

## توسعه مدل ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی

علی اصغر منتظر<sup>۱\*</sup> - الهام زادباقر<sup>۲</sup> - نادر حیدری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۸۸/۸/۱۷

### چکیده

با توجه به ارتباط حجم آب مجازی و میزان بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری به نظر می‌رسد شاخص آب مجازی شبکه‌های آبیاری بتواند به عنوان ابزار مناسبی در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری و بهره‌وری آب این سامانه‌ها مطرح باشد. این تحقیق با هدف توسعه مدل ارزیابی آب مجازی ۱۴ شبکه آبیاری مدرن ایران با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) انجام گرفت. مطالعه بر روی ۱۴ شبکه آبیاری مدرن کشور صورت پذیرفت. تعداد عامل مؤثر بر مقدار آب مجازی شبکه‌های آبیاری به عنوان معیارهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. محاسبات فرایند تحلیل سلسله مراتبی و رتبه‌بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری با استفاده از نرم افزار Expert Choice انجام گردید. همچنین با توجه به داده‌های موجود، مقدار میانگین ۵ ساله (۱۳۸۱-۱۳۸۵) آب مجازی واقعی شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه تعیین شد. نتایج نشان داد که در سنوات آماری مورد نظر، کمترین آب مجازی در شبکه آبیاری سفیدرود با ۲/۱۷ مترمکعب بر کیلوگرم و بیشترین آن در شبکه آبیاری نکوآباد با ۱۷/۰۴ متر مکعب بر کیلوگرم به وقوع پیوسته است. نتایج رتبه‌بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری توسط مدل نشان داد که شبکه‌های آبیاری ساوه و دز به ترتیب با وزن نسبی نهایی ۰/۱۱۲ و ۰/۰۴۵، بیشترین کمترین مقدار آب مجازی را دارند. تحلیل حساسیت مدل بیانگر آن است که معیارهای سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات الگوی کشت بیشترین تأثیر و معیارهای کیفیت و قیمت آب کمترین تأثیر را بر آب مجازی شبکه‌های آبیاری دارند. مقایسه نتایج مدل AHP و آب مجازی واقعی حاکی از آن است که رتبه‌بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری در دو روش دارای تطابق مطلوبی است. این مطالعه نشان داد که روش AHP شیوه مناسبی برای ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری است و از اینرو، مدل توسعه یافته به عنوان یک ابزار مدیریتی کارآ با کاربری ساده در ارزیابی بهره‌وری آب سامانه‌های آبیاری قابل توصیه می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** آب مجازی، بهره‌وری آب، شبکه آبیاری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مدل اکسپرت چویس

### مقدمه

بازگشت مهاجران به مناطق کشاورزی و ارتقای شاخص‌های توسعه انسانی نسبتاً موفق عمل نموده‌اند، اما در عمل پس از گذشت چند سال از بهره‌برداری این شبکه‌ها، ناکارآمدی آنها در امور بهره‌برداری و بهره‌وری آب مشکلاتی را به وجود آورده است. از اینرو، ضرورت توجه و بازنگری در امور مدیریتی و بهره‌برداری این سامانه‌ها بیش از پیش ایجاب می‌نماید. بدین منظور نخست می‌بایست به ارزیابی کارایی و بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری پرداخت و سپس نسبت به رفع علل ناکارآمدی آنها اقدام نمود.

آب مجازی (Virtual Water) به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی بهره‌وری آب، مفهوم تازه‌ای است که در سال‌های اخیر نظر برنامه‌ریزان و صاحب نظران علوم آب را به خود جلب نموده و در سطوح مختلف منطقه ای، ملی و بین المللی مورد توجه قرار گرفته

به علت محدودیت کمی و کیفی منابع آب در مناطق خشک و نیمه خشک، تحلیل شاخص‌های بهره‌وری آب کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ایران، تابلحال سرمایه‌گذاری‌های عظیمی به منظور مطالعه، طراحی و اجرای شبکه‌های آبیاری انجام گرفته است. هرچند این طرح‌ها در افزایش اشتغال و درآمد و مهاجرت معکوس و

۱ و ۲- برترتیب دانشیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

\* - نویسنده مسئول: (Email: almontaz@ut.ac.ir)

۳- استادیار پژوهش موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی وزارت جهاد کشاورزی

است که به صورت گسترده در فرایند تصمیم‌گیری‌های چند معیاره مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۰). فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین روش‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را فراهم می‌نماید. این فرایند امکان تحلیل حساسیت بر روی معیارها و زیرمعیارها را دارد، علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (۱۸). روش تحلیل سلسله مراتبی یک ساختار و مبنای ریاضی ارائه می‌دهد که با توجه به آن بسیاری از مسائل مدل‌سازی می‌شوند. مسئله‌ی تصمیم‌گیری می‌تواند شامل عوامل اجتماعی، سیاسی، فنی و اقتصادی باشد (۲۹).

روش AHP در مطالعات مختلفی پیرامون ارزیابی و تصمیم‌گیری موضوعات آب و سامانه‌های آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله جدیدترین آنها می‌توان به فعالیت‌های تحقیقی منتظر و بهبهانی (۲۸) در توسعه مدل انتخاب سیستم بهینه آبیاری با توجه به عوامل مختلف فیزیکی، سیاسی-اقتصادی و زیست محیطی و اوکادا و همکاران (۲۷) در مطالعه اثرات بهبود مدیریت و سخت‌افزار به منظور عملکرد مطلوب تر پروژه‌های آبیاری اشاره نمود.

فرضیه اصلی تحقیق حاضر آن است که با تعیین عوامل مؤثر در عملکرد شبکه‌های آبیاری و تعیین وزن نسبی آن‌ها در عملکرد می‌توان فرایند مدیریت توزیع و تنظیم آب و چگونگی بهره‌برداری از آب را مورد ارزیابی قرار داده و برآوردی از وضعیت آب مجازی شبکه آبیاری بدست آورد. علاوه بر آن با مقایسه شبکه‌های آبیاری مختلف می‌توان یک برآورد کمی از عملکرد شبکه‌ها ارائه نمود. در این تحقیق با استفاده از پارامترهای مختلف مؤثر بر عملکرد و بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری شامل پارامترهای مختلف اقلیمی، منابع آب و ساختار فیزیکی شبکه، مدیریت بهره‌برداری و عوامل رشد گیاهی، و اطلاعات ۱۴ شبکه مدرن آبیاری کشور به توسعه و ارزیابی مدل تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین وضعیت آب مجازی شبکه‌های آبیاری پرداخته می‌شود. همچنین تحلیلی بر حساسیت سنجی شاخص آب مجازی نسبت به عوامل مؤثر بر آن در سطح سامانه‌های آبیاری ارائه می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

### مدل تحلیل سلسله مراتبی

در این مطالعه، به ارزیابی آب مجازی ۱۴ شبکه آبیاری مدرن ورامین، ساوه، سفیدرود، مغان، قزوین، آبشار، بُرخوار، رودشت، مهیار، نکوآباد، دز، کرخه، گتوند و مارون پرداخته شد (جدول ۱). بدین منظور

است (۱). آب مجازی محصولات کشاورزی به مقدار آبی اطلاق می‌شود که در طول فرایند رشد و تولید محصول مورد استفاده قرار گرفته و به تعبیری در محصول جاسازی می‌گردد (۲۶ و ۲۵). از اینرو، جا به جایی و تجارت تولیدات کشاورزی از محل تولید به مناطق مختلف داخلی و خارجی همراه با تجارت آب مجازی در سطح ملی و بین‌المللی است. امروزه با توجه به دیدگاه مدیریت جامع منابع آب، استفاده از مفهوم آب مجازی می‌تواند در فرایند مدیریت و تخصیص منابع محدود آب، نقش به‌سزایی ایفا نماید.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که تجارت آب مجازی در طی ۴۰ سال اخیر به طور دائم در حال افزایش بوده و در حدود ۱۵٪ آب مورد مصرف در جهان به صورت آب مجازی در حال صادرات می‌باشد (۱۹). مناطقی که در جهان صادر کننده عمده آب مجازی هستند عبارتند از: آمریکای شمالی، آمریکای جنوبی، کشورهای آ. س. آن، و آسیای جنوب شرقی. مناطق عمده وارد کننده آب مجازی نیز شامل مناطق آسیای جنوبی و مرکزی، غرب اروپا، آفریقای شمالی و خاور میانه می‌باشد (۱۹). باغستانی و مهرابی بشرآبادی (۶) روشی برای کمی کردن و ارزیابی آب نهفته در صادرات و واردات محصولات کشاورزی ایران طی سال‌های ۸۲-۱۳۸۰ ارائه نموده‌اند. محاسبات ایشان نشان داد که واردات آب مجازی از ۱۷۶ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به ۱۲۷ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۲ کاهش یافته است. همچنین صادرات آب مجازی از ۱۵ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به ۲۰/۹ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۲ افزایش یافته است. بررسی خالص واردات آب مجازی نیز نشان داد که میزان آن از ۱۶۰/۹۶ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۰ به ۱۰۶/۸ میلیارد متر مکعب در سال ۱۳۸۲ کاهش یافته است.

با توجه به ارتباط حجم آب مجازی خروجی و میزان بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری به نظر می‌رسد شاخص آب مجازی خروجی شبکه‌های آبیاری بتواند به عنوان ابزار مناسبی در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری و بهره‌وری آب این سامانه‌ها مطرح باشد. به تعبیر دیگر با تعیین دبی آب مجازی شبکه‌های آبیاری می‌توان فرایند مدیریت توزیع و تنظیم آب و چگونگی بهره‌برداری شبکه را مورد ارزیابی قرار داده، عوامل مؤثر بر آن را تعیین و ارزش‌گذاری نموده و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب هر شبکه را مشخص کرد. علاوه بر آن با قیاس آب مجازی شبکه‌های آبیاری مختلف می‌توان ضمن مقایسه عملکرد شبکه‌های مختلف، برآوردی از آب خروجی شبکه‌های آبیاری ارائه نمود.

با توجه به عوامل مختلف مؤثر در میزان بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری، به نظر می‌رسد تعیین معیارهای مناسب و استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process - AHP) بتواند شیوه جدید و مناسبی به منظور ارزیابی آب مجازی این شبکه‌ها باشد. روش تحلیل سلسله مراتبی یک ابزار چند معیاره بسیار کاربردی

انجام گردید. در این رابطه، حجم آب تحویلی به گیاه بر حسب مترمکعب در هکتار و میزان عملکرد محصول بر حسب کیلوگرم در هکتار می باشد. از آنجایی که آب تحویلی به هر گیاه در هر شبکه را نمی توان به طور دقیق و قاطع مشخص نمود، با فرض اینکه کل آب تحویلی به شبکه به گیاهان الگوی کشت آن تخصیص یافته باشد، تفکیک حجم آب بر اساس نیاز آبی گیاهان الگوی کشت، به صورت وزنی بین گیاهان الگوی کشت صورت پذیرفت. به منظور برآورد تخیر و تعرق پتانسیل محدوده هر شبکه آبیاری از نرم افزار کراپوات (Cropwat) و روش فائو پنمن - مانتیس استفاده شد. با استفاده از این نرم افزار و داده‌های بلند مدت ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در محدوده هریک از شبکه‌ها شامل حداکثر دما، حداقل دما، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی، میزان بارندگی و همچنین اطلاعات گیاهی، نیاز آبی گیاهان الگوی کشت در هر شبکه آبیاری محاسبه شد. آب مجازی واقعی شبکه آبیاری بر اساس میانگین گیری وزنی آب مجازی گیاهان الگوی کشت و با توجه به سطح زیر کشت گیاهان صورت گرفت. در برآورد آب مجازی واقعی، از میانگین داده‌های پنج ساله (۱۳۸۵-۱۳۸۱) شبکه‌های آبیاری استفاده گردید.

$$VW_a = \frac{\text{حجم آب تحویلی}}{\text{میزان عملکرد محصول}} \quad (1)$$

با توجه به ارتباط بهره وری آب با آب مجازی، مقدار کمی بهره وری آب شبکه آبیاری معادل معکوس مقدار آب مجازی آن شبکه در نظر گرفته شد.

## نتایج و بحث

### آب مجازی واقعی شبکه‌های آبیاری

در جدول ۲ مقدار میانگین پنج ساله آب مجازی واقعی شبکه‌های مورد مطالعه بر حسب میلیون متر مکعب در سال و متر مکعب بر کیلوگرم نشان داده شده است. نتایج نشان می دهد که در بین شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه، دز بیشترین مقدار آب مجازی واقعی ( $2568/14 \times 10^6$ ) و برخوار کمترین مقدار آب مجازی ( $47/2 \times 10^6$ ) را داشته است. تفاوت در مقدار آب مجازی شبکه‌های آبیاری را می توان در متفاوت بودن الگوی کشت و وضعیت بهره برداری از منابع آب در سطح شبکه جستجو نمود.

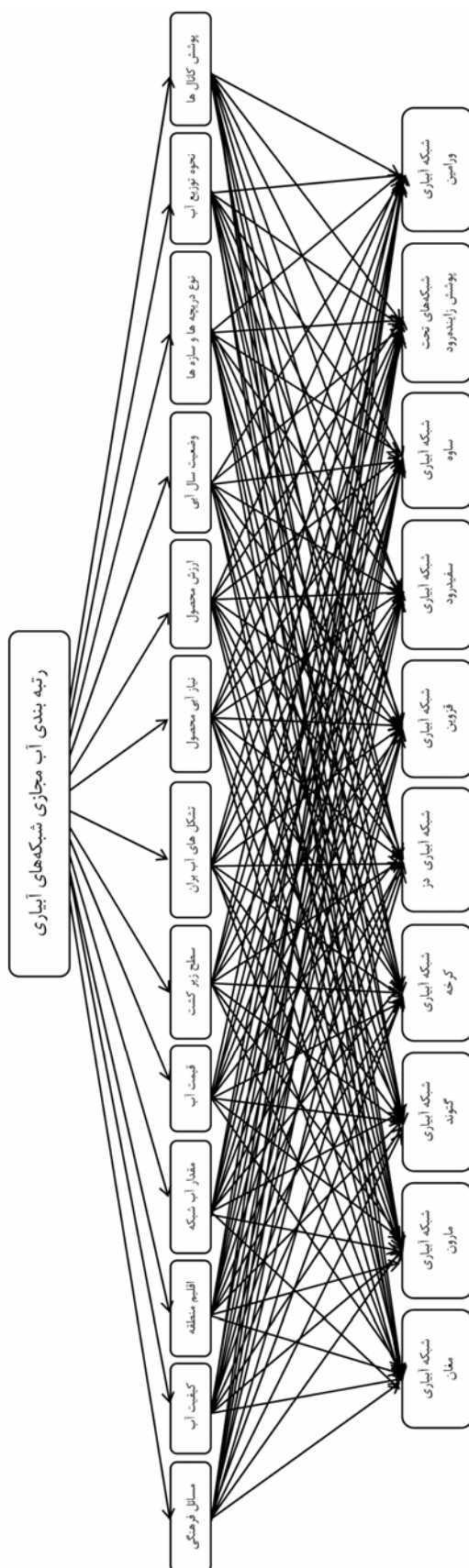
مدل تحلیل سلسله مراتبی (مدل AHP) در قالب ساختار شکل ۱ توسعه یافت. در این ساختار، سطح یک، هدف مورد نظر تحقیق را نشان می دهد که رتبه بندی شبکه‌های آبیاری از نظر آب مجازی می باشد. در سطح دوم، معیارهای مسئله یا پارامترهای مؤثر بر این شاخص مشخص شدند (۱۴ معیار) که عبارتند از: وضعیت پوشش کانال‌ها، نوع سازه‌های تنظیم و توزیع آب، نحوه توزیع آب، اقلیم منطقه (بارش و تبخیر و تعرق که در ساختار به صورت مجزا آورده نشده‌اند ولی در محاسبات به صورت مجزا در نظر گرفته شده‌اند)، وضعیت سال آبی، ارزش محصول، نیاز آبی محصول، وضعیت تشکلهای آب‌بران، الگوی سطح زیر کشت محصولات، قیمت آب، مقدار آب شبکه آبیاری (موجود و تحویلی)، کیفیت آب و مسائل فرهنگی مدیریت آب. در سطح سوم نیز گزینه‌های مورد نظر که همان ۱۴ شبکه آبیاری مورد مطالعه می باشند، مشخص گردیدند.

به منظور تعیین وزن قیاس‌های زوجی معیارهای کیفی، پرسشنامه‌هایی تهیه گردید که توسط کارشناسان و متولیان شرکت بهره برداری از شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه تکمیل شد. در مجموع ۴۰ پرسشنامه تکمیل گردید و نتایج آن در مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات مربوط به سطوح زیر کشت محصولات، آب ورودی و آب تحویلی به هریک از شبکه‌ها از سازمان مدیریت منابع آب استخراج شده (۱۴) و با مراجعه به شبکه‌های آبیاری مورد ارزیابی و کنترل قرار گرفتند. سایر اطلاعات مورد نیاز نیز از شرکت‌های بهره برداری از شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه جمع آوری شد (۲، ۳، ۴، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴). به منظور انجام محاسبات فرایند تحلیل سلسله مراتبی و رتبه بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری (گزینه‌ها) از مدل اکسپرت چویس (Expert choice) استفاده شد. این نرم افزار، یک ابزار حمایت از تصمیم چند هدفه بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی است (۱۸). در استفاده از این نرم افزار، نخست ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل گردیده و سپس وزن نسبی و مطلق مربوط به هریک از گزینه‌ها و معیارها محاسبه شد. در مجموع ۱۵ ماتریس در سطح معیارها و گزینه‌ها تشکیل گردید. همچنین نرخ ناسازگای هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی و حساسیت سنجی آب مجازی به عوامل مختلف با استفاده از این مدل صورت گرفت.

### شیوه ارزیابی مدل

به منظور ارزیابی مدل توسعه یافته، نتایج مدل با نتایج مقادیر محاسباتی آب مجازی واقعی شبکه‌های آبیاری مورد مقایسه قرار گرفت. محاسبه آب مجازی واقعی (VW<sub>a</sub>)، با استفاده از رابطه ۱

(شکل ۱) - ساختار مدل تحلیل سلسله مراتبی



(جدول ۱) - خلاصه اطلاعات شبکه‌های مورد مطالعه

تبخیر و تعرق میلیمتر در سال	درجه دمای سالانه گراد	متوسط بارندگی سالانه میلیمتر	متوسط بارندگی سالانه میلیمتر	مساحت زیر کشت هکتار	محدوده شبکه هکتار	ارتفاع متر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بزرگترین شهر محدوده	استان	شبکه های آبیاری
۹۳۸۷۸	۱۴	۱۲۰	۲۶۰۰۰	۳۲۰۰۰	۱۵۵۰/۴	۵۱°۴۲' شمالی	۳۳°۲۸' شرقی	۳۳°۲۵' تا ۳۳°۲۸'	اصفهان	اصفهان	ایشار
۹۳۸۷۸	۱۴	۱۲۰	۷۶۰۰۰	۴۵۰۰۰	۱۵۵۰/۴	۵۱°۳۲' شمالی	۳۳°۴۳' شرقی	۳۳°۵۵' تا ۳۳°۴۳'	اصفهان	اصفهان	برخوار
۹۳۸۷۸	۱۵	۱۲۰	۱۱۳۰۰۰	۳۵۰۰۰	۱۵۵۰/۴	۵۱°۲۰' شمالی	۳۳°۱۶' شرقی	۳۳°۲۴' تا ۳۳°۱۶'	شهرضا	اصفهان	مهباز
۹۳۸۷۸	۱۴	۱۲۰	۴۰۰۰۰	۶۷۰۰۰	۱۵۵۰/۴	۵۱°۲۳' شمالی	۳۳°۲۳' شرقی	۳۳°۴۰' تا ۳۳°۲۳'	نجف آباد	اصفهان	نکولآباد
۹۳۸۷۸	۱۴	۱۲۰	۱۹۶۰۰	۵۰۰۰۰	۱۵۵۰/۴	۵۲°۰۳' شمالی	۳۳°۲۳' شرقی	۳۳°۲۴' تا ۳۳°۲۳'	اصفهان	اصفهان	رودشت
۹۳۳۱۶	۲۷	۳۷۰	۹۳۷۵۰	۱۲۵۰۰۰	۱۴۳	۴۸°۲۵' تا ۴۸°۲۲' شمالی	۳۳°۰۰' شرقی	۳۳°۰۰' تا ۳۳°۰۰'	دزفول	خوزستان	دز
۱۱۰۰/۸۴	۲۶	۲۰۷/۱	۱۲۲۲۰	۱۸۲۰۰۰	۲۲/۵	۴۸°۲۶' تا ۴۸°۲۶' شمالی	۳۱°۲۱' شرقی	۳۱°۲۹' تا ۳۱°۲۱'	حمیدیه	خوزستان	گرخه
۱۰۳۱/۴۹	۲۶/۲	۳۲۴	۳۸۰۰۰۰	۴۷۷۱۰	۶۷	۴۸°۴۸' تا ۴۸°۴۸' شمالی	۳۳°۵۹' شرقی	۳۳°۱۴' تا ۳۳°۵۹'	شوشتر	خوزستان	گونبد
۹۵۸۴۹	۲۵	۳۵۵/۸	۱۶۴۰۲	۱۲۵۰۰۰	۳۱۳	۵۰°۲۰' تا ۵۰°۱۴' شمالی	۳۰°۱۵' شرقی	۳۰°۲۶' تا ۳۰°۱۵'	بهبهان	خوزستان	مارون (بهبهان)
۹۰۳۰۰۱	۱۳/۹	۴۷۸	۳۰۶۲۱	۸۰۰۰۰۰	۱۲۷۸/۳	۴۹°۴۵' تا ۴۹°۴۵' شمالی	۳۶°۰۰' شرقی	۳۶°۰۰' تا ۳۶°۰۰'	قزوین	قزوین	قزوین
۸۰۴۴۶	۱۴/۷	۲۹۹	۷۹۹۷۱	۹۰۰۰۰۰	۳۱/۹	۴۷°۰۰' تا ۴۳°۰۰' شمالی	۳۹°۲۵' شرقی	۳۹°۴۳' تا ۳۹°۲۵'	پارس آباد	اردبیل	مغان
۹۱۶/۱۵	۱۷	۱۸۰	۱۲۰۰۰۰	۳۳۰۰۰۰	۱۱۰۰۸	۵۰°۰۸' تا ۵۰°۰۸' شمالی	۳۵°۰۳' شرقی	۳۴°۴۵' تا ۳۴°۴۵'	ساوه	مرکزی	ساوه
۷۷۳۰۰۷	۱۳/۶	۱۱۰۰	۱۶۹۸۰۰۰	۲۸۴۱۸۰	۳۶/۷	۵۰°۳۴' تا ۴۸°۵۳' شمالی	۲۸°۳۳' شرقی	۲۸°۲۷' تا ۲۸°۳۳'	رشت	گیلان	سفیدرود
۹۲۸۵۶	۱۶	۱۲۵	۶۰۰۰۰۰	۸۰۰۰۰۰	۱۰۲۱	۵۱°۳۵' تا ۴۳°۳۵' شمالی	۳۵°۰۵' شرقی	۳۵°۰۵' تا ۳۵°۰۵'	ورامین	تهران	ورامین

ارتفاع ایستگاه سیرینیک منطقه  
میانگین ۵ ساله

است. بیشترین مقدار ناسازگاری مربوط به معیار مقدار آب شبکه و کمترین مقدار آن مربوط به قیمت آب و وضعیت سال آبی است. همچنین مقدار ناسازگاری کلی مدل نیز ۰/۰۴ برآورد گردید.

نتایج نهایی حاصل از تلفیق وزن معیارها و گزینه‌ها در شکل ۲ ارائه شده است. نمودارهای میله ای مقابل نام هر یک از شبکه‌های آبیاری، وزن نسبی نهایی آب مجازی شبکه آبیاری را نشان می‌دهد. بر اساس مقایسه وزن نسبی شبکه‌ها، شبکه آبیاری دز و ساوه به ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۱۲ و ۰/۰۴۵ بیشترین و کمترین مقدار آب مجازی را دارا می‌باشند.

### نتایج ارزیابی مدل

در جدول ۴ نتایج مدل تحلیل سلسله مراتبی و آب مجازی واقعی مورد مقایسه قرار گرفتند. در این جدول، وزن نسبی و رتبه شبکه‌های آبیاری (از نظر آب مجازی) بر اساس دو روش ارائه گردید. شبکه‌های آبیاری که مقدار آب مجازی و یا وزن نسبی یکسانی بودند، در یک رتبه قرار داده شدند. همان گونه که مشاهده می‌شود در اغلب موارد نتایج بدست آمده توسط مدل AHP با نتایج آب مجازی واقعی از تطابق خوبی برخوردار هستند. در شبکه‌های آبیاری کرخه، آبشار، مارون، گتوند، ورامین، قزوین، نکوآباد، مغان و سفیدرود رتبه حاصل از مدل با رتبه‌بندی واقعی با تقریب خوبی یکسان می‌باشد. این شبکه‌های آبیاری در دو روش، حداکثر سه رتبه اختلاف دارند. در شبکه‌هایی نظیر دز، مهیار و رودشت نتایج دو روش تقریباً یکسان است. این شبکه‌ها اختلاف رتبه‌ای بین چهار الی شش دارند. در شبکه‌های ساوه و برخوار این اختلاف رتبه بیش از شش بوده و بنابراین مدل توانسته است به خوبی نتایج همسانی با روش واقعی ارائه کند. با توجه به اینکه شیوه یکسانی در تعیین ضرایب وزنی مقایسه‌های زوجی بکار گرفته شده است، احتمال می‌رود عدم دقت کافی در داده‌های گزارش شده از مقادیر آب تحویلی این شبکه‌های آبیاری با مقادیر واقعی علت تفاوت رتبه شبکه‌ها در دو روش باشد.

نتایج نشان می‌دهد که مدل توسعه یافته در این تحقیق می‌تواند ضمن لحاظ نمودن پارامترهای مختلف مدیریتی، اقلیمی، فرهنگی-اجتماعی و سازه ای با دقت مطلوبی به ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری پرداخته و حساسیت این شاخص را نسبت به هر یک از این پارامترها تعیین نماید. وجود چنین یافته‌هایی در یک شبکه آبیاری می‌تواند مبنای برنامه ریزی و مدیریت مطلوب تر منابع آبی محدود گستره‌های کشاورزی باشد. به تعبیر دیگر مدل ارائه شده در این تحقیق امکان شناخت اثر پارامترهای مختلف بر عملکرد شبکه آبیاری را از نظر بهره برداری آب فراهم نموده و از اینرو می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مدیریتی با هدف بهبود و ارتقای بهره‌وری آب این سامانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

آب مجازی هر شبکه آبیاری (بر حسب متر مکعب بر کیلوگرم) از میانگین گیری وزنی آب مجازی گیاهان الگوی کشت بر اساس سطح زیر کشت تعیین گردیده است. نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که کمترین آب مجازی مربوط به شبکه آبیاری سفیدرود، ۲/۱۷ مترمکعب بر کیلوگرم، و بیشترین آن مربوط به شبکه آبیاری نکوآباد، ۱۷/۰۴ متر مکعب بر کیلوگرم، می‌باشد. این بدان معنی است که در شبکه‌های آبیاری سفیدرود و نکوآباد بطور متوسط برای یک کیلوگرم تولید کشاورزی، بترتیب ۲/۱۷ و ۱۷/۰۴ متر مکعب آب مصرف شده است. تفاوت در مقدار این شاخص در شبکه‌های آبیاری علاوه بر عوامل مؤثر بر تفاوت در مقدار آب تحویل شده (آب مجازی بر حسب واحد حجم در سال)، به دلیل تفاوت در مقدار تولید و نوع محصولات الگوی کشت نیز می‌باشد. به تعبیر دیگر، مقدار این شاخص می‌تواند وضعیت بهره‌وری آب در شبکه آبیاری را مشخص نماید. پایین بودن مقدار کمی آن بیانگر وضعیت مناسب بهره‌وری آب، و بالا بودن آن نشان از نامناسب بودن وضعیت بهره‌وری آب شبکه می‌باشد.

### رتبه بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری

مدل اکسپرت چویس با استفاده از روش مقایسه زوجی، رتبه‌بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری (گزینه‌ها) بر اساس ۱۳ معیار (عوامل مؤثر بر آب مجازی) مورد اشاره در ساختار تحلیل سلسله مراتبی را انجام داد. بدین منظور، ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل گردیده و وزن‌های نسبی و مطلق مربوط به هریک از گزینه‌ها و معیارها محاسبه شدند. همچنین نرخ ناسازگاری هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی تعیین گردید.

جدول ۳ وزن نسبی هر یک از معیارها و نرخ سازگاری مربوط به ماتریس‌های مقایسه زوجی آنها را نشان می‌دهد. بررسی نتایج این جدول بیانگر آن است که معیارهای مسائل فرهنگی، مقدار آب شبکه، پوشش کانال‌ها، نوع دریاچه‌ها و سازه‌ها از درجه اهمیت یکسانی بر آب مجازی شبکه‌های آبیاری برخوردارند. وزن نسبی این معیارها ۰/۱۲۹ برآورد گردید. پس از این معیارها، نحوه توزیع آب با وزن نسبی ۰/۱۱۴ در رتبه بعدی اهمیت قرار دارد. همچنین درجه اهمیت معیارهای وضعیت سال آبی، سطح زیر کشت، اقلیم، قیمت آب، نیاز آبی محصول و تشکل‌های آب‌بران بر آب مجازی شبکه‌های آبیاری متوسط بوده و معیارهای کیفیت آب و ارزش محصول به ترتیب با وزن‌های نسبی ۰/۰۲۱ و ۰/۰۱۵ درجه اهمیت کمتری در مقدار شاخص دارند.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود مقدار ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی مربوط به کلیه معیارها کمتر از ۰/۱ بوده که نشان دهنده سازگار بودن تصمیم‌گیرها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی

**وضعیت بهره وری آب شبکه‌های آبیاری**

با توجه به ارتباط بهره وری آب (WP) با آب مجازی و بر اساس نتایج مدل AHP، رتبه بندی بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه به صورت زیر می باشد:  
 ساوه > رودشت > برخوار > مارون > کرخه > مهیار >

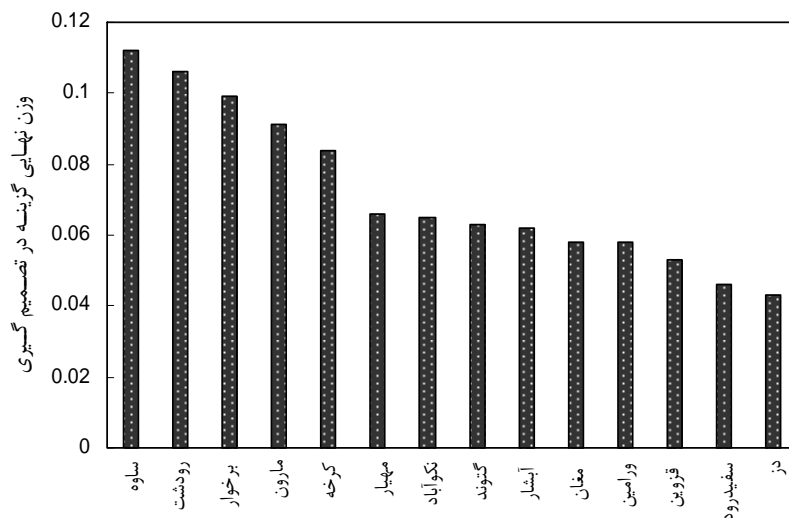
نکوآباد > گتوند > آبشار > مغان > ورامین > قزوین > سفیدرود > دز  
 البته تفاوت‌هایی بین رتبه شبکه‌های آبیاری در نتایج مدل و آب مجازی واقعی وجود داشته که در ارزیابی وضعیت بهره وری آب شبکه‌های آبیاری از نتایج آب مدل استفاده شد.

**(جدول ۲) - مقادیر آب مجازی شبکه‌های آبیاری**

شبکه آبیاری	آبشار	برخوار	مهیار	نکوآباد	رودشت	دز	گتوند	کرخه	مارون	قزوین	مغان	ساوه	سفیدرود	ورامین
آب مجازی (میلیون متر مکعب در سال)	۱۴۷/۰۲	۴۷/۲۰	۵۰/۱۲	۲۲۷/۳۲	۶۸/۰۰	۲۵۶۸/۱۴	۹۰۱/۹۰	۱۱۱/۶۴	۲۵۸/۰۲	۱۹۹/۵۶	۲۴۴/۵۳	۶۱/۳۶	۵۲۶/۸۰	۲۱۹/۱۶
آب مجازی (متر مکعب بر کیلوگرم)	۶/۵۱	۸/۱۳	۸/۳۱	۱۷/۰۴	۸/۴۷	۶/۴	۹/۷۱	۱۱/۲۹	۱۱/۲۴	۳/۵۳	۱۰/۸۳	۴/۵۱	۲/۱۷	۴/۱۲

**(جدول ۳) - وزن نسبی و نرخ ناسازگاری معیارها در ماتریس‌های مقایسه زوجی**

معیار	وزن نسبی معیار در مقایسه ماتریس زوجی	نرخ ناسازگاری در ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها براساس معیار
مقدار آب شبکه	۰/۱۲۹	۰/۰۸
نوع سازه‌ها و دریچه‌ها	۰/۱۲۹	۰/۰۳
پوشش کانال‌ها	۰/۱۲۹	۰/۰۱
مسائل فرهنگی	۰/۱۲۹	۰/۰۱
نحوه توزیع آب	۰/۱۱۴	۰/۰۱
وضعیت سال آبی	۰/۰۸۴	۰/۰۰۱
اقلیم (تبخیر و تعرق)	۰/۰۶۲	۰/۰۳
سطح زیر کشت	۰/۰۵۵	۰/۰۳
اقلیم (بارش)	۰/۰۳۳	۰/۰۳
قیمت آب	۰/۰۳۳	۰/۰۰۱
تشکل‌های آب بران	۰/۰۳۳	۰/۰۲
نیاز آبی محصول	۰/۰۳۳	۰/۰۳
کیفیت آب	۰/۰۲۱	۰/۰۲
ارزش محصول	۰/۰۱۵	۰/۰۶



**(شکل ۲) - وزن نهایی گزینه‌ها (شبکه‌های آبیاری) در مدل AHP**

(جدول ۴) - مقایسه نتایج مدل AHP و مقادیر واقعی (رتبه بندی آب مجازی شبکه‌های آبیاری)

آب مجازی واقعی		مدل Expert choice	
رتبه	نام شبکه آبیاری	رتبه	نام شبکه آبیاری
۱۱	سفیدرود	۱۱	دز
۱۰	قزوین	۱۰	سفیدرود
۹	ورامین	۹	قزوین
۸	ساوه	۸	ورامین
۷	دز	۷	مغان
۶	آبشار	۶	آبشار
۵	برخوار	۵	گتوند
۴	مهیار	۴	نکوآباد
۳	رودشت	۳	مهیار
۲	گتوند	۲	کرخه
۱	مغان	۱	مارون (بهبهان)
	مارون (بهبهان)		برخوار
	کرخه		رودشت
	نکوآباد		ساوه

(جدول ۵) - ارزیابی وضعیت عملکرد بهره برداری آب شبکه‌های آبیاری

شبکه آبیاری	دز	سفیدرود	قزوین	ورامین	مغان	آبشار	گتوند	نکوآباد	مهیار	کرخه	مارون	برخوار	رودشت	ساوه
وضعیت بهره‌وری آب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	مطلوب	نیمه مطلوب	نیمه مطلوب	نیمه مطلوب	نامطلوب	نامطلوب	نامطلوب	نامطلوب	بسیار نامطلوب	بسیار نامطلوب	بسیار نامطلوب

مطلوب، در شبکه‌های آبیاری مهیار، کرخه، نکوآباد و مارون نامطلوب و در شبکه‌های رودشت، برخوار و ساوه بهره برداری آب از وضعیت بسیار نامطلوبی برخوردار است. هر چند این مقایسه به صورت نسبی انجام شده است، لکن با توجه به پایین بودن کارایی بهره برداری آب در اغلب شبکه‌های آبیاری مورد مطالعه، توجه بیش از پیش بر ضرورت ارائه راهکارهایی با هدف بهبود استفاده از منابع آبی محدود در شبکه‌های آبیاری و ارتقای مدیریت این سامانه‌ها یک ضرورت انکار ناپذیر است.

#### تحلیل حساسیت مدل

شکل شماره ۳ نشان دهنده تحلیل حساسیت مدل به صورت پویا است که در آن کلیه معیارها و گزینه‌ها و وزن آن‌ها به صورت میله‌های افقی و اعداد متناظر نشان داده شده‌اند. در این نمودار وزن نسبی معیارها در بخش (الف) و در بخش (ب) گزینه‌ها و وزن نسبی آن‌ها نشان داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که در بخش (الف) معیارهای مسائل فرهنگی، پوشش کانال‌ها، ساختار فیزیکی (نوع دریاچه‌ها و سازه‌ها) و مقدار آب شبکه آبیاری با وزن ۱۲/۹ درصد بیشترین اهمیت را در بین کلیه معیارهای مؤثر بر بهره‌وری آب به

شاخص بهره‌وری آب می‌تواند به عنوان شاخص مناسبی به منظور ارزیابی عملکرد بهره برداری از آب شبکه‌های آبیاری لحاظ گردد. با توجه به نتایج جدول ۲، در این مطالعه محدوده تغییرات بهره‌وری آب به چهار بازه تقسیم شد. در این محدوده‌ها، عملکرد بهره برداری آب به صورت: (۱) مطلوب ( $WP \leq 0.2$ )، (۲) نیمه مطلوب ( $0.2 < WP < 0.15$ )، (۳) نامطلوب ( $0.15 < WP < 0.1$ ) و (۴) خیلی نامطلوب ( $WP < 0.1$ ) تعریف شد. بدین ترتیب، عملکرد بهره برداری آب در شبکه‌های آبیاری را می‌توان به صورت جدول ۵ ارزیابی نمود. این تقسیم بندی بر اساس وضعیت بهره برداری آب در کشور ایران صورت گرفته است. به تعبیر دیگر درجه مطلوب بودن و یا نامطلوب بودن به صورت نسبی و نسبت به شبکه‌های مورد مطالعه در این تحقیق انجام شده است. بدون تردید، به منظور ارزیابی وضعیت بهره برداری از آب در شبکه‌های آبیاری کشورهایی که دارای مدیریت مطلوب تری می‌باشند، می‌بایست از تقسیم بندی دیگری استفاده نمود.

نتایج نشان می‌دهد که بهره برداری آب در شبکه‌های آبیاری دز، سفیدرود، قزوین و ورامین شرایط مطلوبی دارد. همچنین در شبکه‌های آبیاری مغان، آبشار و گتوند بهره برداری آب شرایط نیمه



سامانه‌ها از نظر آب مجازی و بهره‌وری آب رتبه بندی گردید. نتایج نشان داد که فرایند تحلیل سلسله مراتبی به علت ماهیت گسسته خود و همچنین قابلیت کمی کردن پارامترهای مختلف مؤثر بر مقدار تابع هدف، روشی مناسب به منظور ارزیابی آب مجازی شبکه‌های آبیاری می‌باشد. بررسی انجام شده نشان داد، معیارهای سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات بیشترین تاثیر را بر آب مجازی و معیارهای کیفیت و قیمت آب کمترین تاثیر را بر این شاخص دارند. یافته‌های تحقیق بیانگر آن است که با تعیین عوامل مؤثر بر عملکرد بهره برداری آب و مشخص نمودن وزن نسبی آن‌ها در مقایسه‌های زوجی می‌توان فرایند مدیریت توزیع و تنظیم آب و چگونگی بهره‌برداری آب در شبکه آبیاری را مورد ارزیابی قرار داده و راهکارهای بهبود بهره‌وری آب شبکه‌ها را مشخص نمود. نتایج ارزیابی مدل توسعه یافته حکایت از آن دارد که مدل می‌تواند به عنوان یک ابزار مدیریتی کاراً با کاربری ساده در ارزیابی آب مجازی و بهره‌وری آب سامانه‌های آبیاری کشور مورد استفاده قرار گیرد.

#### سپاسگزاری

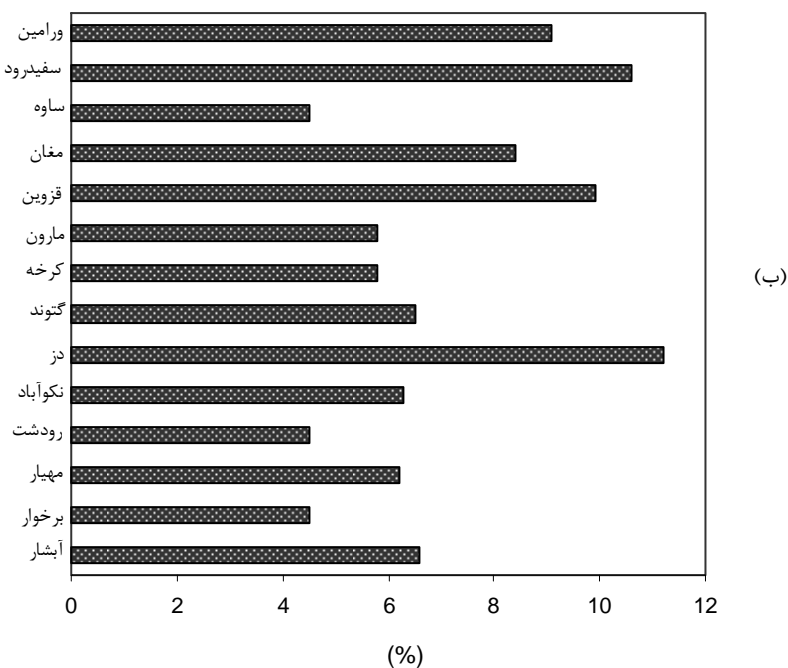
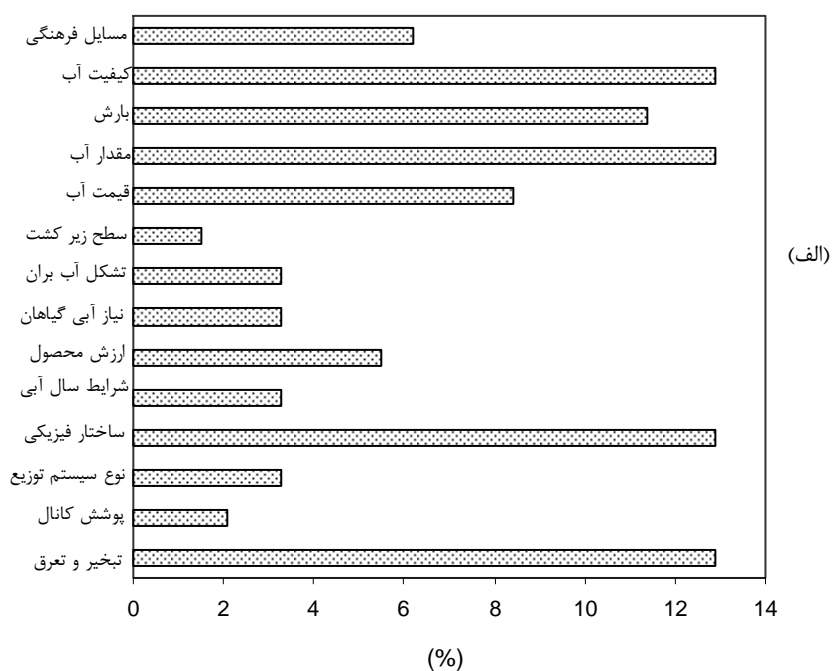
هزینه‌های انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تهران در قالب طرح تحقیقاتی مصوب شماره پ/۱/۲۰۵۰۷۳ تأمین شده است که بدینوسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه تهران سپاسگزاری می‌گردد.

خود اختصاص داده‌اند و معیار ارزش محصول کمترین تأثیر را دارد (با وزن ۱/۵ درصد). در بخش (ب) نیز مشاهده می‌گردد که شبکه دز با وزن انتخاب نهایی ۱۱/۲ درصد بیشترین بهره‌وری آب و شبکه‌های ساوه، بُرخوار و رودشت با وزن ۴/۵ درصد کمترین بهره‌وری آب را دارا است. این نمودار در نرم افزار قابلیت کشیده شدن داشته و می‌توان با تغییر مقدار هریک از گزینه‌ها یا معیارها تأثیر این تغییر را به صورت پویا بر روی سایر گزینه‌ها و معیارها مشاهده نمود.

نتایج نشان می‌دهد که توجه بیشتر به مسائل فرهنگی، پوشش کانال‌ها، نوع دریچه‌ها و سازه‌ها و مقدار آب در شبکه‌های آبیاری می‌تواند نقش قابل توجهی در دستیابی به سطح بالای بهره‌وری آب و عملکرد شبکه نقش قابل توجهی ایفا نماید. به همین علت است که در شبکه‌های آبیاری دز و سفیدرود که این عوامل از وضعیت نسبی بهتری برخوردار هستند، دارای مقدار بهره‌وری آب بالاتری نیز می‌باشند. از اینرو، مناسبت ترین شیوه به منظور ارتقای وضعیت بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری، تمرکز بر عوامل یا معیارهای مدیریتی است که بیشترین تأثیر نسبی بر مقدار این شاخص را دارند. بدین ترتیب با بهبود اندکی در کیفیت این معیار می‌توان به بهره‌وری مطلوب تر آب و عملکرد مناسب تر شبکه آبیاری دست یافت.

#### نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی به ارزیابی وضعیت آب مجازی ۱۴ شبکه آبیاری مهم کشور پرداخته شد. این



(شکل ۳) - نمایش ترسیمی تحلیل حساسیت مدل به صورت پویا:  
(الف) وزن نسبی معیارها، (ب) وزن نسبی گزینه‌ها

### منابع

- ۱- احسانی م. و خالدی ه. ۱۳۸۲. بهره‌وری آب کشاورزی. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۲- آرمسا س.م.، فیاض م.ع.، تطهیری م.ر. ۱۳۷۹. مدیریت منابع و مصرف آب شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود. مجموعه مقالات دهمین

- همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی.
- ۳- اسلامی م. ۱۳۸۴. مسائل ناشی از ساخت شبکه‌های آبیاری در خوزستان. نخستین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.
- ۴- افشار ب. ۱۳۸۱. مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری دز در شرایط خشکسالی. کارگاه تخصصی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- ۵- الماسی م. ۱۳۸۵. بررسی نقش لایروبی به موقع در بهینه‌سازی وضعیت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری (مطالعه موردی شبکه آبیاری و زهکشی گتوند). اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود.
- ۶- باغستانی، ع.ا. و مهرابی بشرآبادی، ح.، ۱۳۸۶. مفهوم آب مجازی و کاربرد آن در تعیین الگوی تجارت محصولات کشاورزی ایران. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، بهمن ماه.
- ۷- بهره‌دار د. ۱۳۸۳. بررسی روند بهره‌برداری از شبکه آبیاری مغان. چهارمین کارگاه فنی ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی.
- ۸- پاسبان عیسی لو ن.ا.، حسین‌زاده دلیر ع.، فرسادی‌زاده د.، صدرالدینی س.ع.ا. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد هیدرولیکی سازه‌های اندازه‌گیری جریان آب مطالعه موردی دریاچه‌های کشویی کانال M2R/D1L شبکه آبیاری و زهکشی مغان. کارگاه فنی مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- ۹- پایگاه اطلاع رسانی شرکت آبیاری گتوند (<http://gotv.blogfa.com>) آخرین دسترسی دی‌ماه ۱۳۸۷.
- ۱۰- حیدرپور غ.ج. و آقائوری ع. ۱۳۸۱. مدیریت بهره‌برداری از شبکه‌های سازگار با امکانات منابع آب در دسترس در حوضه آبریز زاینده‌رود. کارگاه تخصصی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی آبان ۱۳۸۱.
- ۱۱- خورشیدی فر ج. ۱۳۸۱. مدیریت شبکه‌های آبیاری اصفهان. کارگاه تخصصی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- ۱۲- سازمان جهاد کشاورزی. ۱۳۸۶. بانک اطلاعات زراعت و باغبانی، قابل دسترسی در سایت [www.maj.ir](http://www.maj.ir)
- ۱۳- سیاهی م.ک. و باغبان‌زاده ب. ۱۳۸۱. پیشرفت‌های حاصله در زمینه به کارگیری فن‌آوری‌ها برای اصلاح ساختار مدیریت بهره‌برداری، پایش، کنترل و ارزیابی در سطح کشور (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان). کارگاه تخصصی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- ۱۴- شرکت مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۸۶. گزارش اطلاعات سالانه شناسنامه‌ای شبکه‌های مدرن آبیاری و زهکشی، سال‌های زراعی ۸۵-۱۳۸۰.
- ۱۵- شیخ حسینی م.، کاکاحاجی ع.ا.، سینایی س.ا. ۱۳۸۵. زمینه‌ها و چالش‌های قانونی در انتقال مدیریت شبکه‌های آبیاری به تشکل‌های آب‌بران (مطالعه موردی: شبکه آبیاری دشت قزوین) کارگاه فنی مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۵.
- ۱۶- صادقی عطار م. ۱۳۷۴. بهره‌برداری بهینه از شبکه آبیاری و زهکشی دز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۱۷- قاسمی ع. ۱۳۸۳. نظام نوین بهره‌برداری شبکه آبیاری دشت قزوین و نقش و جایگاه تشکل‌های آب‌بران در آن. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۱۸- قدسی پور ح. ۱۳۸۵. فرایند تحلیل سلسله مراتبی. مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- ۱۹- کشاورز ع. و حیدری ن. ۱۳۸۴. نگرشی بر اسراف و ضایع نمودن منابع آب کشور در مراحل تولید و مصرف محصولات کشاورزی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس جلوگیری از اتلاف منابع ملی، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران.
- ۲۰- کهریزی ا. و رضوی عرب م.ک. ۱۳۸۱. بهسازی ساختار مدیریت بهره‌برداری شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود گیلان سازگار با انتقال مدیریت به تشکل‌های آب‌بران. کارگاه تخصصی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- ۲۱- محجوبی ه. ۱۳۸۱. نگرشی بر روند تعمیرات شبکه آبیاری و زهکشی مغان. کارگاه تخصصی مدیریت بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی ۸ آبان.
- ۲۲- مطالعات نظام بهره‌برداری و مشارکت مردمی شبکه آبیاری قزوین، ۱۳۷۴، مهندسین مشاور آب و توسعه پایدار.
- ۲۳- نحوی م.ب.، نوعی م.، رحیمی ح. ۱۳۸۴. انعکاس تجربیات حاصل از بازسازی سازه‌های آبی در دوران بهره‌برداری (بررسی موردی شبکه‌های آبیاری مارون). نخستین کنفرانس ملی تجربه‌های ساخت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.
- ۲۴- وزارت جهاد کشاورزی. ۱۳۸۳. تقویم زمانی کاشت و برداشت محصولات کشاورزی.
- 25- Allan J.A. 1998. Virtual water: A Strategic Resource. Global Solutions to Regional Deficits. Ground Water, 36(4):545-546.

- 26- Allan J.A. 1999. A convenient solution. The UNESCO Courier, February, pp. 29–31.
- 27- Okada H., Styles S.W., and Grismer, M.E. 2008. Application of the analytic hierarchy process to irrigation project improvement. Part I. Impacts of irrigation project internal processes on crop yields. *Agricultural Water Management*, 95:199–204.
- 28- Montazar A., and Behbahani S.M. 2007. Development of an optimized irrigation system selection model using analytical hierarchy process. *Biosystems Engineering*, 98:155–165.
- 29- Randall P., Brown L., Deschaine L., Dimarziob J., Kaiser G., and Vierow J. 2004. Application of the analytic hierarchy process to compare alternatives for the long-term management of surplus mercury. *Journal of Environmental Management*, 71:35–43.
- 30- Saaty T.L. 2000. *Fundamentals of decision making and priority theory*, 2nd ed., RWS Publications, Pittsburgh, PA.

## An assessment model for the virtual water of irrigation networks using analytical hierarchy process

A. Montazar<sup>1\*</sup> - E. Zadbagher<sup>2</sup> - N. Heydari<sup>3</sup>

### Abstract

The main objective of this study was to develop an assessment model for the virtual water of irrigation networks using analytical hierarchy process. For this purpose, 14 modern irrigation networks of Iran were selected. Also, 14 effective factors on the virtual water of these systems were considered as decision criteria. Expert choice software was used for ranking the virtual water values of the proposed irrigation networks. The average virtual water of irrigation networks with regard to the 5-year data, 2002-2006, was determined. The results showed that the actual virtual water of the Nekooabad irrigation network was the highest ( $17.04 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ) and the Sefidrood irrigation network had the lowest amount ( $2.17 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ ). The results of the AHP model indicated that the Saveh and Dez irrigation networks with a relative weight of 0.112 and 0.045 had the most and the least virtual water content, respectively. The sensitivity analysis of the proposed model demonstrated that the cultivated area and crop water demand had a significant effect and water quality and water price had a low effect on this index. Comparisons showed that the results of AHP model were in good agreement with actual virtual water results. The findings revealed that AHP model is an efficient approach to assess the virtual water of irrigation networks. Hence, the proposed model, as a user-friendly model, can be also applied to assess the global water productivity of irrigation networks.

**Key words:** Virtual water, Water productivity, Irrigation network, Analytical hierarchy process, Evxpert choice model

---

1,2- Associate prof. and Former MSc. Student of Irrigation and Drainage Engineering Dept., Respectively, Campus of Aburaihan, University of Tehran

(\* - Corresponding author Email: [almontaz@ut.ac.ir](mailto:almontaz@ut.ac.ir))

3- Assistant prof. of Agricultural Engineering Research Institute, Karaj