Resources Forum, 27(3): 189- 199.
32. Ty, T.V., K. Sunada, Y. Ichikawa and S. Oishi. 2010. 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, 8(3-4): 305-317.
33. Yahaya, O., A. Akinro and O.M. Kehinde. 2009. Evaluation of water poverty index: in Ondo state, Nigeria. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 44(2): 249-265.