تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال سیزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶
Volume 13, No. 3, Fall 2017 (IR-WRR)
۱۱۲-۱۲۷

ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی به روش تحلیل سلسله مراتبی با رویکرد آب مجازی (مطالعه موردی؛ شبکه‌های شهید رجایی، رامشیر و هندیجان)

محمد امین حصیلی [۱]، منا گلابی [۲*] و سعید برومندنسب [۳]

چکیده

نظر به اهمیت آب مجازی، در این پژوهش آب مجازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا نیاز آبی با استفاده از داده‌های هواشناسی ده ساله منطقه به وسیله نرم‌افزار CROPWAT محاسبه شد. سپس با استفاده از میزان تولید محصولات زراعی، آب مجازی شبکه‌های مذکور تعیین گردید. هم‌چنین عملکرد سه شبکه با رویکرد آب مجازی به روش سلسله مراتبی با استفاده از پرسش‌نامه مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که آب مجازی سبز گندم در شبکه‌های شهید رجایی، رامشیر و هندیجان به ترتیب ۷۱۸۳/۳، ۷۱۴۸/۹ و ۷۵۰۱/۱ مترمکعب در سال می‌باشد. مقدار آب مجازی سبز جو در سه شبکه مذکور به ترتیب ۸۰۳۳/۳، ۸۲۵۲/۸ و ۸۷۰۵/۶ مترمکعب در سال و برای کنجد در شبکه‌ی شهید رجایی ۹۸۳۶/۳ و در شبکه رامشیر ۱۰۲۵۲/۳۱ مترمکعب در سال به‌دست آمد. مقایسه ارقام محاسباتی با مقدار آب تحویلی نشان داد که در شبکه‌های شهید رجایی، رامشیر و هندیجان به ترتیب ۳۱، ۲۳ و ۲۸ درصد بیش‌تر از نیاز واقعی آبیاری انجام شده است. نتایج تحلیل سلسله مراتبی و رتبه‌بندی شبکه‌های مذکور با استفاده از نرم‌افزار Super Decision با رویکرد آب مجازی نشان داد که در شبکه‌های شهید رجایی و هندیجان معیار ارضی و در شبکه رامشیر عوامل اقلیمی بیش‌ترین وزن را دارا می‌باشد. کم‌ترین عامل تأثیرگذار عوامل اقتصادی به‌دست آمد. مقایسه نتایج تحلیل سلسله مراتبی و محاسباتی آب مجازی نشان داد که در هر دو روش شبکه هندیجان در رتبه اول قرار دارد. ارزیابی کیفی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌ها بر مبنا آب مجازی و بهره‌وری آب محاسبه شده نشان داد که شبکه‌های مذکور در وضعیت نامطلوب قرار دارند.

کلمات کلیدی: آب آبی، آب سبز، آب مجازی، بهره‌وری آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱/۳۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استادیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان اسفند ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

Evaluation of Irrigation and Drainage Networks Using Analytic Hierarchy Process with Virtual Water Approach (Case Study; Shahid Rajaee, Ramshir and Hendijan Networks)

M.A Hasily [1], M. Golabi [2] and S. Boroomand Nasab[3]*

Abstract

According to the importance of virtual water in water management, the amount of virtual water was determined in Shahid Rajaee, Ramshir and Hendijan irrigation and drainage networks. First, the crop water requirement was calculated by CROPWAT using meteorological data for 10 years. Then, the virtual water of the networks was determined using crop yield. Also, the networks performances were evaluated by questionnaire and analytical hierarchy process regarding the virtual water. Results showed that the green virtual water of wheat in Shahid Rajaee, Ramshir and Hendijan irrigation and drainage networks were 7183.33, 7148.88 and 7501.11 m^3/year, respectively. The amounts of green virtual water of barley in the mentioned networks were obtained 8033.33, 8252.78 and 8705.56 m^3/years, respectively and that of sesame were 9836.28 m^3/year and 10252.31 m^3/year respectively for Shahid Rajaee and Ramshir irrigation and drainage networks. Comparing the calculated data and delivered water indicated that in Shahid Rajaee, Ramshir and Hendijan irrigation and drainage networks water is delivered respectively 31, 23 and 28 percent more than actual water requirement. The results of AHP and ranking of mentioned networks using Super Decisions with virtual water approach showed that the field factors in Shahid Rajaee and Hendijan networks and the climate factors in Ramshir network had the greatest weight. The least influential factor in all three networks was the economics factors. Comparing the result of AHP and computational virtual water indicated that Hendijan network was in the first rank in both methods. Qualitative assessment of networks operation according to virtual water and water productivity showed that the studied networks are in undesirable conditions.

Keywords: Blue Water, Green Water, Virtual Water, Water Productivity.

Received: December 24, 2016
Accepted: April 20, 2017

1- M. Sc. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz
2- Assistant Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Email: mona_golabi@yahoo.com
3- Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

آب منبعی محدود، در عین حال ضروری برای جوامع بشری و سیستم اکولوژیکی وابسته به آن می‌باشد. با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی در بسیاری از کشورها و مناطق جهان، این منبع با ارزش به شدت، کاهش یافته است. بخش کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف کننده آب جهت تولید غذای بیش‌تر با آب کم‌تر با چالش مواجه می‌باشد (Momeni et al., 2011). کمبود آب در بخش‌های زیادی از کره زمین، مشکلات فراوانی را برای تامین آب شرب سالم، تولید محصولات کشاورزی و در کل روند عمومی زندگی انسان‌ها به‌وجود آورده است، به طوری که پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ۵۰ تا ۶۰ درصد مردم جهان با مشکلات ناشی از کم آبی مواجه شوند (Cosgrave and Rijiberman, 2000). کشور ایران هم که جزء کشورهای نیمه خشک می‌باشد، از این قاعده مستثنی نیست.

در سال‌های اخیر واقعیت کم آبی به‌شکل‌های گوناگون در ایران ملاحظه گردید. این در حالی است که برنامه‌ریزی برای رشد جمعیت ایران تا بیش از ۱۰۰میلیون نفر به انجام رسیده است. تأمین نیازهای غذایی یک جمعیت ۱۰۰میلیونی، بر مبنای متوسط تأمین ۶۰۰ کیلوکالری انرژی برای هر نفر در روز، سالانه بیش از ۱۵۰میلیارد مترمکعب آب نیاز دارد. که متأسفانه این مقدار در سبد آبی کشور موجود نیست (Mohammadian et al., 2008).

بحران روز افزون آب مسائلی هم‌چون کم آبی بر اثر استفاده بی رویه از منابع آب تجدید شونده و بهره‌برداری از منابع آب غیر قابل تجدید، خشکسالی‌های پیاپی و مسائل آبی گوناگون دیگر، باعث می‌شود که مدیریت منابع آب اهمیت ویژه‌ای پیدا کند. در همین راستا موضوع آب مجازی مطرح می‌شود که یکی از گزینه‌های مهم در مدیریت منابع آب می‌باشد. با مطرح شدن ایده آب مجازی[1] در سال‌های اخیر، روشن شده است که حجم زیادی از آب به‌صورت مجازی بین کشورهای مختلف جهان جابه‌جا می‌شود. در واقع با توجه به تقاضای فعلی، منابع آب موجود جواب‌گوی تأمین نیاز آیندگان نخواهد بود. لذا توجه به شیوه‌های نوین مدیریت و تأمین آب بسیار ضروری می‌باشد. یکی از شیوه‌های متداول در جهان، توجه به آب مجازی محصولات و تجارت آن است (Razavi and Davary, 2014). آب مجازی، مقدار آبی است که کالا یا محصول در یک فرایند تولید از لحظه شروع تا پایان مصرف می‌کند و به تعبیری در محصول جاسازی می‌گردد. توسعه‌دهندگان ایده آب مجازی معتقدند با صادرات و واردات کالا و محصولات حجم زیادی آب جابه‌جا می‌شود، که از آن به عنوان تجارت آب مجازی نام‌برده می‌شود. متوسط حجم آب مجازی مبادله شده در جهان از طریق مبادلات کالا و خدمات بیش از ۱۶۰۰ میلیارد مترمکعب در سال برآورد می‌شود (Barghi et al., 2008). Renault (2002) معتقد است که ذخیره آب مجازی در سطح جهانی باعث افزایش تغییر در تولید آب می‌شود. وی افزایش ذخیره غذایی را وابسته به حفظ واقعی آب مجازی می‌داند. Fracasso et al. (2015) بر روی فاکتورهای مهمی از صادرات و واردات که، وابسته به جریان‌های آب مجازی هستند، تحقیق کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که تخصیص بیش‌تر آب الزاماً منتج به صادرات بیش‌تر آب مجازی نمی‌شود. هم‌چنین شواهدی یافت شد که افزایش قیمت آب آبیاری باعث کاهش صادرات و افزایش واردات آب مجازی می‌شود.

Zhang et al. (2016) معتقد هستند که، با توسعه سریع اقتصاد و جمعیت، کمبود آب و کیفیت پایین آب ناشی از آلودگی آب به طور فزاینده‌ای در چین تشدید شده است. تجارت آب مجازی یک ابزار مفید جهت مقابله با کمبود آب است. آن‌ها با تمرکز بر یک مطالعه جامع بر روی آب مجازی محصولات کشاورزی تولیدی در بازه زمانی سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ به این نتیجه رسیدند که چین در رابطه آب مجازی و محصولات کشاورزی در حالت تجارت مازاد (بیلان مثبت تجاری آب مجازی) قرار دارد. مقدار آب مجازی محصولات کشاورزی ۲۹/۹۴ میلیارد مترمکعب در سال محاسبه شد، این در حالی است که آب نهفته در محصولات صادراتی ۱۵۵/۵۵ میلیارد مترمکعب در سال بود. هم چنین Duarte et al. (2016) در مطالعه‌ای بیان نمودند، روند جهانی شدن در نیم قرن اخیر مستلزم تجارت رو به رشد در محصولات کشاورزی و مواد غذایی است. در نتیجه، آبی که میان کشورها منتقل شده است، پنهان در این کالاها می‌باشد. آن‌ها تکامل جریان آب مجازی را در دراز مدت مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان دادند که مقصد و منشاء آب مجازی تغییر یافته ولی با این وجود شمال امریکا هم‌چنان رتبه اول را در صادرات آب مجازی دارا می‌باشد و اروپا و آسیا را با وابستگی به آب‌های خارجی تشکیل دهنده شبکه واردات آب مجازی دانستند. از طرف دیگر Dermody et al. (2014) دلیل قدرت برخی از کشورها و شهرها نظیر روم را در مدیریت منابع آب در دوران ماقبل صنعتی، شیوه آبیاری و تجارت آب مجازی که باعث ثبات اجتماعی- اقتصادی می‌شود، دانستند. آن‌ها با تحلیل‌های هزینه‌ی پایه‌ای، نشان دادند که افزایش در مخارج وارده ناشی از فشارهای اقلیمی و جمعیتی احتمالاً در شبکه آب مجازی در جهان آینده توزیع شده است.

Liu et al. (2015) معتقدند که پیاده‌سازی سیاست تجاری آب مجازی در مقیاس کوچک و منطقه ای ممکن است به صورت بالقوه به کاهش کمبود آب و ارتقای مدیریت آب منطقه کمک کند. آن‌ها آب مجازی

را در منطقه آبیاری هتاأ[۴] در طول مدت سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ محاسبه کردند. جریان آب مجازی درون منطقه ای ۳۴/۲۹×۱۰^۶ متر مکعب در سال بود، بزرگ‌ترین صادر و وارد کننده به ترتیب دنگکو و کیانکی بودند. بیش از ۹۰ درصد جریان آب مجازی سرچشمه گرفته شده از مناطقی با تنش آبی کم‌تر بود که به مناطق با تنش آبی بیش‌تر انتقال یافت. شاخص کمبود آب (نسبت آب تخصیص یافته به آب در دسترس) رابطه منفی با تراز آب مجازی (تفاضل بین آب صادراتی و وارداتی) داشت. مناطقی با تنش بالای آبی از این الگوی جریان آب مجازی سود جستند، اما منطقه آبیاری هتاأ سالیان ۱/۹۶×۱۰^۶ مترمکعب آب در سال از دست داد.

در ایران Mousavi et al. (2010) آب مجازی را راهکاری نوین در جهت مقابله با بحران آب دانستد و به‌این نتیجه رسیدند که واردات مواد غذایی در ایران هنوز با هدف تجارت آب مجازی صورت نمی‌گیرد در صورتی که می‌توان با بهره‌گیری از الگوهای جدید جهت ارزیابی جایگاه کشور از نظر مزیت نسبی در تولید محصولات کشاورزی و تغییر سیاست‌های واردات و صادرات مواد غذایی با رعایت اصول امنیت غذایی، منافع حاصل از آن را در دیگر بخش‌ها سرمایه‌گذاری کرد و با بحران آب در کشورهای دچار خشکسالی به مقابله پرداخت. Baghestany et al. (2010) وضعیت آب مجازی در ایران را بررسی نمودند. آن‌ها روشی را برای کمی‌سازی و ارزیابی آب نهفته در صادرات و واردات محصولات کشاورزی طی سال‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۵ در ایران ارائه کردند. نتایج نشان دادند که طی سال‌های مورد بررسی در ایران تراز تجارت آب مجازی، منفی و ایران به وارد کننده آب مجازی تبدیل شده است.

با توجه به ارتباط حجم آب مجازی خروجی و میزان بهره‌وری آب شبکه‌های آبیاری به‌نظر می‌رسد شاخص آب مجازی خروجی شبکه‌های آبیاری بتواند به‌عنوان ابزار مناسبی در ارزیابی عملکرد بهره‌برداری و بهره‌وری آب این سامانه‌ها مطرح باشد. Firouzi and Najdi (2011) مصرف زیاد آب در کشاورزی و پایین بودن راندمان آبیاری را لازمه‌ی توجه بیش‌تر بر مدیریت آبیاری و زهکشی برای افزایش محصول دانستند. آن‌ها عواملی مانند مشارکت بهره‌بردار در تصمیم‌گیری، اجرا و پیشبرد طرح‌ها، مدیریت آب مجازی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و در نهایت اصلاح مدیریت منابع آب سطحی و زیر سطحی را در این امر مهم و اساسی دانستند.

به تعبیر دیگر با تعیین آب مجازی شبکه‌های آبیاری می‌توان فرایند مدیریت توزیع، تنظیم آب و چگونگی بهره‌برداری شبکه را مورد ارزیابی قرار داد. عوامل مؤثر بر آن را تعیین و ارزش گذاری 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. به‌طوری‌که Mohammadian et al. (2008) با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی، اولویت‌های ذهنی و معیارهای تصمیم‌گیری کشاورزان و مسئولان را در رابطه با الگوی زراعی با تأکید بر مبادله آب مجازی شناسایی کردند و در نهایت الگوی بهینه کشت در طول یک دوره برنامه‌ریزی ده ساله پیشنهاد دادند.

هم‌چنین Montazar (2009)، ۱۴ شبکه‌ی ورامین، ساوه، سفیدرود، مغان، قزوین، آبشار، برخوار، رودشت، مهیار، نکوآباد، دز، کرخه، گتوند و مارون را انتخاب کرد تا تولید کلی آب این مناطق را در دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶ محاسبه کند. وی در تمامی مناطق مشاهده کرد که گیاهان زراعی به مراتب آب مجازی بیش‌تری دارند و می‌توانند جایگزین باقی گیاهان شوند. وی کم‌ترین تولید کلی آب را مربوط به مناطق آبیاری مهیار و برخوار با ۰/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب و بیش‌ترین مقدار را مربوط به منطقه آبیاری دز با ۰/۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب دانست. به علاوه Montazar et al. (2009) در ارزیابی ۱۴ شبکه آبیاری با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی و رتبه‌بندی آن‌ها، در تحلیل حساسیت خود به این نتیجه رسیدند که معیارهای سطح زیر کشت و نیاز آبی محصولات بیش‌ترین تأثیر و معیارهای کیفیت و قیمت آب کم‌ترین تأثیر را بر آب مجازی دارد.

Omidi et al. (2014) با ارزیابی آب مجازی در شبکه آبیاری و زهکشی تاکستان نشان دادند که افزایش آب مجازی سبز در محصولات با افزایش بهره‌وری همراه است. از طرفی، با توجه به‌کم بودن آب مجازی در محصولات پرکالری مانند گندم، جو و سیب‌زمینی می‌توان در مواقع لزوم برنامه کشت را بر اساس انرژی تولیدی محصولات تعیین نمود.

توسعه و گستردگی شبکه‌های آبیاری و زهکشی در استان خوزستان ارزیابی این شبکه‌ها در زمان بهره‌برداری را، امری اجتناب‌ناپذیر نموده است. با توجه به این که میزان آب مجازی تابعی از شرایط طراحی، ساخت و نحوه بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی می‌تواند باشد و اهمیت این شاخص در بحث مدیریت منابع آب، تحقیقی در این راستا با هدف برآورد میزان آب مجازی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان انجام شد. در این پژوهش ضمن برآورد میزان آب مجازی محصولات غالب شبکه‌های مذکور، ارزیابی شبکه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی با رویکرد آب مجازی انجام

گرفت، تا با تحلیل حساسیت پارامترهای تاثیرگذار به‌توان به‌سوی ارتقا این شاخص در شبکه‌های مذکور پیش رفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در سه شبکه آبیاری زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان تحت پوشش شرکت بهره‌برداری از سد و نیروگاه و شبکه‌های آبیاری و زهکشی زهره و جراحی انجام شد. مشخصات عمومی شبکه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی در ۱۶۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز در اراضی مستعد زراعی دشت‌های امیدیه واقع گردیده است. منبع تامین آب شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی رودخانه زهره می‌باشد که به‌واسطه بند انحرافی و به‌طریق ثقلی آبگیری از این شبکه صورت می‌گیرد. سطح زیر پوشش این شبکه ۸۸۰۰ هکتار و تعداد بهره‌برداران آن ۵۲۲ نفر می‌باشد (Anonymous, 2009).
شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان در جنوب شرقی اهواز و پایین دست سد انحرافی آسک با وسعتی حدود ۵۰۰۰۰ هکتار احداث شده است و جزء یکی از پروژه‌های مهم حوضه آبریز زهره به‌حساب می‌آید. در این شبکه شش ناحیه عمرانی در ساحل راست به‌نام‌های R_1 تا R_6 به وسعت ۳۳۰۰۰ هکتار و سه ناحیه در ساحل چپ به‌نام‌های L_1 تا L_3 به‌وسعت ۱۷۰۰۰ هکتار اجرا گردیده است. هدف از اجرای شبکه، رفع محدودیت آب و خاک، افزایش بازده محصولات کشاورزی و جلوگیری از مهاجرت روستائیان می‌باشد. در این تحقیق شبکه R_1 به‌وسعت ۶۵۰۰ هکتار مورد مطالعه قرار گرفته شد.

شبکه آبیاری رامشیر در حوالی شهرستان رامشیر و در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز واقع گردیده است. منبع تامین آب شبکه رودخانه جراحی و نحوه آبگیری از این شبکه از طریق انحراف آب به کمک سد تنظیمی- انحرافی است. ظرفیت انتقال کانال‌های اصلی نه مترمکعب در ثانیه و سطح تحت پوشش شبکه ۲۲۰۰۰ هکتار می‌باشد.

کشت غالب شبکه‌های آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان گندم است. در کنار این کشت جو و درصد کمی کنجد نیز کاشت می‌شود. شکل ۱ نقشه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲- آب مجازی

اصطلاح آب مجازی، اولین بار در دهه ۹۰ میلادی توسط Allen (1998) به صورت مجموع آب مصرف شده برای تولید مقدار معینی از محصول در مراحل مختلف زنجیره تولید از لحظه شروع تا پایان (اعم از کالا، فرآورده‌های کشاورزی یا حتی خدمات) تعریف شد.

Table1. General characteristics of the studied irrigation and drainage networks (Anonymous, 2009)
جدول ۱- مشخصات عمومی شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد مطالعه (Anonymous, 2009)

Basin	Irrigation network	Water resource	Area (ha)	Geographical coordinates
Zohreh-Hendijan	Shahid Rajae	Diversion dam	8800	**30° 52′ N و 49° 54□ E**
	Hendijan	Diversion dam	50000	**30° 14′ N و 49° 43□ E**
Marun-Jarahi	Ramshir	Regulatory-diversion dam	22000	**31°15□ N و 49° 35′ E**

Fig. 1. The location of studied networks (solid circles on the map)
شکل ۱- موقعیت مکانی شبکه‌های مورد مطالعه (دایره‌های توپر روی نقشه)

صفت مجازی در تعریف فوق الذکر به‌این دلیل به‌کار می‌رود که بخش عمده آب مصرف شده طی فرآیند تولید، در محصول یا کالای نهایی وجود فیزیکی ندارد.

Hoekstra (2003) ضمن تکمیل تعریف آب مجازی بیان نمود که آب مجازی، جمع کل آب مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول (کالا)، با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی، زمان تولید و راندمان می‌باشد.

بر اساس تعریف اخیر، شرایط اقلیمی، مکان و زمان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی، فرهنگ و عادت مردم در میزان آب مجازی مؤثر است و قطعاً مقدار آن در مورد یک محصول در مناطق مختلف متفاوت خواهد بود. برای محاسبه مقدار آب مجازی محصولات (کشاورزی، صنعتی و غیره)، لازم است کلیه منابع آبی که به صورت مستقیم و غیر مستقیم (اعم از باران، آب سطحی یا آب زیرزمینی) در تولید محصول مؤثر بوده‌اند را در محاسبات مورد توجه قرار داد.

آب مجازی و بهره‌وری آب نسبت به هم رابطه عکس دارند. طبق تعریف، بهره‌وری آب عبارت است از مقدار محصول تولید شده از واحد حجم آب و واحد آن معمولاً کیلوگرم بر مترمکعب تعریف می‌شود. در صورتی‌که آب مجازی، مقدار آب مصرف شده برای تولید مقدار معینی محصول را مورد توجه قرار می‌دهد و واحد آن لیتر بر کیلوگرم (یا مترمکعب بر کیلوگرم) است. به عبارت دیگر در بهـره‌وری تأکید بر مقدار تولید از آب، و در آب مجازی بر عکس، تأکید بر مقدار آب مـصرف شده در تولید محصول می‌باشد، بنابراین با افزایش بهره‌وری آب، مقدار آب مجـازی در محصول یا کالای مورد نظر کاهش خواهد یافت و برعکس.

در فرایند تولید یک کالا، یـا یـک محـصول ممکـن اسـت منـابع مختلـف آب، نظیـر آب زیرزمینی، آب سطحی، چشمه‌ها، آب باران، پساب‌ها و غیره به‌کار گرفته شده باشد، که در آن صورت نوع منبع تأمین آب می‌تواند در تحلیل آب مجازی نقش به‌سزایی داشته باشد. این ایده منجر به معرفی و طبقه‌بندی آب‌های مجازی به سه رنگ آبی، سبز و خاکستری شده است. آبی که به‌صورت رطوبت در خاک ذخیره شده است را آب سبز می‌گویند. آب سبز را اولین بار Falkenmark (1995) معرفی نمود ولی سال‌های گذشته کم‌تر مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است. آب سبز یکی از منابع مهم تأمین آب مورد نیاز گیاهان، بالاخص در اراضی دیم، می‌باشد. مقدار آب سبزی که گیاه برای رشد و نمو مصرف نموده و در بافت گیاه ذخیره یا طی فرایند تعرق از دست می‌دهد، به‌عنوان آب سبز مجازی شناخته می‌شود. آبی که در رودخانه‌ها، پشت سدها، دریاچه‌ها، آب‌های سطحی و آبخوان‌های زیرزمینی وجود دارد، آب آبی نامیده می‌شود. بنابراین "آب آبی مجازی" عبارت است از حجم آب سطحی یا زیرزمینی که طی فرایند تولید کالا و یا خدمات، به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم مصرف می‌شود و آبی که در چرخه تولید یک محصول یا کالا آلوده می‌شود را آب خاکستری می‌نامند. به تعبیر دیگر، فاضلاب‌ها و پساب‌ها را می‌توان جزء آب‌های خاکستری طبقه‌بندی کرد. آن مقدار از آب خاکستری که در بخش کشاورزی به مصرف گیاه می‌رسد و یا در بخش صنعتی به‌عنوان پساب دفع می‌شود، را آب خاکستری مجازی می‌نامند.

با توجه به کاهش بارندگی در سال‌های اخیر هم‌چنین بهره‌وری پایین اراضی شبکه آبیاری و زهکشی در منطقه مورد مطالعه، الگوی کشت منظمی را نمی‌توان در واقعیت امر یافت. لذا برای این‌که در این تحقیق محاسبات حاصل قابلیت نزدیکی به واقعیت بیش‌تری داشته باشد، هم‌چنین مسئله درصد کشت در اراضی بر طرف شود، میزان آب مجازی محاسبه شده به ازای هر هکتار در سال واحدگذاری شده است.

آب سبز چندان قابل مدیریت نیست، اما آب آبی به‌روش‌های مختلف قابل کنترل و مدیریت می‌باشد. در تحقیق حاضر نسبت نیاز آبی به میزان محصول تولیدی به‌عنوان آب سبز و مقدار آبی که به زارع توسط شرکت بهره‌بردار تحویل داده شده است به‌عنوان آب آبی در نظر گرفته شده است.

در این مطالعه از داده‌های سینوپتیک منطقه با بازه ده ساله ۱۳۹۴-۱۳۸۵استفاده شد. ابتدا با کلاسه‌بندی آن و جای‌گذاری در نرم‌افزار CROPWAT نیاز آبی کشت غالب منطقه محاسبه گردید. سپس از طریق فرمول‌هایی که در زیر ارائه شده‌اند، آب مجازی شبکه محاسبه شده و سرانجام شبکه‌ها را با هم مقایسه می‌شود.

آب مجازی یک گیاه از نسبت کل آب مصرف شده برای تولید آن گیاه، به کل محصول تولید شده دست می‌آید، که معمولاً بر حسب مترمکعب در تن اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود و رابطه آن به قرار زیر می‌باشد (Ehsani et al., 2009):

$$VWC_{CROP} = \frac{CWU_{CROP}}{T_p} \qquad (۱)$$

که در آن VWC[۳] آب مجازی و Tp میزان محصول در سال (تن در سال) می‌باشد. CWU[۴] آب مصرفی گیاه است که عبارت است از جمع کل آب مصرف شده برای رشد و نمو یک گیاه در مدت معین و برای محاسبه آن می‌توان از معادله زیر استفاده کرد:

$$CWU_{CROP} = CWR_{CROP}\frac{Y_{Total}(ton/year)}{Y(ton/ha)} \qquad (۲)$$

که در آن CWR[5] همان نیاز خالص گیاهی است که از طریق نرم‌افزار CROPWAT محاسبه می‌شود و Y_{Total} و Y به‌ترتیب کل محصول تولید شده در سال و میزان محصول تولید شده در واحد سطح بوده، که اطلاعات آن از شرکت بهره‌برداری زهره–جراحی اخذ شد. از طرف دیگر با توجه به این‌که CWU همان نیاز ناخالص گیاه است پس آن را می‌توان از معادله زیر نیز به‌دست آورد.

$$CWU_{CROP} = \frac{CWR_{CROP}}{0.6} \quad (۳)$$

که در آن ۰/۶ همان راندمان سیستم آبیاری سطحی می‌باشد که در این مناطق استفاده می‌شود (Anonymous, 2015a, b).

۲-۳- روش تحلیل سلسله مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در اواخر ۱۹۷۰ (اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰ میلادی) توسط Saaty (1980) مطرح گردید. جهت استفاده از تحلیل سلسله مراتبی ابتدا باید معیار اصلی، زیرمعیارها و گزینه‌ها را مشخص نمود. سپس با استفاده از جدول موجود به معیارها براساس اهمیت، وزن مناسبی داد. یکی از ویژگی‌های برجسته این روش آن است که در یک زمان تنها به مقایسه دو معیار می‌پردازد. به بیان دیگر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سامانه‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند، هم‌چنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد. این فرآیند، گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد، هم‌چنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. از دیگر مزایای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان چنین اضافه نمود که فرآیند طوری طراحی شده که با ذهن و طبیعت بشری مطابق و همراه می‌شود و با آن پیش می‌رود. به‌طوری که می‌توان گفت این تکنیک از یک طرف وابسته به تصورات شخصی و تجربه جهت شکل دادن و طرح‌ریزی تحلیل سلسله مراتبی از یک مسئله بوده و از طرف دیگر به منطق، درک و تجربه جهت تصمیم‌گیری و قضاوت نهایی مربوط می‌شود (Parhizkar and Ghafari Gilandeh, 2006; Ghodsipour, 2010). به‌منظور استفاده از این روش، ابتدا لازم است ساختار سلسله مراتبی ترسیم گردد. این ساختار شامل؛ تعیین هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها می‌باشند، سپس با استفاده از روش مقایسه زوجی، وزن هر گزینه به‌دست می‌آید و گزینه برتر انتخاب می‌شود. به منظور ارزیابی شبکه‌های مذکور با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی ابتدا هدف، معیار، زیرمعیار و گزینه‌ها تعریف شدند. شکل ۲ نمودار درختی سلسله مراتبی موارد مذکور را نشان می‌دهد.

براساس الگوی فوق و در نظر گرفتن هدف، معیار، زیرمعیار و گزینه‌ها پرسش‌نامه‌هایی تهیه و در سطوح کارشناس و بهره‌بردار اطلاعات مورد نیاز تحلیل سلسله مراتبی گردآوری شد. به‌این منظور در هر شبکه ۴۰ پرسش‌نامه تکمیل و در مجموع ۱۲۰ پرسش‌نامه تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای انجام ارزیابی به‌روش سلسله مراتبی از نرم‌افزار Super Decisions و اطلاعات گردآوری شده در پرسش‌نامه‌ها استفاده گردید. هر تصمیمی در این نرم‌افزار با ساخت یک سلسله مراتب یا درخت آغاز می‌شود. همان‌طور که ذکر شد، هر سلسله مراتب از چهار سطح هدف، معیار، زیرمعیار و گزینه تشکیل شده است. ساخت مدل با ساخت هدف که همان رتبه‌بندی آب مجازی در شبکه‌های یاد شده می‌باشد، شروع شد و به سمت پایین‌تر ادامه یافت. مرحله بعدی مرحله مقایسه‌های زوجی است و محاسبه وزن‌های نسبی معیارها و گزینه‌ها و در آخر نرم افزار شروع به محاسبه وزن نهایی هر گزینه کرده و خروجی را ارائه می‌دهد.

۳- نتایج و بحث

پس از بررسی داده‌های هواشناسی گردآوری شده و ورود آن به نرم‌افزار CROPWAT و جای‌گذاری نتایج در معادله‌های ۱ و ۳ میزان آب سبز محاسبه و نتایج با مقدار آبی شبکه‌ها (آب تحویلی به زارع توسط شرکت بهره‌بردار) مقایسه گردید. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج نشان دادند که مقدار آب سبز محاسبه شده گیاه گندم در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان بیش‌ترین مقدار و پس از آن شبکه‌های شهید رجایی و رامشیر قرار دارند. در هر سه شبکه مقدار آب تحویلی به زارع (Anonymous, 2015 a, b) که تحت عنوان آب آبی در نظر گرفته شده بیش‌تر از آب مورد نیاز گیاه می باشد. در شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان به‌ترتیب ۳۱، ۲۳ و ۲۸ درصد بیش از مقدار مورد نیاز، آب تحویل زارع شده است.

گیاه جو در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان بیش‌ترین مقدار آب سبز و در شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی و هندیجان نیز بیش‌ترین آب آبی را به خود اختصاص داده است. پس از شبکه هندیجان به لحاظ آب سبز، شبکه‌های رامشیر و شهید رجایی و از منظر آب آبی، شبکه رامشیر قرار دارد. در شبکه‌های شهید رجایی، هندیجان میزان آب سبز کم‌تر از آب آبی و در شبکه رامشیر این میزان برعکس می‌باشد.

گیاه کنجد فقط در دو شبکه رامشیر و شهید رجایی کشت می‌شود که آب سبز آن در شبکه رامشیر بیش‌تر از شبکه شهید رجایی می‌باشد، این در حالی است که در هر دو شبکه، آب آبی بیش‌تر از آب سبز

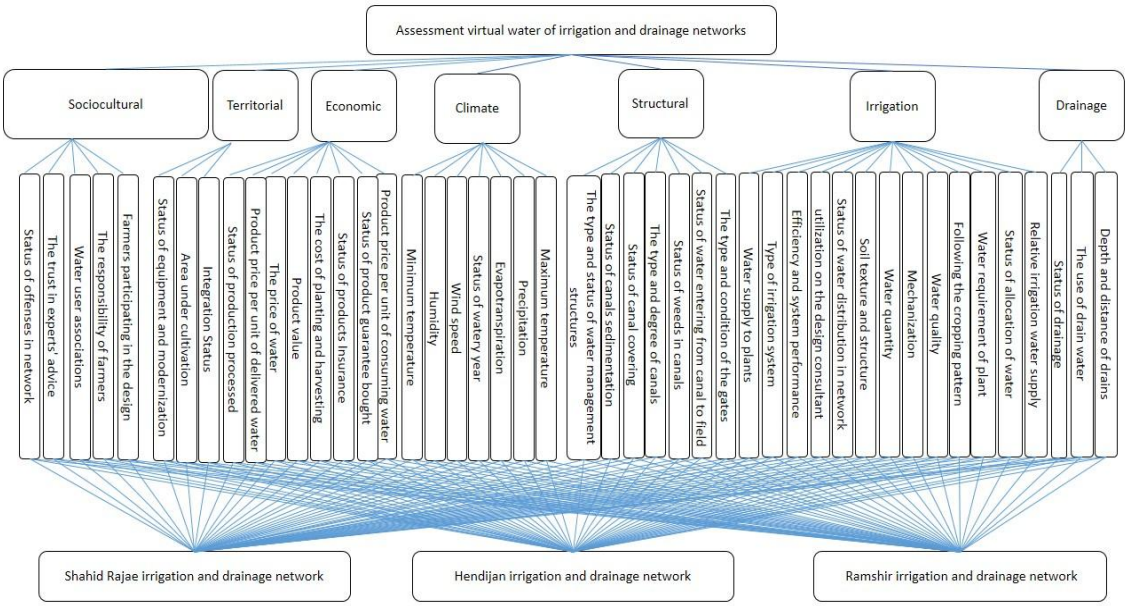


Fig. 2. A hierarchical tree pattern of irrigation and drainage networks with virtual water approach
شکل ۲- الگوی درختی سلسله مراتبی ارزیابی شبکه‌های آبیاری و زهکشی با رویکرد آب مجازی

Table 2. Computing quantities of virtual water in the studied irrigation and drainage networks
جدول ۲- مقادیر محاسباتی آب مجازی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد مطالعه

	Irrigation and drainage network	Wheat	Barley	Sesame
Net irrigation requirement (mm)	Shahid Rajaee	646.5	578.4	666.9
	Ramshi	643.4	594.2	695.1
	Hendijan	675.1	626.8	-
Gross requirement (mm)	Shahid Rajaee	1077.5	964	1111.5
	Ramshi	1072.3	990.3	1158.5
	Hendijan	1125.2	1044.4	-
Green water (m^3/year)	Shahid Rajaee	7183.3	8033.3	9836.3
	Ramshi	7148.9	8252.8	10252.2
	Hendijan	7501.1	8705.6	-
Blue water (m^3/year)	Shahid Rajaee	10444	8778	22167
	Ramshi	9278	7917	23167
	Hendijan	10444	8778	-

می‌باشد. این موضوع را می‌توان به تخصیص آب بیش‌تر از نیاز آبی محصول مرتبط دانست.

در یک بررسی کلی می‌توان بیان نمود که براساس محاسبات انجام شده رتبه‌بندی شبکه‌ها به‌ترتیب شبکه هندیجان، رامشیر و شهید رجایی می‌باشد.

پس از محاسبه کمی مقادیر آب مجازی، این شاخص براساس نظرات کارشناسان و بهره‌برداران مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که قبلا گفته شد در این مرحله نتایج مربوط به پرسش‌نامه‌های تکمیل شده به نرم‌افزار Super Decisions وارد و وزن عوامل مختلف تعیین گردید. روش تعیین وزن‌ها از طریق مقایسات زوجی می‌باشد. نتایج این قسمت در قالب شکل ۳ و جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است.

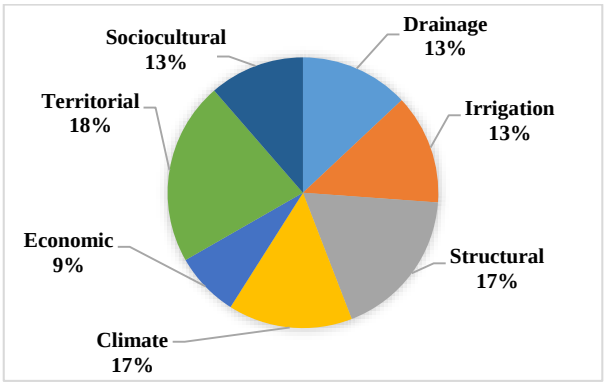
شکل ۳ وزن معیارهای مورد بررسی شبکه‌های آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان را نشان می‌دهد. براساس نمودارهای به دست آمده در شبکه شهید رجایی عوامل ارضی و اقتصادی با ۱۸ و ۹ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین اوزان را به خود اختصاص داده‌اند. هم‌چنین در شبکه رامشیر عوامل اقلیمی با ۱۸ درصد و عوامل اقتصادی

با وزنی معادل ۹ درصد دارای بیش‌ترین و کم‌ترین اوزان می‌باشند. نتایج به دست آمده در شبکه هندیجان مشابه شبکه شهید رجایی بوده با این تفاوت که درصد اوزان به‌ترتیب ۲۲ و ۸ درصد حاصل شده‌است. بر اساس بازدیدهای انجام شده و اظهارات تکمیل کنندگان پرسش-نامه‌ها، پایین بودن وزن عوامل اقتصادی در هر سه شبکه به واقعی نبودن قیمت آب و کم بودن قیمت خرید محصولات از طرف خریداران، هم‌چنین کم بودن قیمت خرید تضمینی گندم از سوی دولت ارتباط دارد. از طرف دیگر در شبکه رامشیر بدی آب و هوا تأثیر بسیاری بر تولید محصول داشته است. گرمای زیاد منطقه و رطوبت بالا از عواملی هستند که می‌توانند بر روی آب مجازی شبکه تأثیر بسیار زیادی گذاشته باشند. دو شبکه آبیاری و زهکشی رجایی و هندیجان در نزدیکی شهر امیدیه قرار دارند و چندان دور از ذهن نبود که عوامل مؤثر آن‌ها مشابه هم باشد، اما این‌که عوامل ارضی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی رجایی و هندیجان بیش‌ترین وزن دارا می‌باشد به قطعه‌بندی اراضی و نظام مالکیت مناسب‌تر این دو شبکه نسبت به شبکه رامشیر ارتباط دارد.

به خصوص شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان که جدید التاسیس بوده و هنوز درگیر مسائل و مشکلات زیادی نگردیده است.

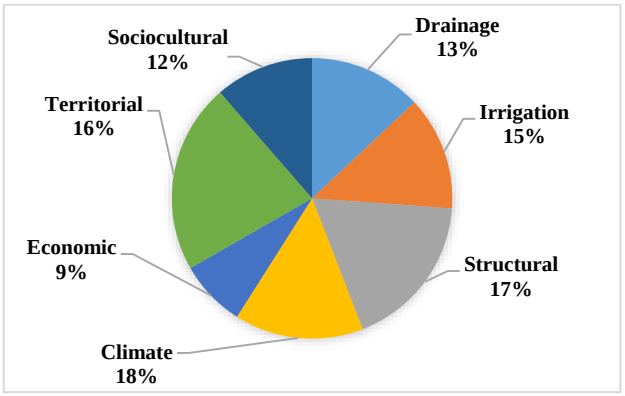
پس از بررسی معیارها، نتایج مربوط به زیرمعیارها به صورت درصد وزنی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده است.

بررسی زیرمعیارهای مورد بررسی در جدول ۳ مربوط به شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی نشان دادند که استفاده از زه‌آب، نوع سیستم آبیاری، ارزش محصول، قیمت آب، قیمت محصول در واحد آب تحویلی، ارزش محصول در واحد آب مصرفی، وضعیت فرآوری محصولات پس از تولید، مشارکت کشاورزان در طراحی و درجه مسئولیت‌پذیری کشاورزان با وزنی برابر و معادل ۰/۵۶ درصد دارای کم‌ترین وزن است.



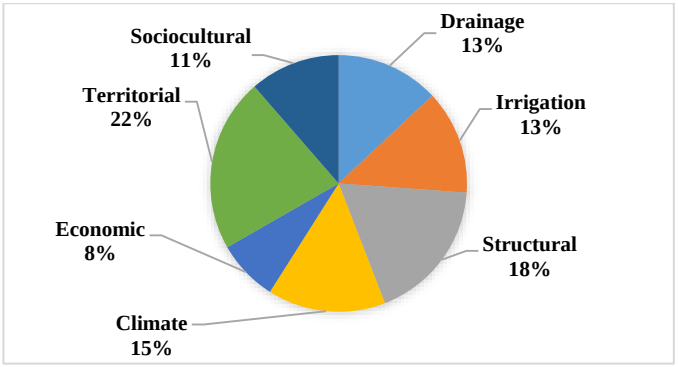
a) Shahid Rajaee irrigation and drainage network

الف) شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی



b) Ramshir irrigation and drainage network

ب) شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر



c) Hendijan irrigation and drainage network

ج) شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان

Fig. 3. The Weight of criteria in the studied irrigation and drainage networks

شکل ۳- وزن معیارهای مورد بررسی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد مطالعه

Table 3. The Weight of sub criteria in Shahid Rajaee irrigation and drainage network

جدول ۳- وزن زیرمعیارهای مورد بررسی در شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی

Criterion	Sub-criterion	Weight (%)	Criterion	Sub-criterion	Weight (%)
Climate	Evapotranspiration	3.95	Drainage	Status of drainage	2.26
	Wind speed	2.82		Depth and distance of drains	2.82
	Humidity	1.69		The use of drain water	0.56
	Maximum temperature	4.51	Irrigation	Water supply to plants	1.98
	Minimum temperature	1.69		Relative irrigation water supply	2.26
	Precipitation	1.69		Status of allocation of water	2.26
	Status of watery year	1.69		Water requirement of plant	2.26
Economic	The cost of planting and harvesting	1.69		Following the cropping pattern	2.82
	Product value	0.56		Water quality	1.69
	The price of water	0.56		Mechanization	2.26
	Product price per unit of delivered water	0.56		Water quantity	2.26
	Product price per unit of consuming water	0.56		Soil texture and structure	1.13
	Status of products Insurance	3.39		Status of water distribution in network	3.95
	Status of product guarantee bought	2.82		utilization on the design (Book design) consultant	2.54
	Status of production processed	0.56		Efficiency and system performance	1.69
Territorial	Status of equipment and modernization	1.41		Type of irrigation system	0.56
	Integration Status	3.39	Structural	The type and status of water management structures	3.39
	Area under cultivation	3.39		The type and condition of the gates	3.56
Sociocultural	Farmers participating in the design	0.56		The type and degree of canals	3.10
	Status of offenses in network	1.13		Status of canal covering	3.95
	The responsibility of farmers	0.56		Status of canals sedimentation	1.69
	Water user associations	3.95		Status of weeds in canals	1.81
	The trust in experts' advice	3.78		Status of water entering from the canal to the field	2.26

در این میان دمای حداکثر با وزنی معادل ۴/۵۱ درصد بیش‌ترین تاثیرگذاری را دارد. در شبکه آبیاری زهکشی رجایی مانند بسیاری از شبکه‌های موجود هیچ تمهیداتی برای استفاده مجدد از زه‌آب تولیدی وجود ندارد و سیستم آبیاری زمین‌های کشاورزی به‌صورت سنتی و غرقابی است که پایین‌ترین راندمان را دارد. از طرفی به دلیل پایین بودن ارزش محصول، قیمت آب و برداشت نسبتاً پایین محصولات به ازای هر هکتار نتیجتاً قیمت و ارزش محصول در واحد آب تحویلی نیز وزن کمی گرفت. از طرف دیگر نبود صنایع غذایی، کارخانجات و شرکت‌های مربوط در این مناطق باعث وزن کم زیرمعیار فرآوری محصولات پس از تولید شده است. در هیچ یک از شبکه‌های آبیاری و زهکشی نظرات کشاورزان و بهره‌برداران در طراحی‌ها لحاظ نشده، هم‌چنین از نظر کارشناسان درجه مسئولیت پذیری بهره‌بردارن در پایین‌ترین حد ممکن قرار دارد. اما در این شرایط دیده شد که دمای حداکثری بیش‌ترین درصد وزن را در میان زیر معیارها دارد، دلیل آن، خصوصیات اقلیمی منطقه با دمای حداکثری بالا است که گاهی به بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. دمای حداکثری یا بیشینه دما بر تولید محصول می‌تواند تأثیر بسزایی داشته باشد.

بررسی زیرمعیارها (جدول ۴) در شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر نشان داد که مشابه شبکه شهید رجایی استفاده از زه‌آب، نوع سیستم آبیاری، ارزش محصول، قیمت آب، قیمت محصول در واحد آب تحویلی، ارزش محصول در واحد آب مصرفی، وضعیت فرآوری محصولات پس از تولید، مشارکت کشاورزان در طراحی و درجه مسئولیت پذیری کشاورزان با وزنی برابر و معادل ۰/۶۰ درصد دارای کم‌ترین وزن است. در این میان دمای حداکثر با وزنی معادل ۴/۲۱ درصد بیش‌ترین تاثیرگذاری را دارد. موارد ذکر شده در خصوص نتایج زیرمعیارهای شبکه شهید رجایی، در مورد شبکه رامشیر هم صادق می‌باشد.

جدول ۵ نشان داد که در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان استفاده از زه‌آب، نوع سیستم آبیاری، وضعیت رویش گیاهان درون کانال، ارزش محصول، قیمت آب، قیمت محصول در واحد آب تحویلی، ارزش محصول در واحد آب مصرفی، وضعیت فرآوری محصولات پس از تولید، مشارکت کشاورزان در طراحی و درجه مسئولیت پذیری کشاورزان با وزنی برابر و معادل ۰/۵۲ درصد دارای کم‌ترین وزن است.

Table 4. The Weight of sub criteria in Ramshir irrigation and drainage network

جدول ۴- وزن زیرمعیارهای مورد بررسی در شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر

Criterion	Sub-criterion	Weight (%)	Criterion	Sub-criterion	Weight (%)
Climate	Evapotranspiration	4.21	Drainage	Status of drainage	2.83
	Wind speed	3.01		Depth and distance of drains	2.41
	Humidity	3.01		The use of drain water	0.60
	Maximum temperature	4.21	Irrigation	Water supply to plants	2.41
	Minimum temperature	1.80		Relative irrigation water supply	2.41
	Precipitation	1.80		Status of allocation of water	2.41
	Status of watery year	1.80		Water requirement of plant	2.22
Economic	The cost of planting and harvesting	1.80		Following the cropping pattern	3.01
	Product value	0.60		Water quality	1.80
	The price of water	0.60		Mechanization	1.80
	Product price per unit of delivered water	0.60		Water quantity	2.41
	Product price per unit of consuming water	0.60		Soil texture and structure	1.20
	Status of products Insurance	3.61		Status of water distribution in network	4.21
	Status of product guarantee bought	3.01		(Book utilization on the design consultant design)	2.83
	Status of production processed	0.60		Efficiency and system performance	1.80
Territorial	Status of equipment and modernization	1.92		Type of irrigation system	0.60
	Integration Status	2.53	Structural	The type and status of water management structures	3.31
	Area under cultivation	2.71		The type and condition of the gates	3.01
Sociocultural	Farmers participating in the design	0.60		The type and degree of canals	2.41
	Status of offenses in network	1.20		Status of canal covering	3.01
	The responsibility of farmers	0.60		Status of canals sedimentation	1.80
	Water user associations	3.01		Status of weeds in canals	1.80
	The trust in experts' advice	3.31		Status of water entering from the canal to the field	2.59

در این میان دمای حداکثر و درجه اعتماد به مشاوره کارشناسان با وزنی معادل ۴/۱۷ درصد بیش‌ترین تاثیرگذاری را دارد. شبکه هندیجان به دلیل جدیدالتأسیس بودن از کانال‌های جدید و با شرایط مناسب بهره-مند می‌باشد، در این شرایط مدیریت شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان تأکید بسیار بر تعمیر و نگهداری کانال‌های این شبکه داشت، این موضوع سبب شد تا رویش علف‌های هرز درون کانال‌ها به حداقل ممکن برسد. در این شبکه، بهره‌برداران اعتماد بالایی به نظرات کارشناسان این شبکه دارند و به گفته خود کارشناسان و بهره‌برداران تقریبا به پیشنهادهای آن‌ها عمل می‌نمایند.

به طورکلی تحلیل سلسله مراتبی شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی در معیار زهکشی نشان داد که عمق و فاصله زهکش‌ها و استفاده از زه‌آب در این بخش به‌ترتیب با وزنی معادل ۲/۸۲ و ۰/۵۶ درصد بیش-ترین و کم‌ترین اثر را میزان آب مجازی شبکه مذکور دارد. در معیار آبیاری نحوه توزیع آب در شبکه با ۳/۹۵ درصد وزنی و نوع سیستم آبیاری با ۰/۵۶ درصد وزنی حداکثر و حداقل تاثیرگذاری را نشان می‌دهند.

تحلیل حساسیت معیار سازه‌ای، وضعیت پوشش کانال‌ها و وضعیت رسوب‌گذاری آن‌ها را با اوزانی معادل ۳/۹۵ و ۱/۶۹ درصد به عنوان زیرمعیارهای حساس و بدون حساسیت نشان داد. در بخش عوامل اقلیمی دمای حداکثر با وزنی معادل ۴/۵۱ درصد حداکثر وزن را به‌خود اختصاص داد. وضعیت بیمه محصولات اقتصادی با وزن ۳/۳۹ درصد و ارزش محصول، قیمت آب، قیمت محصول در واحد آب تحویلی، ارزش محصول در واحد آب مصرفی و وضعیت فرآوری محصولات پس از تولید با وزنی برابر ۰/۵۶ درصد در معیار اقتصادی دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیرگذاری بر رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشند. سطح زیرکشت و وضعیت یکپارچه‌سازی اراضی (۳/۳۹ درصد) و وضعیت تجهیز و نوسازی (۱/۴۱ درصد) به عنوان زیرمعیارهای عوامل ارضی به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین اوزان را به‌خود اختصاص داده‌اند. دو زیرمعیار تشکل‌های آب‌بران و مشارکت کشاورزان در طراحی در قسمت عوامل فرهنگی- اجتماعی به ترتیب دارای اوزان ۳/۹۵ و ۰/۵۶ درصد می‌باشند.

هم‌چنین معیار زهکشی در شبکه آبیاری و زهکشی رامشیر نشان داد که وضعیت زهکش‌ها و استفاده از زه‌آب در این بخش به‌ترتیب با وزنی معادل ۲/۸۳ و ۰/۶۰ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین اثر را بر میزان آب مجازی شبکه مذکور دارد. در معیار آبیاری تبعیت از الگوی کشت در شبکه با ۳/۰۱ درصد وزنی و نوع سیستم آبیاری با ۰/۶۰ درصد وزنی حداکثر و حداقل تاثیرگذاری را نشان می‌دهند.

Table 5. The Weight of sub criteria in Hendijan irrigation and drainage network

جدول ۵- وزن زیرمعیارهای مورد بررسی در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان

Criterion	Sub-criterion	Weight (%)	Criterion	Sub-criterion	Weight (%)
Climate	Evapotranspiration	3.65	Drainage	Status of drainage	2.87
	Wind speed	2.61		Depth and distance of drains	2.87
	Humidity	1.56		The use of drain water	0.52
	Maximum temperature	4.17	Irrigation	Water supply to plants	2.45
	Minimum temperature	1.56		Relative irrigation water supply	2.34
	Precipitation	1.56		Status of allocation of water	2.50
	Status of watery year	1.56		Water requirement of plant	2.08
Economic	The cost of planting and harvesting	1.56		Following the cropping pattern	2.61
	Product value	0.52		Water quality	1.56
	The price of water	0.52		Mechanization	1.56
	Product price per unit of delivered water	0.52		Water quantity	2.08
	Product price per unit of consuming water	0.52		Soil texture and structure	1.04
	Status of products Insurance	3.13		Status of water distribution in network	3.65
	Status of product guarantee bought	2.61		utilization on the design consultant (Book design)	3.39
	Status of production processed	0.52		Efficiency and system performance	1.56
Territorial	Status of equipment and modernization	3.49		Type of irrigation system	0.52
	Integration Status	3.56	Structural	The type and status of water management structures	3.65
	Area under cultivation	3.39		The type and condition of the gates	3.13
Sociocultural	Farmers participating in the design	0.52		The type and degree of canals	3.65
	Status of offenses in network	1.04		Status of canal covering	3.65
	The responsibility of farmers	0.52		Status of canals sedimentation	2.08
	Water user associations	2.87		Status of weeds in canals	0.52
	The trust in experts' advice	4.17		Status of water entering from the canal to the field	3.49

تحلیل حساسیت معیار سازه‌ای، نوع و وضعیت سازه‌ها و وضعیت رسوب‌گذاری و وضعیت رویش گیاهان درون کانال آن‌ها را با اوزانی معادل ۳/۳۱ و ۱/۸۰ درصد به عنوان زیرمعیارهای حساس و بدون حساسیت نشان داد. در بخش عوامل اقلیمی دمای حداکثر و تبخیر و تعرق با وزنی معادل ۴/۲۱ درصد حداکثر وزن را به‌خود اختصاص داد. وضعیت بیمه محصولات اقتصادی با وزن ۳/۶۱ درصد و ارزش محصول، قیمت آب، قیمت محصول در واحد آب تحویلی، ارزش محصول در واحد آب مصرفی و وضعیت فرآوری محصولات پس از تولید با وزنی برابر ۰/۶۰ درصد در معیار اقتصادی دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیرگذاری بر رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشند. سطح زیرکشت (۲/۷۱ درصد) و وضعیت تجهیز و نوسازی (۱/۹۲ درصد) به‌عنوان زیرمعیارهای عوامل ارضی به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین اوزان را به‌خود اختصاص داده‌اند. دو زیرمعیار درجه اعتماد به مشاوره کارشناسان و درجه مسئولیت‌پذیری کشاورزان در طراحی در قسمت عوامل فرهنگی- اجتماعی به‌ترتیب دارای اوزان ۳/۳۱ و ۰/۶۰ درصد می‌باشند.

تحلیل سلسله مراتبی شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان در معیار زهکشی نشان داد که عمق و فاصله زهکش‌ها و استفاده از زه‌آب در این بخش به‌ترتیب با وزنی معادل ۲/۸۷ و ۰/۵۲ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین اثر را میزان آب مجازی شبکه مذکور دارد. در معیار آبیاری نحوه توزیع آب در شبکه با ۳/۶۵ درصد وزنی و نوع سیستم آبیاری با ۰/۵۲ درصد وزنی حداکثر و حداقل تاثیرگذاری را نشان می‌دهند. تحلیل حساسیت معیار سازه‌ای، وضعیت پوشش کانال‌ها و وضعیت رویش گیاهان درون کانال‌ها را با اوزانی معادل ۳/۶۵ و ۰/۵۲ درصد به‌عنوان زیرمعیارهای حساس و بدون حساسیت نشان داد. در بخش عوامل اقلیمی دمای حداکثر با وزنی معادل ۴/۱۷ درصد حداکثر وزن را به‌خود اختصاص داد. وضعیت بیمه محصولات کشاورزی با وزن ۳/۱۳ درصد و ارزش محصول، قیمت آب، قیمت محصول در واحد آب تحویلی، ارزش محصول در واحد آب مصرفی و وضعیت فرآوری محصولات پس از تولید با وزنی برابر ۰/۵۲ درصد در معیار اقتصادی دارای بیش‌ترین و کم‌ترین تاثیرگذاری بر رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشند. وضعیت یکپارچه‌سازی اراضی (۳/۶۵ درصد) و سطح زیر کشت (۳/۳۹ درصد) به‌عنوان زیرمعیارهای عوامل ارضی به‌ترتیب بیش‌ترین و

کم‌ترین اوزان را به‌خود اختصاص داده‌اند. دو زیرمعیار درجه اعتماد به مشاوره کارشناسان و مشارکت کشاورزان در طراحی در قسمت عوامل فرهنگی–اجتماعی به‌ترتیب دارای اوزان ۴/۱۷ و ۰/۵۲ درصد می‌باشند.

شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان مانند دو شبکه دیگر از زهکشی مناسبی برخوردار است اما در مقابل هیچ تمهیداتی برای استفاده مجدد از زه‌آب مشاهده نشد. از طرف دیگر به‌گفته مدیریت شبکه، کارشناسان و بهره‌برداران، توزیع آب در شبکه همیشه طبق برنامه اعلام شده و به میزان نیاز کشاورزان در طول سال انجام شده است، ولی به دلیل استفاده از سیستم آبیاری سطحی برای مزارع و راندمان پایین این سیستم، زیر معیار نوع سیستم آبیاری کم‌ترین تأثیر را در بهره‌وری آب در شبکه داشته است. این شبکه به دلیل جدیدالتأسیس بودن از کانال‌های جدید با پوشش مناسب بهره‌مند است. با توجه به مشاهدات انجام شده در شبکه هندیجان میزان رویش گیاهان و علف‌های هرز درون کانال بسیار کم و قابل اغماض بود و این شبکه از این نظر در مقابل دو شبکه دیگر از برتری قابل توجهی برخوردار بود. دمای حداکثری شبکه فوق‌الذکر باعث تأثیر بسیار بر تبخیر–تعرق گیاهان و تولید محصول شده‌است به‌گونه‌ای که میزان تولید محصولات این شبکه از متوسط کشور و حتی استان نیز پایین‌تر است. شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان با تقسیم‌بندی مناسب اراضی هم‌چنین جانمایی مناسب دارای شرایط مناسب از این نظر است. کارشناسان و بهره‌بردارن شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان از تعامل بسیار بالایی برخوردار هستند و بهره‌برداران این شبکه اعتماد زیادی به کارشناسان دارند، هرچند در این شبکه هم‌مانند دیگر شبکه‌های مورد بررسی نظر بهره‌برداران در طراحی و ساخت به کار گرفته نشده است.

به طورکلی در خصوص معیارهای مورد بررسی و حداکثر و حداقل اوزان آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

فاصله زهکش‌ها در منطقه حدود ۵۰ متر برآورد و اجرا شده و دارای عملکرد خوبی از نظر کارشناسان منطقه می‌باشد که می‌تواند نقطه قوت معیار زهکشی باشد. از طرف دیگر با برنامه‌ریزی دقیق متولیان آب شبکه‌های مورد مطالعه، توزیع مناسب و به موقع آب در این شبکه زیرمعیار نحوه توزیع اهمیت مناسبی را پیدا نموده است. پوشش کانال‌های شبکه آبیاری و زهکشی رجایی بتنی بوده و از سلامت مناسبی برخوردار می‌باشد ولی در عوامل اقلیمی به دلیل بالا بودن دمای بیشینه منطقه در بعضی موارد بیش از ۵۰ درجه سانتی‌گراد و تأثیر آن بر تولید محصول بیش‌ترین تأثیر را بر آب مجازی داشت. نقطه قوت عوامل اقتصادی بیمه محصولات بوده که از نظر بهره‌برداران و کارشناسان منطقه تأثیر به‌سزایی در تولید محصولات در منطقه بالاخص در تولید گندم داشته است. این شبکه دارای ۸۰۰ هکتار زمین زراعی است و یکپارچه‌سازی و قطعه‌بندی اراضی با متوسط هر قطعه ده هکتار توانسته کمک خوبی به کشاورزی سامان یافته در منطقه نماید. البته به مساحت قطعات انتقادهایی وارده بوده ولی سیاست اعمال شده مبتنی بر اشتغال‌زایی بیش‌تر بوده است.

شبکه آبیاری و زهکشی رجایی دارای تشکل آب‌بران منسجم‌تری نسبت به دو شبکه دیگر می‌باشد. در این شبکه هم‌مانند شبکه هندیجان هیچ تمهیداتی برای استفاده مجدد از زه‌آب تولیدی در نظر گرفته نشده است و نوع سیستم آبیاری غرقابی باعث شده تا این دو زیرمعیار کم‌ترین تاثیر را در معیارهای زهکشی و آبیاری داشته باشند. رسوب‌گذاری در کانال‌ها کم بود و کانال‌ها در شرایط مناسبی بودند و درنتیجه رسوب‌گذاری تأثیر کمی بر آب مجازی داشت اما در مقابل تجهیز و نوسازی شبکه مناسب نمی‌باشد و بنا بر اظهارات بهره‌برداران ممکن بود در آینده نه چندان دور شبکه با مشکلات عدیده‌ای در این زمینه روبرو شود. در هیچ یک از شبکه‌ها کشاورزان مشارکتی در طراحی شبکه نداشتند و به‌همین دلیل تأثیر آن بر آب مجازی منطقه کم‌ترین میزان را داشت. در مورد مسائل اقتصادی باید گفت که چون قیمت آب و محصولات بسیار کم و غیرواقعی هستند پس می‌تواند کم‌ترین تأثیر را در مصرف آب و تولید محصول و نهایتاً آب مجازی داشته باشد. به‌دلیل این‌که مدیریت و بهره‌برداری از شبکه‌ها همه توسط یک شرکت انجام می‌شود پس استدلال‌ها در مورد بیش‌تر و یا کم‌تر بودن تأثیر هر زیرمعیار مشابه و یکسان است.

پس از بررسی معیارها و زیر معیارهای هر شبکه به تفکیک اوزان نهایی شبکه با استفاده از نرم‌افزار به دست آمد. شکل ۴ نتیجه نهایی رتبه‌بندی شبکه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

براساس شکل ۴ شبکه هندیجان با وزنی معادل ۳۶ درصد در رتبه اول و پس از آن شبکه‌های شهید رجایی و رامشیر با اوزانی معادل ۳۳ و ۳۱ درصد قرار دارند.

پس از بررسی اوزان معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها شبکه‌های مورد مطالعه به لحاظ آب مجازی به دو روش سلسله مراتبی و محاسباتی مقایسه شدند. نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. جدول ۶ رتبه‌بندی شبکه‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول رتبه‌ی شبکه‌ها در سه حالت ایده‌آل، نرمال و خام ارائه شده است. مقادیر خام از ماتریس کران‌دار، مقادیر نرمال از نرمال‌کردن مقادیر اولیه و مقادیر ایده‌آل از تقسیم مقادیر اولیه با بزرگ‌ترین مقدار از بین آن‌ها به‌دست می‌آید یعنی تقسیم هریک از مقادیر بر مجموع.

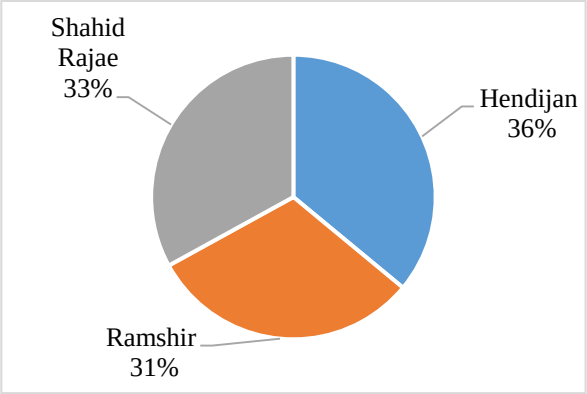


Fig. 4 . The weight of studied options

شکل ۴- وزن گزینه‌های مورد بررسی

در واقع نسبت مقادیر خام به مقدار بزرگ‌تر نسبت ایده‌آل را می‌دهد. با توجه به مقادیر فوق مشاهده می‌شود که شبکه هندیجان در رتبه اول و شبکه‌های شهید رجایی و رامشیر به‌ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند. این در حالی است که نتایج حاصل از محاسبه آب مجازی اندکی با نتایج تحلیل سلسله مراتبی متفاوت می‌باشد. هم چنین در روش تحلیل سلسله مراتبی ناسازگاری ماتریس‌های مقایسات زوجی کلیه معیارها کم‌تر از ۰/۱ بوده که نشان دهنده سازگار بودن تصمیم‌گیری‌ها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد.

نتایج حاصل از تحلیل سلسله مراتبی و محاسبات آب مجازی تقریبا یکسان شد تفاوت موجود به اختلاف در نگرش این دو روش ارتباط دارد. نگرش روش محاسباتی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی، گیاهی و راندمان سیستم آبیاری است و در این میان شرایط اقلیمی بیش‌ترین تأثیر را بر آب مجازی دارد. در شرایطی که بارندگی در یک منطقه بیش‌تر باشد و باران مؤثر در آن شبکه بیش‌تر شود، طبیعتاً نیاز آبیاری کم‌تر شده و نتیجتاً بهره‌وری افزایش می‌یابد. اما در روش تحلیل سلسله مراتبی نگرش مدیریتی است، بدین معنی که این روش آب مجازی را محاسبه نمی‌کند بلکه عوامل مؤثر بر آب مجازی و بهروری را مورد بررسی و تحلیل قرار می‌دهد. در این شرایط شبکه هندیجان توانست رتبه اول را در بین شبکه‌های دیگر به دست آورد. یعنی شبکه هندیجان با در نظر گرفتن شرایط و معیارهای یاد شده کم‌ترین حساسیت را در برابر عوامل منفی و بیش‌ترین حساسیت را در برابر عوامل مثبت از خود نشان داده و به این ترتیب بهره‌وری مناسب‌تری نسبت به دو شبکه دیگر نشان داده است.

سرانجام شبکه‌های مورد مطالعه به لحاظ شاخص بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب که با استفاده از میزان آب مجازی محاسبه شده مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند. در صورتی که میزان بهره‌وری آب کم‌تر از ۰/۱ باشد شرایط شبکه خیلی نامطلوب، اگر ۰/۱≤WP<۰/۱۵ شبکه نامطلوب، شبکه نیمه مطلوب است اگر ۰/۱۵≤WP<۰/۲ و سرانجام اگر میزان بهره‌وری آب بیش‌تر و مساوی از ۰/۲ به‌دست آید، شبکه مطلوب می‌باشد. نتایج این قسمت در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج نشان دادند براساس میزان بهره‌وری آب، شبکه‌های مورد مطالعه در شرایط نامطلوب قرار دارند. براساس بازدیدهای انجام شده جهت تکمیل پرسش‌نامه‌های طرح حاضر و اظهارات کشاورزان و کارشناسان می‌توان به‌مواردی چون عدم استفاده مجدد از زه‌آب شبکه‌های فوق-الذکر، کیفیت پایین و شور بودن آب آبیاری، نبود سیستم‌های مکانیزاسیون، بافت سنگین و شوری خاک، راندمان پایین سیستم‌های آبیاری سطحی، وجود رسوب بسیار در کانال‌های شبکه‌های آبیاری و زهکشی شهید رجایی و رامشیر، رویش گیاهان و علف‌های هرز در درون این کانال‌ها، تبخیرتعرق و رطوبت بسیار زیاد ناشی از متوسط دمای بالای منطقه به‌خصوص دمای حداکثری بالا، قیمت بسیار کم آب و محصول تولیدی، عدم وجود شرکت‌های صنایع غذایی مناسب در منطقه برای فرآوری محصول، کم بودن سطح مالکیت زمین زراعی و مدیریت سنتی کشاورزی، برخی مسائل اجتماعی و وجود تخلفات در شبکه‌ها اشاره نمود.

مقایسه تحقیق حاضر با پژوهش Montazar et al. (2009) نشان داد که در بررسی مذکور عواملی چون؛ مسائل فرهنگی، مقدار آب شبکه، پوشش کانال‌ها، نوع دریچه‌ها و سازه‌ها با اوزان یکسان بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داده‌اند.

Table 6. Comparison of studied irrigation and drainage networks using analytic hierarchy process and computing method

جدول ۶- مقایسه شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد مطالعه به روش سلسله مراتبی و محاسباتی

Actual virtual water		Analytic hierarchy process			
Network	Rank	Initial amounts	Normal amounts	Ideal amounts	Rank
Ramshir	3	0.10	0.29	0.76	3
Shahid Rajaee	2	0.11	0.33	0.86	2
Hendijan	1	0.13	0.38	1	1

Table 7. Evaluation the studied irrigation and drainage networks according to virtual water and water productivity

جدول ۷- ارزیابی شبکه‌های مورد مطالعه به لحاظ میزان آب مجازی و بهره‌وری آب

Crop / Irrigation network	Wheat	Barley	Sesame
The amount of virtual water (m^3/kg)			
Shahid Rajaee	7.81	8.03	9.84
Ramshir	7.15	8.25	10.25
Hendijan	9.38	7.50	-
The amount of water productivity (kg/m^3)			
Shahid Rajaee	0.14	0.12	0.10
Ramshir	0.14	0.12	0.10
Hendijan	0.11	0.13	-
Qualitative assessment of the operation of the studied network			
Shahid Rajaee	Undesirable	Undesirable	Undesirable
Ramshir	Undesirable	Undesirable	Undesirable
Hendijan	Undesirable	Undesirable	-

در رده دوم نحوه توزیع آب و در مرتبه سوم عواملی مانند؛ سال آبی، سطح زیر کشت، اقلیم، قیمت آب، نیاز آبی و تشکل‌های آب بران قرار دارند. تفاوت در نتایج به‌دست آمده بیان‌گر منطقه‌ای بودن اوزان عوامل می‌باشد. هم‌چنین در تحقیق Montazar et al. (2009) ارزیابی کیفی بهره‌برداری آب در سه شبکه واقع در استان خوزستان دز، گتوند و مارون به‌ترتیب مطلوب، نیمه‌مطلوب و نامطلوب را نشان داد.

هم‌چنین بین سه کشت گندم، جو و کنجد مقدار آب آبی و سبز گیاه کنجد از دو محصول دیگر بیش‌تر می‌باشد که بر اساس توصیه Omidi et al. (2014) می‌توان کم یا زیاد بودن آب مجازی محصولات مختلف را در مواقع کم آبی در برنامه‌ریزی‌های تخصیص آب لحاظ نمود.

۴- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر به منظور بررسی وضعیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان خوزستان به لحاظ آب مجازی سه شبکه‌ی آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان به دو روش محاسباتی و تحلیل سلسله مراتبی مورد مطالعه قرار گرفتند و نتایج زیر به‌دست آمد.

– نتایج نشان دادند که مقدار آب سبز محاسبه شده گیاه گندم در شبکه آبیاری و زهکشی هندیجان بیش‌ترین مقدار و پس از آن شبکه‌های رامشیر و شهید رجایی قرار دارند. در هر سه شبکه مقدار آب تحویلی به زارع که تحت عنوان آب آبی در نظر گرفته شده بیش‌تر از آب مورد نیاز گیاه می باشد. در شبکه آبیاری و زهکشی شهید رجایی، رامشیر و هندیجان به‌ترتیب ۳۱، ۲۳ و ۲۸ درصد بیش از مقدار مورد نیاز آب تحویل زارع شده است.

– در شبکه شهید رجایی عوامل ارضی و اقتصادی به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین اوزان را به خود اختصاص داده‌اند. تحلیل حساسیت شبکه رامشیر نشان داد که عوامل اقلیمی دارای بیش‌ترین وزن و عوامل اقتصادی دارای کم‌ترین وزن می‌باشند. هم‌چنین شبکه هندیجان مشابه شبکه شهید رجایی بوده با این تفاوت که درصد اوزان به‌دست آمده متفاوت است.

– در یک بررسی کلی می‌توان بیان نمود که بر اساس محاسبات انجام شده و تحلیل سلسله مراتبی رتبه‌بندی شبکه‌ها به ترتیب شبکه هندیجان، شهید رجایی و رامشیر می‌باشند.

– در روش تحلیل سلسله مراتبی ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی کلیه معیارها کم‌تر از ۰/۱ بوده که نشان دهنده سازگار بودن تصمیم‌گیری‌ها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد.

از آن‌جایی که هر تحقیق دارای محدودیت‌هایی می‌باشد، پژوهش حاضر نیز از این امر مستثنی نبوده لذا پیشنهاد می‌گردد برای تحقیقات آتی جهت محاسبه آب مجازی محصولات کشاورزی علاوه بر آب مورد نیاز گیاه برای رشد، آب تبخیر شده حین آبیاری، آب تبخیر شده حین مهار و انتقال آب به مزرعه، آب نفوذ کرده در زمین پس از آبیاری و از دسترس خارج شده، آب جاری شده در زمین و جمع شده در انتهای زمین پس از آبیاری، آب مصرف شده توسط علف‌های هرز، آب نشتی از کانال‌ها و لوله‌های آبیاری، آب لازم برای تولید کود مورد نیاز گیاه، آب مورد نیاز برای تولید سموم و علف‌کش‌های مورد نیاز گیاه آب مورد نیاز، برای نیروی کار و ماشین‌آلات مورد نیاز به‌منظور دست‌یابی به نتایج دقیق‌تر تا حد امکان در نظر گرفته شوند.

هم‌چنین با توجه به وزن‌های به‌دست آمده برای زیرمعیارهای مورد بررسی به‌منظور دست‌یابی به بهره‌وری مناسب آب و رسیدن به میزان منطقی آب مجازی توجه به نوع سیستم آبیاری، استفاده از زه‌آب به‌عنوان بخشی از آب آبیاری، قیمت واقعی آب و مشارکت کشاورزان مورد توجه قرار گیرد.

پی نوشت‌ها

1-Virtual Water
2- Hetao
3- Virtual Water Content
4- Crop Water Use
5- Crop Water Requirement

۵- مراجع

Allan JA (1998) Virtual water: a strategic resource global solutions to regional deficits. Ground Water 36(4):545-546

Anonymous (2009) The manual handbook of Zohreh and Jarrahi dam and power plant and irrigation and drainage networks company (In Persian)

Anonymous (2015a) Water prices of agricultural products of Ramshir irrigation and drainage network. Page 29 (In Persian)

Anonymous (2015b) Water prices of agricultural products of Omidieh irrigation and drainage network. Page 28(In Persian)

Baghestany AA, Mehrabi Boshrabadi H, Zare Mehrjerdi MR, Sherafatmand H (2010) Application of the concept of virtual water in water resource management of Iran. Iran-Water Resource Research 6(1):28-38 (In Persian)

Barghi Y, Ehsani M, Khaledi H (2008) Introduction to virtual water. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (In Persian)

Cosgrave WJ, Rijiberman FR (2000) World water vision. W. W. C. Publication, London

Dermody BJ, Van Beek RPH, Meeks E, Goldewijk KK, Scheidel W, Vander Velde Y, Bierkens MFP, Wassen MJ, Dekker SC (2014) A virtual water network of the Roman world. Hydrology and Earth System Sciences 18:5025-5040

Duarte R, Pinilla V, Serrano A (2016) Understanding agricultural virtual water flows in the world from an economic perspective: A long term study. Ecological Indicators 61(2):980–990

Ehsani M, Khaledi H, Barghi Y (2009) Introduction to virtual water. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID) (In Persian)

Falkenmark M (1995) Cropping with water scarcity under rapid population growth. Conference of SADC Ministers Pretoria, South Africa

Firouzi O, Najdi MH (2011) Improving irrigation and drainage management to enhance water productivity (Case study: South and east water shed basin plans of Iran). In: ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, 15-23 oct. International Commission on Irrigation and Drainage. Tehran. Iran

Fracasso A, Sartori M, Schiavo S (2015) Determinants of virtual water flows in the Mediterranean. Science of the Total Environment 543:1054-1062

Ghodsipour SH (2010) Analytical hierarchy process. Amirkabir University of Technology Press (In Persian)

Hoekstra AY (2003) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, the Netherlands

Liu J, Sun Sh, Wu P, Wang Y, Zhao X (2015) Inter-county virtual water flows of the Hetao irrigation district, China: A new perspective for water scarcity. Journal of Arid Environments 119:31-40

Mohammadian F, Alizadeh A, Neirizi S, Arabi A (2008) Development of sustainable cropping pattern based on virtual water trade. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 2(1):109-126 (In Persian)

Montazar A (2009) Assessing the global water productivity of some irrigation command areas in Iran. International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering 3(9): 450-454

Montazar A, Zadbagher E, Heydari N (2009) An assessment model for the virtual water of irrigation networks using analytical hierarchy process. Journal of Water and Soil 23(4):77-89 (In Persian)

Momeni R, Behbahani SMR, Nazarifar MH, Azadegan B (2011) Evaluation of increasing water productivity scenarios for rain-fed wheat by management analysis of CropSyst crop model in Karkheh basin. Journal of Water and Irrigation Management 1(1):29-40 (In Persian)

Mousavi SN, Akbari SM, Soltani GhR, Zare Mehrjerdi M (2010) Virtual water; a new strategy to deal with water crisis. In: The National Conference on Water Crisis Management. 7 Mar. Marvdasht Islamic Azad University, Marvdasht, Iran (In Persian)

Omidi F, Homaee M, Babazadeh H, Sorae Tabrizi M (2014) Assessing virtual water and water productivity in Takestan irrigation and drainage

Renault D (2002) Value of virtual water in food: Principles and Virtues, FAO

Saaty T (1980) The analytic hierarchy Process. McGraw. Hill

Zhang Y, Zhang J, Tang G, Chen M, Wang L (2016) Virtual water flows in the international trade of agricultural products of China. Science of the Total Environment 557:1–11

network. In: The First International Conference on Irrigation and Agricultural Water Productivity. 30 Jan., Ferdowsi University, Mashad, Iran (In Persian)

Parhizkar A, Ghafari Gilandeh A (2006) GIS and multicriteria decision analysis. Tehran: The Organization for Researching and Composing University textbooks in the Humanities (SAMT) (In Persian)

Razavi SS, Davary K (2014) The role of virtual water in water resource management. Journal of Water and Sustainable Development 1(1):9-18(In Persian)