نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۲۴۶-۱۲۳۲

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1232-1246

ارزیابی شاخص اطمینان‌پذیری و برآورد سطوح تخصیص منابع آب در تشکل‌های آب‌بران شبکهٔ البرز

سیده فاطمه هاشمی[۱]- علی شاهنظری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۳

چکیده

تشکیل تشکل‌های آب‌بران در اراضی تحت پوشش برخی از شبکه‌های آبیاری و زهکشی پایاب سدها، یکی از الگوهای انتقال مدیریت آب از بخش دولتی به مصرف‌کنندگان آب است. از سویی دیگر، با توجه به مفاهیم گستردهٔ مدیریت مشارکت‌مدار، عملکرد این تشکل‌ها بایستی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد. هدف از این مطالعه ارزیابی شاخص اطمینان‌پذیری به‌عنوان یکی از شاخص‌های عملکردی تشکل‌های آب‌بران در پروژه یکپارچه آب و خاک شبکه آبیاری سد البرز واقع در حوضه رودخانه بابل است. در این راستا، واحدهای عمرانی به ۲۰ تشکل آب‌بران تقسیم گردید و شبیه‌سازی بیلان منابع و مصارف با استفاده از مدل مایک بیسین در طی ۲۸ سال به‌صورت ماهانه انجام شد. همچنین قابلیت تأمین در سطح ۲۰ و ۸۰ درصد انتخاب و مورد مقایسه قرار می‌گیرد تا سطوح تخصیصات تأمین آب تعیین گردد. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که میانگین اطمینان‌پذیری شبکهٔ البرز حدودا ۷۰ درصد می‌باشد و حجم قابل تأمین با احتمال وقوع ۲۰ و ۸۰ درصد تأمین به ترتیب ۳۴۷ و ۱۹۸ میلیون متر مکعب است که به ترتیب سطوح تخصیص کل و سطوح تخصیص یک را شامل می‌شود و تفاضل این دو از هم، سطح تخصیص ۲ را به دست می‌دهد. این مسئله می‌تواند به‌عنوان مبنایی در جهت برآورد بیلان آب در طی دوره‌های خشکی و تری با اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی در برداشت از آب‌بندان و آبخوان شبکهٔ البرز مورد توجه برنامه-ریزان بخش آب قرار گیرد. همچنین نتایج حاصل از برآورد قابلیت اطمینان‌پذیری نشان می‌دهد که در تشکل‌هایی که از نظر هر دو مفهوم اولویت مکانی، بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده‌اند، قابلیت اطمینان‌پذیری حدودا ۶۰ درصد می‌باشد که نشان‌دهندهٔ کمبودهای قابل ملاحظه بوده که در این موارد رفع کمبودها مستلزم بهره‌گیری از سایر منابع می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، دوره‌های خشکی و تری، شاخص عملکردی، مدل مایک بیسین، مدیریت مشارکت‌مدار

مقدمه

توسعه طرح‌های آب و کشاورزی از یکسو و تحولات اجتماعی ناشی از افزایش جمعیت و تقاضا از سوی دیگر موجب گردیده که مسئولیت دولت در زمینه مدیریت مصرف آب گسترش یابد و به عبارت دیگر نقش مصرف‌کنندگان در این خصوص کمرنگ شود؛ از سویی دیگر تحقیقات نشان می‌دهد که سازمان‌های دولتی و نهادهای وابسته به آن‌ها در اعمال مدیریت مصرف منابع آب چندان موفق نبوده‌اند (۳۶). راندمان بسیار پایین آبیاری در تأسیسات مدرن، استهلاک شدید تأسیسات و عدم توجه به تعمیر و نگهداری آن‌ها، عدم تقارن تخصیص آب بالادست و پائین‌دست ناشی از گسترش بیش از ۹۵ درصد سازه‌های سنتی موجود در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، بی‌نظمی در رعایت الگوی کشت و کاهش عملکرد محصولات از جمله مشکلاتی است که پس از مدتی در شبکه‌های آبیاری بروز نموده است (۳۱). بر همین اساس و به‌منظور دستیابی به مدیریت یکپارچه منابع آب و خاک[۳]، مهم‌ترین راهکار را می‌توان اشتراک گذاشتن این منابع دانست که بر مبنای اولویت‌ها و حقابه‌های موجود شرایط برداشت آب را ممکن می‌سازد (۴۲).

بنابراین مدیریت تخصیص آب باید به شکلی اجرا گردد که بخش‌های مختلف اجرایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی تغییر نماید. بدین ترتیب در بیش از ۵۷ کشور، مباحث انتقال مدیریت آبیاری[۴] یا

۱ و ۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: Aliponh@yahoo.com)

3- Integrated water and land project
4- Irrigation management transfer

مدیریت مشارکت‌مدار[1] مطرح شده است (۱۷ و ۳۳). این مسئله همراه با ساز و کارهای نهادی مشارکت، یک سازمان متناسب جدیدی را می‌طلبد تا سرمایه‌گذاری‌ها از منابع دولتی به منابع غیر دولتی منتقل و بدین ترتیب کار به تشکل‌های مردمی واگذار شود (۱۹). لذا تشکل آب‌بران را می‌توان رهیافت نوین مدیریتی دانست که با ایجاد احساس مالکیت، زمینه را برای مشارکت کشاورزان فراهم نموده و از سویی دیگر با تعدیل نیروی انسانی، هزینه‌های مدیریت بهره‌برداری و نگهداری را کاهش دهد (۲۹). در واقع این تشکل‌ها، شرکت تعاونی منحصر به متقاضیان آب است که خواستار بر عهده گرفتن فعالیت-های مرتبط با آب بوده و با شرط استقلال مالی و سازماندهی و مدیریت صحیح به اعضای خود (کشاورزان) خدمات داده، تا بتواند به اهداف مشترک و سود بیشتر دست یابد (۱۳ و ۲۴).

پژوهش‌های مختلفی در رابطه با ضرورت انتقال مدیریت آبیاری، تشکیل تشکل‌های آب‌بران، ارزیابی و پایش عملکرد آن‌ها صورت گرفته است. تعدادی از این تحقیقات بر اساس ارزیابی سیستم‌های آبیاری تحت استراتژی‌های خاص مدیریتی است (۱، ۸، ۱۲، ۲۶ و ۲۷) که بر تعریف شاخص‌های اجرایی، محاسبات و توسعه اصول مدیریت مشارکتی دلالت دارد و به دو گروه عمده قابل تفکیک است (۸ و ۱۶): معیارهای داخلی نظیر زمان و مدت آبیاری، شدت جریان تأمین شده، مساحت قابل آبیاری و الگوی کشت به‌منظور ارزیابی تخصیص منابع آب با هدف تأمین عادلانه حقابه و سایر خدمات آب قابل تحویلی (۶ و ۲۵) و معیارهای بیرونی نظیر درآمدهای اقتصادی، تأثیر محیط و تولیدات کشاورزی به‌منظور تحلیل دستاوردهای تخصیص منابع آب که علاوه بر معیارهای کشاورزی، مسائل اجتماعی، اقتصادی و محیطی را در مدیریت عادلانهٔ تشکل‌های آب‌بران در نظر می‌گیرد و می‌تواند در تدوین استراتژی‌های بلند مدت و ارزیابی سیستم‌های آبیاری و زهکشی کمک شایانی نماید (۲۵). نتایج بسیاری از این تحقیقات نشان می‌دهد که بهره‌وری سیستم‌های آبیاری منوط به بکارگیری مناسب از دانش، نیروی انسانی، تأمین اقتصادی و نهاده-های محلی تشکل‌های آب‌بران است (۲۹، ۳۴، ۳۶ و ۳۸). در مواردی از این تحقیقات از ابزارهایی نظیر سنجش از دور[2] در راستای دستیابی به ارزیابی بهینه عملکرد تشکل‌های آب‌بران استفاده شده است (۳، ۷، ۸، ۹، ۲۳، ۳۰ و ۳۹). شاخص‌هایی نظیر کفایت، کارآیی، استقلال و عدالت که برای اولین بار توسط مولدن و گیتز (۲۵) ارائه شده است نیز در تحقیقات متعدد در بررسی عملکرد شبکه‌های آبیاری و زهکشی، تشکل‌های آب‌بران و کانال‌های درجه سه مورد ارزیابی قرار گرفته است (۴، ۲۰، ۲۴، ۳۷ و ۴۱). همچنین در پاره‌ای از این تحقیقات با ارائه چهار معیار اعتمادپذیری[3] (احتمال قرار گرفتن سیستم در شرایط بدون شکست)، برگشت‌پذیری[4] (توانایی سیستم در برگشت به شرایط قبل از شکست) و آسیب‌پذیری[5] (تعیین میزان زیان ناشی از شکست) و شکست[6] (عدم توانایی سیستم در تأمین نیاز) که اولین بار توسط هاشیموتو و همکاران (۱۸) انجام گردید، به بررسی وضعیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی در تحلیل سیستم‌های منابع آب پرداخته شد. با گسترش شبکه‌ها و نیاز روزافزون به توسعهٔ تشکل‌های آب‌بران، تحقیقات گسترده‌ای با هدف ارزیابی شاخص اطمینان‌پذیری در یک سیستم بهره‌برداری منابع آب انجام شد (۵، ۱۱، ۲۱، ۲۲، ۳۲ و ۴۰). طبق این تحقیقات، چنانچه در یک شبکهٔ آبیاری و زهکشی از هر پنج سال، چهار سال تأمین صورت پذیرد، این سیستم قابل اعتماد[7] خواهد خواهد بود (۳۵).

از سویی دیگر، لزوم دستیابی به مدیریت یکپارچه منابع آب و خاک در تشکل‌ها، مستلزم استفاده از ابزارهایی است تا به‌طور همزمان، به هیدرولوژی حوضه آبریز و مدیریت تخصیص آب به تقاضاهای مختلف بپردازد و هم قابلیت تحلیل و شبیه‌سازی سیستم‌های چند مخزنه و چند منظوره را بر اساس اولویت مکانی مصرف‌کنندگان فراهم سازد. در این راستا مدل‌های مختلفی توسعه یافته است که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به مدل مایک بیسین اشاره نمود. این مدل که یکی از قدرتمندترین سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری است، نرم‌افزار اختصاصی شبیه‌سازی منابع آب می‌باشد و امکان تحلیل سیستم‌های چند مخزنه و چند منظوره را فراهم می‌سازد (۱۴). این مدل تاکنون از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. فتحیان و باقری (۱۵) قابلیت‌های کلی مدل را مورد بررسی قرار داده درحالی‌که باقری مرید و همکاران (۱۱) این مدل در کنار سایر مدل‌های مطرح برای تخصیص آب مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت چنین نتیجه گرفتند که مدل مایک بیسین همانند مدل‌های دیگر تخصیص سیستم‌های منابع آب نظیر ویپ عملکرد قابل قبولی دارد. همچنین شبیه‌سازی حوضه رودخانه فرانکولی برزیل با استفاده از مدل ترکیبی مایک بیسین و جی آی اس نشان داد که در شرایط کمبود داده، مدل مایک بیسین به خوبی قادر است که اثر متقابل آب سطحی و آب زیرزمینی را شبیه‌سازی نماید (۱۰).

بر همین اساس و با توجه به اهمیت مطالعه بیلان آب و ارزیابی

1- Participatory irrigation management
2- Remote sensing

3- Reliability
4- Resiliency
5- Vulnerability
6- Failure
7- Reliable

منابع آب قابل دسترس و مقایسه آن با مصارف حال و آینده، در پژوهش حاضر به بررسی چگونگی تخصیص آب به تشکل‌های آب-بران در پروژه مدیریت یکپارچه آب و خاک البرز[1] با استفاده از مدل مایک بیسین پرداخته شد. همچنین به منظور ارزیابی نحوهٔ تخصیص و چگونگی موفقیت سیستم در تأمین تقاضای تشکل‌های آب‌بران، شاخص اطمینان‌پذیری شبکهٔ البرز بررسی گردید.

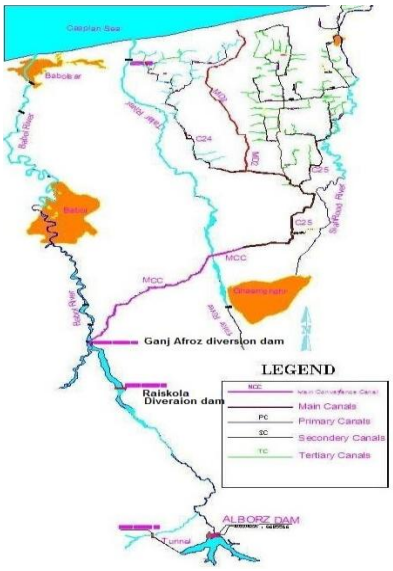
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در شهرستان‌های بابل، قائمشهر، جویبار و بابلسر در استان مازندران واقع شده است. این منطقه از شمال به دریای خزر، از جنوب به سلسله جبال البرز، از شرق به رودخانه سیاهرود و از غرب به رودخانه بابل محدود می‌شود. وسعت محدوده مطالعات ۵۱۴۴۶ هکتار بوده که موقعیت آن در شکل ۱ ارائه شده است (۲۸). در این محدوده سه رودخانه اصلی بابل، تالار و سیاهرود برای آبیاری اراضی منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. سد البرز نیز در حوضه بالادست رودخانه بابل در عرض جغرافیایی ۰۰´– ۳۶° تا ۴۶´–۳۶° شمالی و طول جغرافیایی ۳۵´–۵۲° تا ۰۰´–۵۳° شرقی واقع شده است. این سد با ارتفاع ۶۶ متر و حجم مفید ۱۲۹ میلیون مترمکعب به‌منظور تنظیم آب رودخانه در فصل زمستان (فصل غیر زراعی) و به‌منظور تأمین نیازهای شرب، محیط زیست و کشاورزی منطقه در فصل تابستان (فصل زراعی) ساخته شد. همچنین دو بند انحرافی رئیس کلا و گنج افروز بر روی رودخانه بابل احداث شدند که آب تنظیم شده را به سمت اراضی کشاورزی هدایت می‌کنند. سیستم کانال رئیس‌کلا شامل کانال اصلی رئیس کلا RE-C با دبی ۱/۲ متر مکعب بر ثانیه و سیستم کانال گنج افروز شامل کانال اصلی (MCC) با ظرفیت ۲۳/۳ متر مکعب و کانال های C24 و C25 است که به ترتیب دارای دبی ۶/۳ و ۱۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد و هر کدام دارای ملزومات خاصی در زمینهٔ طراحی هیدرولیکی می‌باشند و با احداث این کانال‌ها قابلیت انتقال آب به تمامی تشکل‌های محدوده شبکه البرز میسر خواهد شد. همچنین در شبکهٔ مورد مطالعه، از پارامترهای مهم هواشناسی ایستگاه هواشناسی بابلسر که در درون محدوده پروژه واقع است، برای برآورد نیاز آبی گیاهان و میزان بارش استفاده شد.

تشکل‌های آب‌بران در شبکه البرز

به‌منظور سهولت در امر تخصیص و همچنین با هدف بهبود مدیریت مصرف، افزایش راندمان آبیاری و صرفه‌جویی در استفاده از منابع آب از یک سو و از سوی دیگر بهبود مدیریت بهره‌برداری و نگهداری با ایجاد احساس مالکیت، محدودهٔ مورد مطالعه به چندین بخش یا به اصطلاح تشکل آب‌بران تقسیم شده است. مرزها و محدوده تشکل‌های آب‌بران تا حدودی با محدوده‌های آبیاری متفاوت است. این محدوده‌های آبیاری بر مبنای اینکه تحت پوشش چه رودخانه‌ای قرار می‌گیرند، مشخص شده‌اند. در مطالعات اولیه، با توجه به محل سد البرز و محل ایستگاه‌های هیدرولوژیکی محدوده‌ی مطالعاتی به هشت زیرحوضهٔ هیدرولوژیکی در اراضی بهبود و توسعه تفکیک گردید (شکل ۲، الف). بررسی اجمالی موقعیت هیدرولوژیکی مناطق بهبود و توسعه نشان می‌دهد که در منطقه بهبود آبیاری به‌طور گسترده در حال اجرا است و هدف از احداث شبکهٔ آبیاری و زهکشی البرز، رفع کمبودها در این مناطق است، حال آنکه در منطقه توسعه آبیاری بر پمپاژ از آب زیرزمینی استوار بود و اراضی در آن به‌صورت دیم کشت می‌شد، حال آنکه با احداث این شبکه و استفاده از دو بند انحرافی رئیس‌کلا و گنج‌افروز و همچنین کانال MCC آب پایاب سد البرز به تشکل‌های حاشیهٔ دریای خزر انتقال داده می‌شود (۲۸).



شکل ۱- موقعیت شبکهٔ البرز

Figure 1- Alborz Scheme Location

در پژوهش حاضر با حفظ تقسیمات مناطق بهبود و توسعه و همچنین در نظر گرفتن معیارهای تقسیم‌بندی محدوده‌های آبیاری، یک محدوده آبیاری به دو یا چند تشکل تقسیم گشت که این واحدها مسئول بهره‌برداری و نگهداری سیستم توزیع آب در داخل هر تشکل را بر عهده گیرند. تاکنون در شبکهٔ مورد مطالعه، ۲۰ تشکل آب‌بران به ثبت رسیده است که ۱۳ تشکل در منطقه بهبود و شش تشکل در منطقه توسعه قرار گرفته است و یک تشکل نیز خارج از محدوده طرح می‌باشد (B1-1). مرزهای تشکل‌های آب‌بران و همچنین تفاوت مناطق آبخور بهبود و توسعه به ترتیب در شکل ۲، ب نمایش داده

1-Alborz Integrated Land & Water Management Project

شده است. سازماندهی تشکل‌های آب‌بران در جهاتی دیگر نیز حائز اهمیت است، بدین ترتیب که منابع و مصارف با وسعت ۱۰ هزار هکتار تا ۳۰ هزار هکتار به ۲۰۰۰ هکتار تا ۶۰۰۰ هکتار محدود می‌شود که از حیث مدلسازی در مقیاس کوچک دقت شبیه‌سازی را افزایش می‌دهد. تقسیم‌بندی تشکل‌ها بر اساس اصول زیر انجام شده است:

- انطباق بر مرزهای هیدرولوژیکی و آبی، کاربری اراضی و الگوی کشت و موقعیت کانال‌های اصلی و فرعی آبیاری و زهکشی،
- اطمینان از پایداری و استقلال مالی آن‌ها،
- توجه به نقش جامعه بهره‌برداران محلی و ضرورت‌های فرهنگی و مطالعات اجتماعی در منطقه مذکور.

در شبکهٔ البرز وظیفهٔ اصلی این تشکل‌ها، بهره‌برداری و نگهداری کانال‌های درجه سه و سیستم‌های زهکشی به نفع اعضایشان می‌باشد، اگرچه نقش گسترده‌تری نیز از طریق نمایندگانشان در موضوعات مربوط به برنامه‌ریزی حوضهٔ آبریز و شبکه به‌منظور تخصیص آب و زهکشی دارند. همچنین این تشکل‌ها در شبکهٔ البرز، موجب بهبود برنامه‌ریزی تخصیص آب در منطقهٔ آبخور تشکل آب‌بران شده و بهره‌برداری از کانال‌ها و زهکش‌های درجه سه، نگهداری از کانال‌ها و زهکش‌های درجه سه، جمع‌آوری آب‌بها، تحویل وجوه به شرکت بهره‌برداری و نگهداری، مدیریت مالی تشکل‌ها و حفظ منافع مربوط به آبیاری و زهکشی تشکل آب‌بران در برنامه‌ریزی حوضهٔ آبریز تسهیل می‌بخشد.

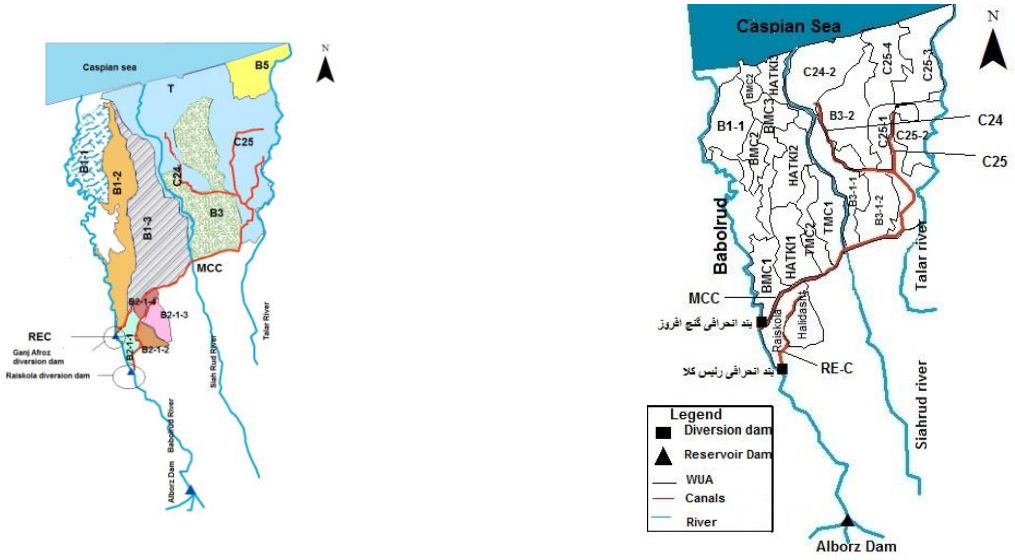
نیاز آبی محصولات در الگوی وضع موجود در جدول ۱ با استفاده از روش پنمن- مونتیت (۲) در طی سال‌های ۸۳-۱۳۵۵ محاسبه شده است. ارقام متوسط سالانه و فصلی آب مصرفی در هر تشکل آب‌بران همراه با الگوی کشت آن‌ها در این جدول بیان شده است.

روش کار با مدل به این شرح است که در ابتدا به‌منظور ترسیم پیکربندی شبکه، نمایی از سیستم منابع آب شامل گره‌های مصرف کشاورزی (تشکل آب‌بران) و منابع تأمین‌کننده آب نظیر و موقعیت مخازن ذخیره آب به مدل معرفی می‌شود. سپس داده‌های ورودی بر اساس فرضیات اساسی مدل تعریف می‌شود، بدین منظور مقادیر رواناب حوضه‌های اصلی و زیرحوضه‌ها رودخانه‌های بابل، تالار و سیاهرود، اطلاعات مخزن سد البرز و نیاز آبی گره‌های مصرف (تشکل‌های آب‌بران) که تخصیص آن بر اساس اولویت مکانی هر گره مصرفی تعریف می‌شود، در قالب مقادیر ۲۸ ساله (۱۳۸۳- ۱۳۵۵) بایستی به مدل وارد گردد.

جدول ۱- نیاز آبی تشکل‌های آب‌بران شبکه البرز

Table 1- Water requirement of WUAs in Alborz Scheme

واحدهای هیدرولوژیک Hydrologic Units	الگوی کشت (ha) Crop pattern (ha)		نیاز آبی (MCM) Water demand (MCM)		تشکل آب‌بران WUAs
	باغات میوه Orchards	زمین‌های کشاورزی Farm lands	فصل زراعی Growing seasons	فصل غیر زراعی Non growing seasons	
B1-1	342	2912	34.6	4.7	B1-1
B1-2	269	1309	16	2	BMC1
B1-2	35	2222	18.9	2.6	BMC2
B1-2	93	2192	19	2.6	BMC3
B3&T	375	2566	22	2.6	B3-1-1
B3	39	1672	18.9	2.5	B3-1-2
B3	72	2607	25.3	3.3	B3-2
B3&T	375	2566	22	2.6	B3-1-1
B3	39	1672	18.9	2.5	B3-1-2
B3	72	2607	25.3	3.3	B3-2
T	99	1105	2	0	C24-1
T	267	3231	4.4	0.1	C24-2
T	196	4362	26	2.6	C25-1
T	123	3769	12.9	1.2	C25-2
T&B5	194	1810	6.4	0.7	C25-3
T&B5	130	2536	1.9	0	C25-4
B1-3	281	3323	29.3	3.7	HATKI1
B1-3	11	1337	10.9	1.4	HATKI2
B1-3&T	21	1186	2.5	0	HATKI3
B2-1-1&B2-1-3	1138	2235	8.3	0.6	Halidasht
B2-1-2&B2-1-4	460	1589	5.8	0.8	Raiskola
B1-3	323	2154	30.9	1.4	TMC1
B1-3	222	2639	12.2	1.6	TMC2



الف
A

ب
B

شکل ۲- الف: مرزهای تشکل‌های آب‌بران و ب: مناطق آبخور بهبود و توسعه در شبکه البرز

Figure 2- A: Limits of WUAs and B: Development and Improvement regions

مدل مایک بیسین بر اساس قوانین بهره‌برداری مخازن سه نوع مخزن تخصیص شامل منحنی فرمان[1]، استخر ذخیرهٔ تخصیص[2] و دریاچه[3] دارد که با توجه به منحنی حجم – سطح – ارتفاع و سری زمانی ماهانه سایر خصوصیات تراز آب مخزن بکار گرفته می‌شود. با توجه به اطلاعات قابل دسترس از مخازن کشور، در پژوهش حاضر مخزن نوع اول به‌عنوان سد مخزنی و مخزن نوع دوم به‌عنوان آب‌بندان فرض گردید. در نهایت این مدل ضمن شبیه‌سازی سیستم رودخانه – مخزن، خروجی‌های تخصیص شامل میزان کمبود آب در گره‌های مصرف و میزان آب موجود در گره‌های تأمین را محاسبه می‌کند. نحوهٔ تخصیص آب ورودی به هر تشکل آب‌بران در مدل مایک بیسین بر اساس اولویت مکانی و نیازهای هر گره تأمین می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا برای هر تشکل، گرهٔ منبع تأمین آب در مدل مشخص خواهد شد که میزان تأمین با هدف حداقل نمودن کمبودها در نظر گرفته می‌شود.

شاخص اطمینان‌پذیری شبکهٔ البرز

در شبکهٔ البرز برنامه‌ریزی منابع آب بایستی به‌گونه‌ای انجام شود تا هیچ کمبودی در تأمین آب مشاهده نشود و بخشی از نیازها که نمی‌توانند به تنهایی از منابع آب سطحی تأمین شوند، از طریق آبندان‌ها و آب زیرزمینی جبران شود. اما در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی شاخص اطمینان‌پذیری شبکهٔ البرز تنها تأمین از منابع آب سطحی لحاظ شده و سایر منابع در نظر گرفته نشده‌اند. همچنین در این پژوهش بایستی به‌کارگیری مدل مایک بیسین در تخصیص منابع آب به تشکل‌های آب‌بران از دیدگاه شبیه‌سازی منابع و مصارف مورد ارزیابی قرار گیرد، زیرا علی‌رغم اینکه مدل با ایجاد شبکه‌ای از نقاط گره و کانال‌های ارتباطی، روابط بین نقاط تأمین و برداشت را شبیه‌سازی می‌نماید، ولی مفهوم مدیریت مشارکت‌مدار برای مدل شبیه‌ساز قابل شناسایی نیست. به‌طوری‌که در ارزیابی نحوهٔ تخصیص آب به تشکل‌های آب‌بران در شبکهٔ مورد مطالعه، بایستی دیدگاه مشارکتی عمومی کشاورزان در امر بهره‌برداری و نگهداری نیز بررسی شود. لذا در تلفیق مفهوم تشکل‌آب‌بران با مدل‌سازی منابع آب بایستی از یک سو الزامات و روابط فیزیکی و از سویی دیگر روابط هیدرولوژیکی حاکم را به درستی شناخت.

در همین راستا، به منظور ارزیابی عملکرد سیستم تحت سیاست‌های مختلف مدیریتی منابع آب، از شاخص‌های عملکردی استفاده می‌گردد که می‌توان آن‌ها را به دو دسته کلی شاخص‌های عملکردی سنتی[4] و شاخص‌های عملکردی جدید[5] تقسیم نمود. شاخص سنتی به بررسی آماره‌ها نظیر میانگین، واریانس، شاخص کمبود و غیره اشاره می‌نماید درحالی‌که در شاخص جدید ریسک، قابلیت اطمینان، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری مورد توجه است. شاخص‌های MPI برخلاف شاخص‌های TPI، به پویایی سیستم و

1- Rule Curve Reservoir
2- Allocation pool Reservoir
3- Lake

4- Traditional Performance Indices (TPI)
5- Modern Performance Indces (MPI)

عملکرد سیستم تحت موقعیت‌های پرخطر دلالت دارد. در مطالعات گذشته علی‌رغم تفسیرهای یکسانی که از شاخص‌های اعتمادپذیری، برگشت‌پذیری و آسیب‌پذیری وجود دارد اما نحوه تحلیل آن‌ها متفاوت است. بدین معنا که برای هر سیستمی می‌توان شرایط مطلوب[1] و نامطلوب[2] (شکست) تعریف نمود که به ترتیب در صورت تأمین نیازهای آبی و عدم تأمین نیازهای آبی برای یک سیستم منابع آب بکار گرفته می‌شود. اگر مدت زمانی که یک سیستم برای بار j ام در یک دوره شکست قرار گیرد با dj، مقدار نیاز در گام زمانی t با D(t) و مقدار نیاز تأمین شده با S(t) نشان داده شود، حجم کمبودی که سیستم در این مدت متحمل می‌شود Vj برابر است با

$$Vj = \sum_{t=1}^{dj}[D(t)- S(t)] \quad (۲)$$

از همین رو، به‌منظور بررسی عملکرد تخصیص آب باید شاخص اطمینان‌پذیری نیز تعریف گردد. این شاخص در یک سیستم بهره‌برداری منابع آب، قدیمی‌ترین و کاربردی‌ترین معیار ارزیابی برای تحلیل سیستم‌های منابع آب می‌باشد که شاخصی است که وضعیت سیستم را در زمینه شکست یا عدم شکست مشخص و آنالیز می‌کند (۱۸).

$$Rel= P\{S\varepsilon NF\} \quad (۳)$$

در پاره‌ای از مطالعات، برای تعیین شاخص اطمینان‌پذیری از نسبت تعداد کل ماه‌هایی که سیستم در زمینه تأمین آب آن با موفقیت روبرو بوده به تعداد کل ماه‌های سیستم بهره‌برداری، استفاده شد که در رابطهٔ ۴ ارائه شده است (۲۲):

$$((Rel = 1- \sum_{j=1}^{M}(d_j) /T \quad (۴)$$

که در رابطه فوق: Rel: شاخص اطمینان‌پذیری؛ M: تعداد کل وقایع شکست سیستم؛ dj: زامین واقعه شکست سیستم و T: تعداد کل وقایع سیستم می‌باشند و در سیستم‌های چند مخزنه، برای تعیین شاخص قابلیت اطمینان می‌توان از روند مشابهی استفاده نمود با این تفاوت که برای هر زیر سیستم بایستی وزن مخصوصی اعمال شود. برای هر زیر سیستم اگر عبارت $\varepsilon t,i = (D(t) -S(t))/D\ (t)$ از مقدار آستانه تعیین شده $\varepsilon m,i$ بیشتر باشد، وضعیت زیر سیستم مورد نظر نامطلوب (شکست) است.

بر همین اساس، سیستمی را می‌توان سیستم قابل اطمینان معرفی نمود که میزان کمبودها در آن از ۲۰ درصد داده شده در زمان شبیه‌سازی فراتر نشود. این به این معنا است که می‌توان از احتمال وقوع ۸۰ درصد استفاده نمود که قادر است قابلیت تأمین را از روش سطح تأمین متجاوز از چهار سال از پنج سال تخمین نماید که مقدار آن مبنای تحلیل‌های تخصیص آب را فراهم می‌نماید. کاربرد آماری روش فوق، در ارزیابی شبیه‌سازی بیلان تقاضا به کار گرفته می‌شود (۱۸ و ۳۵).

نتایج و بحث

به‌منظور ارزیابی بیلان آب و برآورد شاخص اطمینان‌پذیری در تشکل‌های آب‌بران شبکهٔ البرز، مدل مایک بیسین برای هر گرهٔ مصرف (تشکل آب‌بران) تا مقطع سد البرز اجرا شد که در اجرای مدل مذکور، هر ۲۰ تشکل در طی ۲۸ سال با گام زمانی ماهانه و به‌طور همزمان لحاظ گردید. در ارزیابی نحوهٔ تخصیص، ابتدا باید میزان تأمین هر تشکل که در صورت استفاده از آب‌های سطحی شبکهٔ البرز شبیه‌سازی می‌شود، مورد بررسی قرار گیرد. منظور از آب‌های سطحی، آب‌های بهنگام رودخانه‌های اصلی شبکهٔ البرز و رهاسازی از سد البرز است که پایهٔ تحلیل بیلان آبی را فراهم می‌سازد.

جدول ۲- نتایج حاصل از شبیه‌سازی اولیه میزان کمبودها در هر تشکل آب‌بران نسبت به تقاضا (میلیون متر مکعب)

Table 2- Results of initial deficits simulation in WUAs in contrast of demands (MCM)

میلیون متر مکعب MCM		تشکل‌های آب‌بران
تأمین Supply	تقاضا demand	WUAs
17.32	39.3	B1-1
12.75	19.5	BMC1
13.09	22.2	BMC2
11.68	21.9	BMC3
26.83	27.3	B3-1-1
7.93	22.5	B3-1-2
7.93	30.1	B3-2
10.24	10.6	C24-1
26.58	28.7	C24-2
27.39	38.4	C25-1
10.71	18.6	C25-2
10.08	24.1	C25-3
13.31	26.2	C25-4
19.02	34.1	HATKI1
5.52	12.7	HATKI2
4.22	15.7	HATKI3
5.11	13.4	Halidasht
9.2	10.1	Raiskola
28.2	35.2	TMC1
4.81	14.1	TMC2
277	414.4	مجموع

نتایج حاصل از تخصیص آب‌های سطحی در جدول ۲ نشان داده شده است. مروری بر جدول فوق نشان می‌دهد که مجموع آب‌های سطحی که می‌تواند جوابگوی تقاضای تشکل‌ها باشد، برابر با ۲۷۷/۰۲ میلیون متر مکعب است که به میزان ۶۰ درصد تقاضای تشکل‌ها را تأمین می‌نماید.

شبیه‌سازی میزان آب ورودی به نقاط مصرف (تشکل‌های آب-

1- Not Failure
2- Failure

بران) در مدل مایک بیسین بر اساس اولویت مکانی نقاط برداشت و با هدف کم کردن کمبودها تعریف می‌شود، از همین رو مسیر کانال اصلی MCC و نقاط برداشت از سطح هر سه حوضهٔ رودخانه مبنایی برای تعیین اولویت مکانی در نظر گرفته شد و بدین ترتیب انتظار می‌رفت از حوضه رودخانه بابل تا سیاهرود اولویت تأمین کاهش یابد. برای مثال، تشکل‌های Raiskola،BMC1، C25-1، B3-1-1، HATKI1 و TMC1 بیشترین میزان تأمین را داشته‌اند. در توضیح آن باید اضافه نمود که به‌جز تشکل C25-1 که در حوضهٔ رودخانه سیاهرود واقع شده و طبق تعریف کمترین اولویت مکانی را داراست، باقی تشکل‌ها در حوضهٔ رودخانه بابل قرار دارند که نسبتا از اولویت مکانی بالاتری برخوردارند. بر همین اساس انتظار می‌رود که مدل آب ورودی بیشتری را در نظر گیرد که با نتایج حاصل از سایر مطالعات انجام گرفته در زمینهٔ قابلیت‌های مدل مایک بیسین مطابقت دارد (۱۱). اما تشکل C25-1 باید از منظر برآورد میزان کمبود مورد بررسی قرار گیرد. زیرا با توجه به تقاضای نسبتا زیاد این تشکل، اگرچه آب ورودی بیشتری به آن اختصاص داده شده اما همچنان کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در آن مشاهده می‌شود. این بدین معنا است که در مدل مذکور، علاوه بر این مفهوم اولویت مکانی، اولویت مکانی تشکل‌هایی که از یک نقطهٔ برداشت آب دریافت می‌کنند نیز لحاظ می‌شود. نظیر تشکل‌هایی که از کانال RE-C (رئیس‌کلا و هلیدشت)، کانال MCC (BMC1,2,3 و همچنین TMC1,2 و HATKI1,2)، کانال C24 (B3-1-1,2، B3-2 و HATKI3) و کانال C25 (C24-1,2 و C25-1,2,3,4) آب دریافت می‌کنند. این دو اولویت مبنای شبیه‌سازی مدل مایک بیسین را فراهم می‌آورد. به‌عنوان نمونه تشکل HATKI1 که از کانال MCC آب دریافت می‌کند نسبت به سه تشکل نامبرده اولویت مکانی بیشتری دارد و بدین ترتیب آب ورودی بیشتری به آن تخصیص داده می‌شود. همچنین بررسی نتایج فوق نشان می‌دهد که تشکل C24-1 فاقد کمبود است و احداث سد مخزنی البرز تأثیر بسزایی در رفع کمبودهای آن داشته است.

از آنجائی که عملکرد شبکهٔ آبیاری و زهکشی به تأمین مصارف نقاط نیاز بستگی دارد، بنابراین بایستی قابلیت اطمینان‌پذیری هر کدام از تشکل‌ها تعیین گردید. به همین منظور، کمبودهای ماهانه در هر یک از تشکل‌های آب‌بران شبکهٔ البرز در طی ۲۸ سال توسط مدل مایک بیسین مورد بررسی قرار گرفت و قابلیت اطمینان‌پذیری آن محاسبه شد (۲۲). بدین ترتیب که در صورت مشاهده عدم کمبود (هر یک از ماه‌های زراعی در طی ۲۸ سال دورهٔ آماری) سیستم با عدم شکست مواجه شده و در غیر این صورت، به تعداد کمبودهای موجود در هر یک از ماه‌های باقی‌مانده، سیستم در تأمین مصارف تشکل‌ها با شکست مواجه شده است. در این از مرحله از مطالعه به‌منظور ارزیابی شاخص اطمینان‌پذیری شبکهٔ البرز، چگونگی برداشت از آب‌های جاری رودهای بابل، تالار و سیاهرود، همچنین کانال‌های اصلی و فرعی شبکه و رهاسازی سد البرز در ماه‌های زراعی در نظر گرفته شده است که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ نمایش داده شده است. همانطوریکه از جدول مشاهده می‌شود، علی‌رغم وابستگی زیاد تشکل‌های آب‌بران به آب‌های سطحی شبکه البرز (حدودا ۶۰ درصد)، کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در تشکل‌ها مشاهده می‌شود که لزوم استفاده از سایر منابع (آب‌بندان و آب زیرزمینی) را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. مروری بر این جدول نشان می‌دهد میانگین قابلیت اطمینان‌پذیری در کل شبکهٔ البرز ۰/۶۹ می‌باشد یعنی در ۶۹ درصد از ماه‌های سال (۲۸*۸) سد البرز توانسته با ذخیره و رهاسازی به‌موقع در تأمین نیازهای آبی تشکل‌ها مؤثر واقع شود. نتایج حاصل از برآورد قابلیت اطمینان‌پذیری نشان می‌دهد که در تشکل‌هایی که از نظر هر دو مفهوم اولویت مکانی، بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده‌اند، قابلیت اطمینان‌پذیری حدودا ۶۰ درصد می‌باشد که نشان‌دهندهٔ کمبودهای قابل ملاحظه بوده که در این موارد رفع کمبودها مستلزم بهره‌گیری از سایر منابع می‌باشد (تشکل‌های BMC1، HATKI1،B3-1-1، TMC1 و Raiskola)، از این میان، تشکل Raiskola با بالاترین اولویت مکانی نسبت به سایر تشکل‌ها، حدودا ۹۱ درصد در تأمین مصارف خود موفق بوده است. همچنین تشکل‌های حوضهٔ رودخانه سیاهرود به‌رغم اولویت مکانی پائین، حدودا ۷۵ درصد در تأمین مصارف خود موفق بوده‌اند. همچنین تشکل‌هایی با پایین‌ترین اولویت مکانی که از نقاط برداشت واحد آب دریافت کرده‌اند (HATKI3، TMC3 و BMC3) کمترین شاخص اطمینان‌پذیری را دارا بوده و حدودا ۵۰ درصد در تأمین مصارف خود موفق بوده‌اند. این روند در سایر تشکل‌ها نیز قابل مشاهده است.

به‌منظور ارزیابی موفقیت سیستم در تأمین تقاضای تشکل‌های آب‌بران، قابلیت تأمین شبکهٔ البرز بررسی شد. بر همین اساس میزان برداشت از رودخانه‌های عمدهٔ شبکهٔ البرز و رهاسازی از سد مخزنی طبق تابع آماری توزیع نرمال حاکم بر جریانات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۳ آورده شده است. این نمودار توزیع مقادیر سالانه را در مقابل قابلیت تحویل آب از سد البرز و جریان‌های رودخانه نشان می‌دهد. محور Y حجم سالانه (میلیون متر مکعب) و محور X احتمال افزایش (درصدی از زمان که حجم بیش از حد افزایش می‌یابد) می‌باشد. به هر حال حجم می‌تواند بین حدود ۱۶۰ تا ۴۸۰ میلیون متر مکعب متغیر باشد.

احتمال وقوع ۸۰ درصد قابلیت تأمین (یعنی سطح تأمین متجاوز از چهار از پنج سال) که نمونه‌ای از تضمین تأمین برای یک طرح آبیاری می‌باشد (۳۸)، در حدود ۱۹۸ میلیون متر مکعب است. همچنین احتمال وقوع ۲۰ درصد قابلیت تأمین (تأمین کامل یک سال از پنج سال) حدودا ۳۴۷ میلیون متر مکعب است.

جدول ۳- قابلیت‌اطمینان‌پذیری تشکل‌های آب‌بران در شرایط استفاده از منابع آب سطحی سد و رودخانه‌ها

Table 3- WUAs reliability in using reservoir and rivers conditions

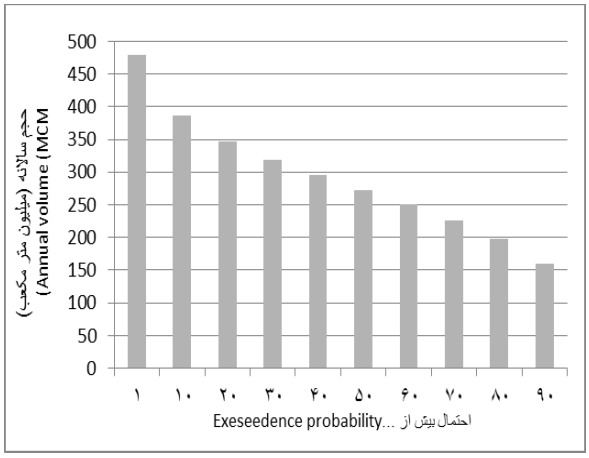
تشکل‌های آب‌بران WUAs	تعداد ماه‌های سال		قابلیت اطمینان‌پذیری (درصد) Reliability (percent)
	کمبود deficit	تأمین Supply	
B1-1	54	170	75
BMC1	85	139	60
BMC2	91	133	57
BMC3	105	119	51
B3-1-1	95	129	56
B3-1-2	100	214	53
B3-2	109	115	49
C24-1	0	224	100
C24-2	12	212	94
C25-1	40	184	81
C25-2	50	174	76
C25-3	73	151	66
C25-4	53	171	75
HATKI1	55	169	74
HATKI2	67	157	68
HATKI3	113	111	47
Halidasht	82	142	62
Raiskola	18	206	91
TMC1	31	193	85
TMC2	71	153	67

این به این معنا است که سیستم تنها در شرایطی قادر به تأمین مقادیر برآوردی است که از پنج سال موجود، تنها یک سال تأمین شود که بررسی اجمالی مقادیر آن رقم ملاحظه‌ای است (۳۴۷ میلیون متر مکعب) درحالی‌که از مجموع آب‌های سطحی جاری در شبکهٔ البرز (۵۸۵ میلیون متر مکعب) بایستی الزامات وابسته به ذخیرهٔ سد البرز، نیاز زیست محیطی و خروجی به دریا را نیز لحاظ نمود (۲۸). در احتمال ۵۰ درصد نیز، مقادیر تأمین برابر با ۲۷۷ میلیون متر مکعب است. این رقم با مقدار به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی منابع آب سطحی توسط مدل مایک بیسین که در جدول ۲ به تفصیل بیان شده، مطابقت دارد.

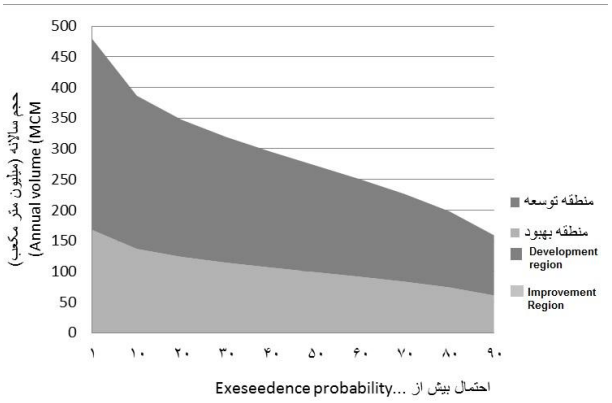
بررسی اجمالی اعداد به‌دست‌آمده نشان می‌دهد در شرایطی که سیستم تنها قادر به تأمین حداقل ۱۹۸ میلیون متر مکعب باشد، در تأمین مصارف خود با عدم شکست یا موفقیت روبرو است. همچنین مقایسهٔ این رقم با رقم به دست آمده از تأمین آب سطحی توسط مدل مایک بیسین (رقم بدست آمده تحت احتمال ۵۰ درصد معادل ۲۷۷ میلیون متر مکعب) حاکی از این مطلب است که شبکهٔ البرز در تأمین مصارف تشکل‌های آب‌بران با استفاده از آب‌های سطحی منطقه (جریانات بهنگام رودخانه‌ها و آب‌های سد البرز) با موفقیت روبرو است. در توضیح آن باید بیان نمود که در شرایطی که شبکهٔ مورد مطالعه با کمبود منابع آب سطحی مواجه شود نظیر دوره‌های خشکی، در شرایطی که سیستم قادر به تأمین حداقل ۱۹۸ میلیون متر مکعب باشد، سیستم با عدم شکست یا موفقیت روبرو است. اگرچه همچنان کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در تشکل‌ها مشاهده می‌شود که ضرورت استفاده از سایر منابع نظیر آب‌بندان و آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. از سویی دیگر، این ارقام نشان می‌دهد که تحت سناریوهای مختلف مدیریتی هر کدام از تشکل‌ها به چه میزان تأمین از سوی آب‌های سطحی و همچنین ذخیرهٔ سد مخزنی البرز نیاز دارند که می‌توانند مبنایی در جهت توسعهٔ مدیریت بهره‌برداری و نگهداری شبکهٔ البرز بکار رود.

قابلیت تأمین عاملی است که باید در تعیین سطوح تخصیص آب به تشکل‌های مناطق توسعه و بهبود در نظر گرفته شود. این گسترهٔ اعداد مبنای گروه‌های تخصیص آب را تشکیل می‌دهد. اولین سطح تأمین، سطح تأمین با احتمال وقوع ۸۰ درصد می‌باشد و دومین سطح تأمین، تأمین آب بیش از احتمال وقوع ۸۰ درصد تا احتمال وقوع ۲۰ درصد را پوشش می‌دهد که تفاضل سطح تأمین در احتمالات ۸۰ درصد و ۲۰ درصد است. این اولویت‌ها، سطوح و تخصیصات وابسته به آن امنیت تأمین آب برای مناطقی از پروژه که بیشترین وابستگی را به شبکه دارند، فراهم می‌آورد. شکل ۴ تخصیص آب در دو منطقهٔ بهبود و توسعه را در سراسر گسترهٔ تأمین آب سیستم البرز نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۴، تخصیص سطح یک بر مبنای سطح تأمین ۸۰ درصدی است که مقدار آن ۱۹۸ میلیون متر مکعب می‌باشد.



شکل ۳- قابلیت تأمین
Figure 3- Reliability



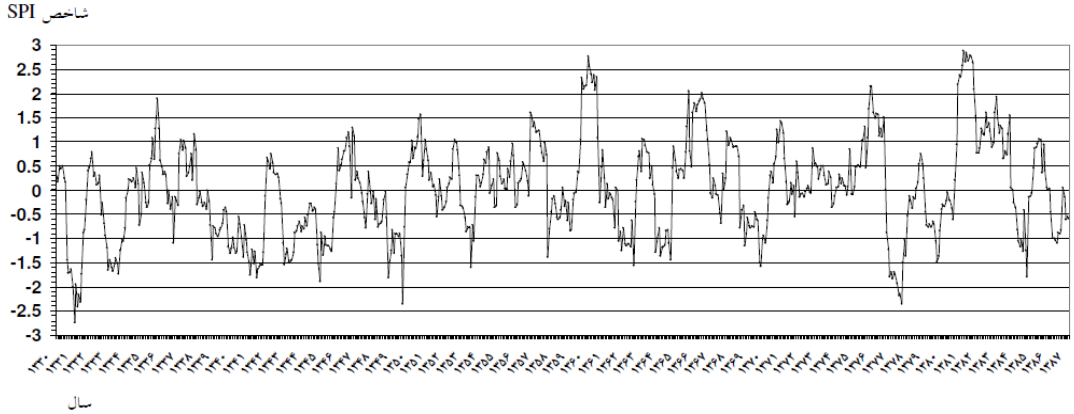
شکل ۴- سطوح تخصیصات آب سطحی شبکهٔ البرز
Figure 4- Surface water allocation levels in Alborz scheme

این میزان تخصیص پایه شناخته می‌شود که چهار سال از پنج سال را پوشش داده و به‌طور کامل برای همهٔ تشکل‌ها در دسترس می‌باشد. از سویی دیگر تخصیص سطح دو بر مبنای تأمین آب اضافی بین سطوح ۸۰ و ۲۰ درصدی می‌باشد و مقدار کل آن ۱۴۹ میلیون متر مکعب (تفاضل بین ۱۹۸ و ۳۴۷ میلیون متر مکعب) می‌رسد.

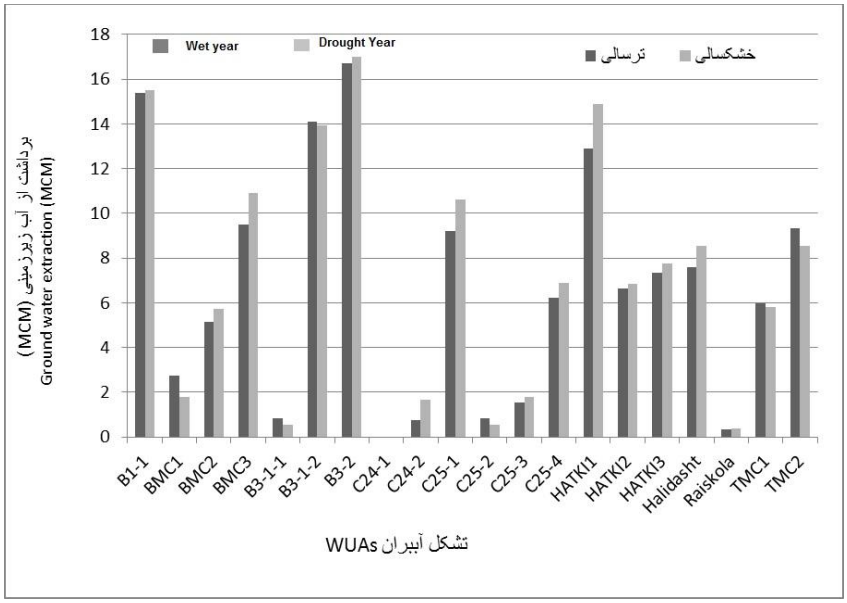
افزون بر این، هر یک از سطوح تخصیص به تنهایی نمی‌تواند پاسخگوی تمامی مصارف تشکل‌ها باشد. از سویی دیگر، واکاوی مفاهیم سطوح تخصیص نشان می‌دهد که بکارگیری این سطوح در شرایط خاص مدیریتی امکان‌پذیر است.

جدول ۴- تخصیصات سالانه منابع آب سطحی در تشکل‌های آب‌بران
Table 4- Annual allocation of surface water resources in WUAs

تشکل‌های آب‌بران WUAs	تخصیص آب (میلیون متر مکعب در ۲۸ سال) Water allocation (MCM in 28 years)		
	سطح ۱ تخصیص Level 1	سطح ۲ تخصیص Level 2	کل Total
B1-1	9.15	4.09	13.24
BMC1	10.73	3.15	13.88
BMC2	10.99	4.04	15.03
BMC3	10.10	4.21	14.31
B3-1-1	22.45	3.37	25.82
B3-1-2	4.30	8.42	12.72
B3-2	4.30	8.76	13.06
C24-1	8.30	8.47	16.77
C24-2	24.22	15.30	39.52
C25-1	19.48	4.26	23.74
C25-2	6.50	13.98	20.48
C25-3	6.38	4.72	11.09
C25-4	9.07	4.72	13.79
HATKI1	12.21	7.26	19.47
HATKI2	3.16	7.26	10.42
HATKI3	2.79	2.86	5.65
Halidasht	3.54	7.41	10.95
Raiskola	7.15	16.91	24.06
TMC1	20.55	16.33	36.89
TMC2	2.68	3.87	6.55
مجموع	198.05	149.38	347.34



شکل ۵ – تغییرات سالانه بارندگی در بابلسر در دوره آماری ۲۸ ساله
Figure 5- Annual Rainfall variations at Babolsar among 28 years



شکل ۶ – شبیه‌سازی برداشت آب زیرزمینی در دوره‌های ترسالی و خشکسالی (میلیون متر مکعب)
Figure 6- Groundwater extraction simulation in wet and dry periods (MCM)

به‌عنوان نمونه اگر تنها به ارزیابی موفقیت سیستم پرداخته شود، مقادیر سطوح تخصیص یک می‌تواند الگویی مؤثر باشد اما اگر سیستم با شرایطی ویژه‌ای نظیر دوره‌های خشکی و تری مواجه باشد و به دنبال رفع کمبودها به‌طور کوتاه مدت باشیم، سطح تخصیص دو معنا می‌یابد. انتخاب هرکدام از سطوح، سیاست‌های مدیریتی شبکهٔ البرز را توجیه می‌نماید که می‌تواند به چگونگی استفاده از سایر منابع منطقه نظیر آب‌بندان و آب زیرزمینی و حفاظت از آن‌ها کمک شایانی نماید. جدول ۴ تخصیص مقدماتی آب به تشکل‌های آب‌بران را بر مبنای سطوح و اولویت‌های مذکور نشان می‌دهد.

در این مرحله از مطالعه، به‌منظور تأمین تقاضای کامل تشکل‌های آب‌بران علاوه بر میزان برداشت از آب‌های سطحی شبکهٔ البرز، برداشت از آب زیرزمینی نیز لحاظ می‌گردد که بر اساس شبیه‌سازی مدل مایک بیسین، نتایج حاصل از تخصیص آب زیرزمینی برابر با ۱۳۳ میلیون متر مکعب است. در ادامه به‌منظور ایجاد زمینه مناسب در بهره‌برداری از منابع آب شبکهٔ البرز و برقراری تعادل آب زیرزمینی، برداشت از آب زیرزمینی در دوره‌های خشکسالی و ترسالی با استفاده از شاخص باران استاندارد شده[1] مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل ۵ نتایج شاخص بارش استاندارد را در ایستگاه سینوپتیک بابلسر نشان می‌دهد. بررسی اجمالی شکل ۵ نشان می‌دهد که ایستگاه سینوپتیک بابلسر در سال‌های ۱۳۵۸ تا ۱۳۶۰، ۱۳۶۱ تا ۱۳۶۳، ۱۳۶۴ تا ۱۳۶۶، ۱۳۶۹، ۱۳۷۰، ۱۳۷۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷، دوره‌های خشک‌سالی را

1- SPI

به خود دیده است و دیگر سال‌ها، دوره‌های ترسالی قابل مشاهده است. بر همین اساس، میزان برداشت آب زیرزمینی در طی دوره‌های خشکسالی و ترسالی‌مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است.

با توجه به شکل ۶ می‌توان دریافت که در طی دوره‌های خشکی، میزان برداشت از آب زیرزمینی نسبت به دوره‌های ترسالی افزایش می‌یابد (۶/۶ میلیون متر مکعب). اگرچه این اختلاف در بعضی از تشکل‌ها نظیر تشکل رئیس‌کلا رقم قابل ملاحظه‌ای نیست (۰/۰۳ میلیون متر مکعب)، اما در تشکل HATKI1 بیشترین مقدار اختلاف بین دوره‌های ترسالی و خشکسالی را به خود اختصاص می‌دهد (۲/۱۰ میلیون متر مکعب). همچنین سایر تشکل‌ها BMC3 و C25-1 نیز اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند که به ترتیب معادل ۱/۴۲ و ۱/۳۷ میلیون متر مکعب است. هر چند در شش تشکل TMC1، TMC2، C25-2، 2 ,BMC1،B3-1-1 به علت وابستگی شدید این تشکل‌ها به آب‌های سطحی و همچنین کم بودن میزان ذخیرهٔ آبخوان، برداشت از آب‌های زیرزمینی در طی دوره‌های خشکسالی نسبت به ترسالی، روند کاهشی داشته است.

نتیجه‌گیری کلی

به‌منظور بررسی و تحلیل تخصیص آب در شبکه البرز به‌ویژه در شرایط کم‌آبی و خشکسالی لازم است به‌غیر از آب بهنگام سد البرز و سایر آب‌های سطحی منطقه، چگونگی استفاده از منابع دیگر نظیر آبندان و آب زیرزمینی نیز مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این مطالعه که بر پایهٔ ارزیابی میزان تخصیصات شبکهٔ البرز به تشکل‌های آب-بران با استفاده از مدل مایک بیسن استوار است، اقدام به برآورد شاخص اطمینان‌پذیری شبکهٔ البرز بر اساس میزان انحرافات از رودخانه‌های عمدهٔ شبکهٔ البرز و رهاسازی از سد مخزنی طبق تابع آماری توزیع نرمال حاکم بر جریانات نموده است. تأمین تحت احتمالات مفروض نشان می‌دهد با افزایش احتمال تأمین آب‌های سطحی، شاخص اطمینان‌پذیری تشکل‌های آب‌بران کاهش می‌یابد. لذا اطمینان‌پذیری در سطح ۲۰ و ۸۰ درصد انتخاب و مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که حجم آب سطحی تأمینی می‌تواند بین حدود ۱۶۰ تا ۴۸۰ میلیون متر مکعب متغیر باشد. افزون بر آن، احتمال وقوع ۲۰ و ۸۰ درصد قابلیت تأمین به ترتیب ۳۴۷ و ۱۹۸ میلیون متر مکعب است. از آنجائی که سطوح تخصیصات بر مبنای این دو عدد شکل می‌گیرد، لذا تخصیص سطح یک، ۱۹۸ میلیون مترمکعب ثابت خواهد ماند و تخصیص در سطح دو، ۱۴۹ میلیون متر مکعب است که بایستی در محاسبات برآورد بیلان آب تشکل‌های دو منطقه بهبود و توسعه لحاظ گردد.

منابع

1- Abernethy C.L. 1986. Performance measurement in canal water management: a discussion. ODI-IIMI Irrigation Management Network Paper 86: pp. 25.
2- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation Drain. Paper No.56. FAO, Rome, Italy, 300pp.
3- Ambast S.K., Keshari A.K., Gosain A.K. 2002. Satellite remote sensing to support management of irrigation systems: concepts and approaches. Irrigation and Drainage 51: 25-39.
4- Akkuzu E., Unal H.B., Karatas B.S., Avci M., Asik S. 2007. General irrigation planning performance of water user associations in the Gediz Basin in Turkey. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering 133: 17-32.
5- Ajami N.K., Hornberger G.M. and Sunding D. 2008. Sustainable water resource management under hydrological uncertainty). Water Rwsources Research. 44: W11406.
6- Bos M.G., Murray-Rust D.H., Merrey D.J., Johnson H.G., Snellen W.B. 1994. Methodologies for assessing performance of irrigation and drainage management. Irrigation Drainage System 7: 231-261.
7- Bastiaanssen W.G.M., Brito R.A.L., Bos M.G., Souza R.A., Cavalcanti E.B., Bakker M.M. 2001. Low cost satellite data for monthly irrigation performance monitoring: benchmarks from Nilo Coelho, Brazil. Irrigation and Drainage Systems 15: 53-79.
8- Bos M.G., Burton M.A., Molden D.J. 2005. Irrigation and drainage performance assessment: practical guidelines. CABI Publishing, Trowbridge, US, p. 155.
9- Bandara K.M.P.S. 2006. Assessing irrigation performance by using remote sensing. Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 156.
10- Bangash R.F., Passuello A., Hammond M. and Schuhmacher M. 2012. Water allocation assessment in low flow river under data scarce conditions: A study of hydrological simulation in Mediterranean basin. Science of the Total Environment.
11- Baghery Harooni M.H., Morid S. 2013. Comparison of WEAP and MIKE BASIN models in water resources allocation (Case Study: Tlavar river). Water and Soil Conservation, 20: 168- 151 (In Persian with English abstract).

12- Chambers R. 1988. Managing canal irrigation: practical analysis from south Asia. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
13- Chakravortya U., Umetsu C. 2003. Basinwide water management: a spatial model. Environmental Economics and Management 45:1–23.
14- DHI. 2003. MIKE BASIN A Versatile Decision Support Tool For Water Resource Management Planning, Guide to Getting Started Tutorial. Danish Hydraulic Institute, Denmark.
15- Fathian F., Baghery Harooni M.H.2012. Allocation of Water Resources System by using MIKE BASIN Model in Trend and Detrended Time Series of Stream flow, Soofi Chai Basin.). Water and Soil. Vol. 26(2): 381-391.(In Persian with English abstract).
16- Gorantiwar S.D., Smout I.K. 2005. Performance assessment of irrigation water management of heterogeneous irrigation schemes. 1. A framework for evaluation. Irrigation and Drainage Systems 19: 1-36.
17- Garces-Restrepo C., Vermillion D., Munoz G. 2007. Irrigation management transfer worldwide efforts and results. Food and agriculture organization of the United Nations. Fao water reports 32.
18- Hashimoto T., Stendinger J.R. and Loucks D.P. 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. Water Resources Research. 18: 14-20.
19- Huanga Q., Wang J.K., Eastera W., Rozellec S. 2010. Empirical assessment of water management institutions in northern China. Agricultural Water Management 98: 361–369.
20- Jahromi S.S., Feyen J. 2001. Spatial and temporal variability performance of the water delivery in irrigation schemes. Irrigation and Drainage Systems 15: 215-233.
21- Kundzewicz Z. W. and Laski A. 1995. Reliability-related criteria in water supply studies. In: New Uncertainties Concepts in Hydrology and Water Resources (ed. by Z. W. Kundzewicz), Cambridge University Press, Cambridge, UK: 299–305.
22- KJELDSEN T.R. and ROSBJERG D. 2004. Choice of reliability, resilience and vulnerability estimators for risk assessments of water resources systems. Hydrological Sciences. 49: 755-767.
23- Karatas B.S., Akkuzu E., Halil B.U, Asik S., Avci M. 2009. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in Water User Associations in the Lower Gediz Basin, Turkey. Agricultural Water Management 96: 982-990.
24- Kazbekov J., Abdullaev I., Manthrithilake H., Qureshi A. and Jumaboev K. 2009. Evaluating planning and delivery performance of Water Associations (WUAs) in Osh Province, Kyrgyzstan. Agricultural Water Management 96: 1259–1267
25- Molden D.J. and Gates, T.K. 1990. Performance measures for evaluation of irrigation water- delivery systems. Irrigation and Drainage Engineering-ASCE 116: 804-823.
26- Meinzen-Dick R. 1995. Timeliness of irrigation. Irrigation and Drainage System 9: 371-387.
27- Molden D., Sakthivadivel R., Perry C. and De Fraiture C. 1998. Indicators for comparing performance of irrigated agriculture systems. Research Report 20, International Irrigation Management Institute, Colombo, Sri Lanka.
28- Nespak. 2009. Water balance Analysis and system Operation, Alborze Integrated Land and Water management Project. IWREMS Consultants, National Engineering Services Pakistan and Tarh Tadbir Engineering Company.
29- Omid M.H., Eskandari GH. H., Fomi Sh. And Akbari M. 2010. Water Users' Association in the process of analyzing the problems of irrigation management transfer, case study: Moghan and Varamin.). Iran Soil and water research, 40: 167- 175 (In Persian).
30- Roerink G.J., Bastiaanssen W.G.M., Chambouleyron J. and Menenti M. 1997. Relating crop water consumption to irrigation water supply by remote sensing. Water Resources Management 11: 445-465.
31- Sotomayor V. and Jorge D. 1996. Profile Irrigation of the Republic of Ecuador. Institute Intern acionaldel Manejo de la Irrigation (IIMI), Quito, Ecuador.
32- Srdevix B.Y., Medeiros D.P. and Faria A.S. 2004. An Objective Multi-Criteria Evaluation of Water Management Scenarios. Water Resources Management 18: 35–54,.
33- Shyamsundar P., Araral E. and Weeraratne S. 2005. Devolution of Resource Rights, Poverty, and Natural Resource Management – A Review. The World Bank No. 104.
34- Tanaka Y. and sato Y. 2005. Farmers Managed Irrigation Distincts in Japan: Assessing How Fairness may Contribute to Sustainability. Agricultural Water. 77: 196-209.
35- Trieu T.T. 2005. Water Balance Analysis in Ea Knir Catchment, Dak Lak, Vietnam. Integrated Watershed Management: Studies and Experiences from Asia.
36- Tahbaz salehi N., Koopahi m. and Nazari M.R. 2010. Evaluation of Participatory Irrigation Management in Iran "A case study of water users association "Tajan"). Agricultural economic and development 24: 205- 216 (In Persian).
37- Unal H.B., Asik S., Avci M., Yasar S. and Akkuzu E. 2004. Performance of water delivery system at tertiary canal level: a case study of the Menemen Left Bank Irrigation System. Agricultural Water Management (Gediz Basin, Turkey). 65: 173-191.
38- Uysal Ö.K. and Atışa E. 2010. Assessing the performance of participatory irrigation management over time: A case

study from Turkey, agriculture water management. 97: 1017-1025.
39- Vidal A. and Perrier A. 1990. Irrigation monitoring by following the water balance from NOAA-AVHRR thermal infrared data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 28: 949-954.
40- Vogel R.M., Lane M., Ravindiran R.S. and Kirshen P. 1999. Storage reservoir behaviour in the United States. Water Resour. Plan. Manage. ASCE 125: 245–254.
41- Vandersypen K., Bengaly K., Keita A.C.T., Sidibe S., Raes D. and Jamin J.Y. 2006. Irrigation performance at tertiary level in the rice schemes of the Office du Niger (Mali): adequate water delivery through over-supply. Agricultural Water Management 83: 144-152.
42- Wang L. 2005. Cooperative Water Resources Allocation among Competing Users. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Doctor of Philosophy in Systems Design Engineering.
43- Zareii Z. 2005. Investigate the factors that influence the participation of farmers in water user association, Isfahan. A thesis presented to the University of Tehran in fulfillment of the thesis requirement for Master science of Agricultural Economic Department (In Persian).

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1232-1246

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۲۴۶-۱۲۳۲

Evaluating Reliability Index and Determining the Allocation Levels of Water Resources in Water User Association of Alborz Scheme

S.F. Hashemi[1] - A. Shahnazari[2]*

Received: 27-04-2014
Accepted: 24-05-2015

Introduction: Water allocation management should be performed in a way that the various practical irrigation parts and drainage networks remain stable. Thus, irrigation management transfer and participatory irrigation management have been proposed in more than 57 countries. Such issue along with institutional mechanisms for participation severely emphasizes a new adjustable organization to transfer the investment from public resources to non-governmental sources and thus granting and handling the burden on public WUAs. In this study, the reliability of irrigation indicator was used to evaluate general irrigation planning performance of 20 WUAs along areas at Alborz Integrated Water and Land Management Project in Mazandaran province.

Materials and Methods: The overall project area encompassed the watersheds of the BabolRiver, Talar and Saih River of the Mazandaran Province, Iran. The Alborz Irrigation and Drainage network is located in the lower catchment between the Babol and Siah Rivers (western and eastern boundaries respectively) and with the Caspian Sea to the north in. The site located between 36 15 N and 36 46 N latitude and 52 35 E and 53 E longitude and covers 90520 ha. In downstream of Alborz reservoir, two diversion dam, Raiskola and Ganjafroz is located and two irrigation channels depends on these dam are constructed.

Organizing the WUAs is also important in other respects, so that the sources and utilization areas will be limited to 2,000 hectares to 6,000 hectares from 10000 hectares to 30000 hectares, respectively, which increases the simulation accuracy in a small-scale model. WUAs are classified based on the following principles:

- Adaptation of hydrological and water boundaries,
- Land use and cropping pattern
- Main and secondary irrigation and drainage channels location,
- Ensuring the financial stability and independence,
- Considering the cultural needs, local farmers' roles and social studies in the region.

In order to evaluate the water allocation, the reliability index must also be defined which stands as the oldest and most practical criterion for water resource systems analysis serving as the indicator which identifies and analyzes the system status for failure or non-failure condition. In some studies, to determine the reliability index, the entire month in which the system was successful in providing the required water divided by the entire system operation duration. Accordingly, the system can be considered as reliable if the deficiency in not more than 20% in simulation, that is, the probability of 80% can be used to provide the water supply level over four years out of five years. The application of the given method will be used in evaluating the demand balance simulation.

Results and Discussion: The results of estimating the reliability index showed that the water users association with the highest priority in terms of location priority have approximately a reliability index of 70%, representing considerable shortages and deficiency making inevitable use of other resources (BMC1, HATKI1, B3-1-1, TMC1 and RaiskolaWUAs) among which Raiskola had the highest priority relative to other WUAs, with about 91 percent, and was successful in providing the required water. WUAs with lower location priority adjacent to Siahrood River have been successful in approximately 75 percent of their water supply. The WUAs with the lowest priority (HATKI3, TMC3 and BMC3) had the lowest reliability index of about 50% meaning they were successful in meeting the water supply for only 50%. The C24-1 WUAs was 100 percent successful in its water supply which could be also noticeable among other WUAs. In order to assess the success of the system to meet the demand of WUAs, the Alborz network functionality was investigated. The major water utilization from river channels and the release of Alborz Dam were analyzed based on the statistical normal distribution function governing the However, the volume can be varied between160 to 480 million cubic meters. The possibility of 80% supply level (supplying four out of five years) for standing as an example of a guaranteed

1,2- PhD. Student of Irrigation and Drainage, and Associate Professor, Department of Water Engineering Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari
(*-Corresponding Author Email: Aliponh@yahoo.com)

supply of an irrigation project is about 198 million cubic meters. The probability of 20% of the water supply (a complete supply of a year out of five years) is about 347 million cubic meters. This means that the system is only able to provide an estimate of one year out of five years. The overview of which reveals a considerable value (347 million cubic meters), while from the total surface water flowing in the Alborz network (585 million cubic meters), requirements of Alborz dam supply, environmental needs and output to the sea must be considered. Regarding the 50% probability, the supply value is equal to 277 million cubic meters. Based on the given points and also the conducted analyses, the Alborz network water resources balance results can be estimated. Considering the water resources allocation management among WUAs in Alborz Dam irrigation systems, it was found that among 20 selected WUAss in the area, 5 WUAs of BMC2, B3-2, HATKI3, C25-3 and C25-4 were not able to supply all their needs despite using all resources available in the project.

Conclusion: With aim of minimizing the deficiencies and spatial priorities each one of WUAs were evaluated. Result showed that demand of 460 MCM of WUAs, 277.02 MCM is supplied from surface water. It could be concluded that average reliability is 70 percent and probability of 20 and 80 percent of reliability are 347 and 198 MCM that should be taken into account as total level allocation and first level allocation, respectively. It also could be used to estimate water balance in drought and wet periods, as the application of different management scenarios in withdrawals of AB- bandans and aquifer of Alborz scheme. The results of estimating the reliability index showed that the WUAs with the highest priority in terms of location priority have approximately a reliability index of 60%, representing considerable shortages and deficiency.

Keywords: MIKEBASIN Model, Participatory Management, Performance Index, Water Balance, Wet and Drought Periods