

ارزیابی عملکرد زمانی و مکانی بهره‌برداری و مدیریت تحویل آب در شبکه آبیاری یامچی اردبیل

امین کانونی^{۱*} و آرمین عابدی^۲

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار؛ و کارشناس ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۱۵

چکیده

برای ارزیابی عملکرد بهره‌برداری از شبکه آبیاری یامچی، حجم آب تحویل داده شده به واحدهای زراعی در دوره بهره‌برداری سال‌های ۹۰-۹۱ تا ۹۴-۹۳ و تغییرات سطح زیرکشت محصولات مختلف تهیه شد و پس از برآورد نیاز آبی محصولات با استفاده از روش پنمن-مانتیت-فانو، شاخص‌هایی همچون تأمین نسبی منابع آب، تأمین نسبی آب آبیاری، نسبت حجم آب تحویلی و نسبت رطوبت قابل دسترس محاسبه شدند. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که شاخص تأمین نسبی آب آبیاری حدود ۰/۴ و ۰/۵ و شاخص تأمین نسبی منابع آب حدود ۰/۵ و ۰/۶ به ترتیب در دو سال آخر دوره بهره‌برداری بوده است که نشان می‌دهد حدود ۵۰ درصد کمتر از نیاز آبی محصولات، آب تحویل شبکه شده است. در طول دوره چهار ساله بهره‌برداری، سهم بارندگی در تأمین نیاز آبی محصولات در دو ماه اول (اردیبهشت و خرداد) بیشتر از دو ماه انتهایی (تیر و مرداد) آن بود. ارزیابی عملکرد زمانی و مکانی تحویل و توزیع آب در شبکه با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای و تفسیر آنها نشان می‌دهد که در سال‌های آخر بهره‌برداری، سطحی وسیع از اراضی دچار خشکی شدید بوده است و نیز اینکه سطح زمین‌های با تأمین کامل نیاز آبی کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی

سنجش از دور، شاخص‌های ارزیابی، شبکه آبیاری یامچی، عملکرد

مقدمه

هرچه میزان آب تحویل داده شده به بخش‌های مختلف شبکه به میزان نیاز واقعی آن بخش‌ها نزدیک‌تر و تطابق بیشتری با یکدیگر داشته باشد، تلفات آب کمتر و استفاده از واحد حجم آب، مطلوب‌تر خواهد شد. وجود مسائل متعدد در شبکه‌های آبیاری از جمله تنوع و تکرر سازه‌های هیدرولیکی، انواع سیستم‌های کنترل و روش‌های بهره‌برداری از آنها، و سیستم‌های متنوع تنظیم و توزیع آب باعث پیچیدگی رفتار هیدرولیکی جریان در آنها می‌شود و از این رو تفاوت قابل توجهی بین میزان آب تأمین یافته و مقدار آب مورد نیاز به وجود می‌آید. در خصوص ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری مطالعات زیادی وجود دارد که در اکثر آنها از شاخص‌های ارزیابی مختلفی

شبکه‌های آبیاری با گستره وسیع‌شان در دشت‌های مستعد، نقشی بسزا در افزایش بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی دارند و به همین دلیل بهره‌برداری صحیح از آنها از مهم‌ترین عوامل دستیابی به امنیت غذایی جمعیت رو به رشد کشور محسوب می‌شود. ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری اولین قدم برای شناسایی نقاط ضعف و قوت شبکه‌هاست. عملکرد هر شبکه آبیاری با توانایی آن در تحویل آب مورد تقاضا در زمان و مکان مناسب سنجیده می‌شود. اگر عملکرد تحویل و توزیع آب به نقاط مختلف شبکه بررسی شود می‌توان راهکارهایی مناسب برای بهبود آن پیشنهاد داد.

شبکه آبیاری مورد مطالعه رعایت نشده است. مقدار شاخص برای بعضی از کانال‌های فرعی بالا، برای تعدادی پایین و برای تعداد دیگر متوسط بوده است. می‌توان به کارهای مشابه سالوادور و همکاران (Salvador *et al.*, 2011) در استفاده از شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری نیز اشاره کرد. مورنو-پرز و رولدان-کاناس (Moreno-Perez & Roldan-Canas, 2013) مدیریت آبیاری را در شبکه آبیاری جنیل-کابرا^۳ در جنوب اسپانیا، با استفاده از شاخص‌های تأمین نسبی آب آبیاری، تأمین نسبی منابع آب، و تأمین نسبی بارندگی مطالعه کردند. نتایج این مطالعات حاکی از اعمال کم‌آبیاری در این شبکه بوده است. همچنین، مقادیر شاخص‌های ارزیابی عملکرد نشان داده است که بارندگی می‌تواند قسمتی از تبخیر و تعرق محصولات را پوشش دهد. نتایج ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری گزیرا^۴ در سودان توسط الزاید و همکاران (Al-Zayed *et al.*, 2015)، با استفاده از شاخص‌های RWS، RIS و RMA در ۱۵ سال متوالی نشان داده است که مقدار شاخص‌های RIS و RWS روندی افزایشی داشته است. مقادیر شاخص RMA نشان‌دهنده تأمین قابل قبولی از نیاز آبیاری از بارندگی بوده است. نام و همکاران (Nam *et al.*, 2016) عملکرد تأمین و تحویل آب به کانال درجه دو شبکه آبیاری دونژین^۵ در کره جنوبی در دو سال متوالی ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ را با شاخص‌هایی مانند کفایت، راندمان، پایداری و یکنواختی تحویل آب بررسی و نیز توزیع زمانی و مکانی آب تحویل داده شده به زمین‌های زیر پوشش کانال را ارزیابی کردند. ارزیابی نتایج در سال اول نشان داد که کانال مورد مطالعه از نظر شاخص‌های کفایت، راندمان و پایداری تحویل آب به ترتیب ضعیف، خوب و ضعیف بوده است. همچنین، کارایی مصرف آب محصولات نسبتاً بالاست ولی آب مورد نیاز شبکه به موقع

استفاده شده است. شاخص‌هایی که مدیریت، بهره‌برداری و نگهداری شبکه‌ها را بررسی می‌کنند به دلیل ارزیابی نحوه مدیریت و بهره‌برداری شبکه اهمیت دارند. شاخص تأمین نسبی منابع آب^۱ (RWS) که نسبت آب تأمین یافته به آب مورد نیاز را بیان می‌کند، یکی از شاخص‌های ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌هاست که لوین (Levine, 1982) آن را ارائه داده است؛ فرم‌های اصلاح شده آن بعداً با نام تأمین نسبی آب واقعی (RWSA) و تأمین نسبی آب تئوری (RWST) پیشنهاد شده است. لنتون (Lenton, 1984) از شاخص عملکرد تحویل آب (WDP) به‌عنوان روشی برای ارزیابی بهره‌وری مصرف آب در شبکه‌های آبیاری استفاده کرد. کلوزن و گارسز-رسترو (Kloezen & Garces-Restrepo, 1998) پس از بررسی جامع، فهرستی از شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری را در ارتباط با مسایل هیدرولوژیکی، زراعی، اقتصادی و زیست‌محیطی ارائه دادند. شاخص تأمین نسبی آب آبیاری^۲ (RIS) که مالانو و بورتون (Malano & Burton, 2001) برای تخمین عملکرد شبکه‌های آبیاری پیشنهاد داده‌اند، نسبت آب آبیاری تأمین یافته به آب مورد نیاز محصولات را نشان می‌دهد. بندارا (Bandara, 2003) از شاخص‌هایی مانند RWS و RIS برای ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری در سریلانکا استفاده کرد. دیندارلو و همکاران (Dindarlou *et al.*, 2011) با استفاده از شاخص هیدرومدول، میزان عدالت توزیع آب را در کانال درجه دو اردیبهشت سد درودزن ارزیابی کردند. شاخص هیدرومدول که به‌صورت نسبت میزان آب تحویلی به هر کانال فرعی به مساحت زیر پوشش آن کانال تعریف می‌شود، با اندازه‌گیری مقادیر آب تحویل داده شده به کانال‌های فرعی محاسبه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که به‌طور کلی عدالت در توزیع آب بین کانال‌های فرعی در

1- Relative Water Supply

3- Genil-Cabra

5- Dongjin

2- Relative Irrigation Supply

4- Gezira

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و تصویرهای ماهواره‌ای باعث استفادهٔ حداکثر از فرصت‌ها در تشخیص مناسب مشکلات موجود و پیرو آن اتخاذ تصمیم‌های درست برای غلبه بر آن مشکلات می‌شود. گلابی و همکاران (Golabi *et al.*, 2006) به کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و فناوری سنجش از دور در مدیریت آبیاری در سطح شبکه‌های آبیاری پرداختند و توانایی آن را در برآورد نیاز آبی و تخصیص مناسب آب نشان دادند. نوروزی‌اقدم و کرمی (Norouzi-Aghdam & Karami, 2010)، با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای و برآورد شاخص پوشش گیاهی NDVI و همچنین پایش رطوبت خاک، عملکرد شبکه‌های بزرگ آبیاری در استان خراسان را برای افزایش بهره‌وری آب ارزیابی کردند. با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس (MODIS) نقشهٔ پوشش گیاهی به‌دست آمد، پس از آن نقشهٔ رطوبتی خاک با استفاده از شاخص NDVI تهیه و با توجه به برنامهٔ آبیاری الگوی کشت متداول، عملکرد شبکه در برنامه‌ریزی آبیاری ارزیابی شد. تلفات انتقال آب و ارزیابی عملکرد ساحل چپ شبکه آبیاری ساتانور^۱ و یکی از کانال‌های توزیع آن را آران کومار و آمبوجام (Arunkumar & Ambujam, 2012) برآورد کردند. این محققان از روش ورودی-خروجی برای تعیین تلفات انتقال آب و از شاخص‌های مختلف برای ارزیابی عملکرد شبکه استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تلفات انتقال آب در ابتدای شبکه بیشتر است تا در بخش‌های میانی و انتهایی آن، و نیز اینکه آب زیادی در کانال توزیع شده است. موروگانانام و کریشانونی (Muruganatham & Krishnaveni, 2015) در برنج‌زاری در هندوستان با بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور به ارزیابی عملکرد تحویل آب در شبکهٔ آبیاری ونگال^۲ پرداختند. با کلاس‌بندی شاخص NDVI برای سال‌های ۲۰۰۲، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱ نشان دادند که میزان مساحت با پوشش بالای برنج در سال ۲۰۰۲ برابر ۲۸

تأمین نشده است. در ضمن، شاخص‌های کفایت و پایداری تحویل آب در سال دوم مطالعه بهبود داشته است. با توجه به پیشرفت‌های ایجاد شده در استفاده از فناوری سنجش از دور (RS) و در دسترس بودن تصویرهای مناسب ماهواره‌ای، استفاده از قابلیت‌های آن می‌تواند در شناسایی نقاط ضعف و قوت شبکه‌ها مفید باشد. در استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای در ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری مطالعات زیاد است. کوفان (Koghan, 1995) برای ارزیابی خشکی در زمین‌های کشاورزی با استفاده از شاخص NDVI حداکثر و حداقل برای هر پیکسل از تصویر، شاخص پوشش گیاهی (VCI) را توسعه داد. با این همه، ارزیابی زمانی آن شاخص در زمین‌های آبیاری شده ممکن است موجود بودن آب یا نواحی خشک را به خوبی منعکس نکند، زیرا هر محصول و هر پیکسل دارای رفتار طیفی متفاوت و شاخص NDVI مشخصی است. برای تصحیح این موضوع، شاخص اصلاح شدهٔ MVCI ارائه گردید (Wardlow & Egbert, 2008; Foerster *et al.*, 2012). آمان (Aman, 2003) از تصویر ماهواره MODIS برای ارزیابی و مقایسهٔ عملکرد سیستم‌های آبیاری مختلف در منطقهٔ آلتجو^۱ در پرتغال استفاده کرد. تبخیر و تعرق واقعی و عملکرد محصولات با استفاده از هفت تصویر محاسبه شد که منطقه را پوشش می‌دادند. از الگوریتم بیلان انرژی سطحی (SEBAL) و روش پنمن-مانتیث-فانو برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق واقعی و پتانسیل استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که بین آب مورد تقاضا و آب تأمین یافته تفاوت معنی‌داری وجود دارد. السید (El-Sayed, 2006) با کاربرد فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مدیریت شبکهٔ آبیاری الزومور^۲ مصر، به‌منظور غلبه بر مشکلات هیدرولیکی، افزایش ظرفیت انتقال کانال اصلی و افزایش کارایی مصرف آب شبکه به تحقیق پرداخت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که مدیریت شبکه‌های آبیاری بر پایهٔ

1- Alentejo
3- Sathanur

2- EL-Zomor
4- Vengal

مدیریت منابع آب منطقه کمک شایانی خواهد کرد که این موضوع در شرایط محدودیت منابع آب کنونی کشور با اهمیت است. در شبکه آبیاری مورد مطالعه در این پژوهش، نارضایتی مصرف‌کنندگان از نحوه تحویل و توزیع آب مشاهده شده است، از این رو هدف اصلی این تحقیق ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری مورد مطالعه در توزیع و تحویل آب به زمین‌های کشاورزی تحت پوشش شبکه در دوره بهره‌برداری است. برای دسترسی به هدف فوق، تحویل آب به قسمت‌های مختلف شبکه در دوران بهره‌برداری بررسی و با نیاز آبی محصولات و مقدار مجاز طراحی بر اساس الگوی کشت پیشنهادی طرح مقایسه می‌گردد. توزیع آب در نقاط مختلف شبکه با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای بررسی و نحوه توزیع آب در نقاط مختلف مشخص شده است.

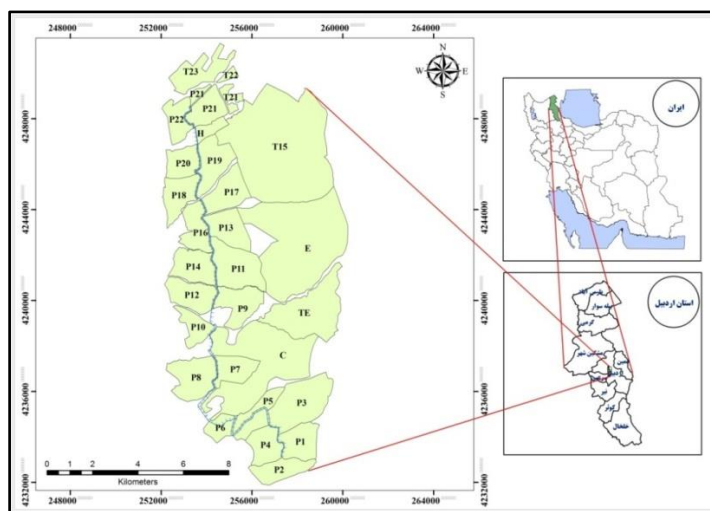
مواد و روش‌ها

شبکه آبیاری یامچی در غرب و شمال شهر اردبیل بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی واقع شده است. زمین‌های طرح در سه واحد عمرانی به نام‌های واحد عمرانی غرب بالخلی‌چای، واحد عمرانی شمال قره‌سو و واحد عمرانی علی‌بلاغی گسترش یافته است. کل زمین‌های تحت پوشش طرح ۱۲۹۵۱ هکتار است که ۶۵۶۸ هکتار آن در واحد عمرانی اول واقع شده است. آب مورد نیاز شبکه، از طریق سد مخزنی یامچی به حجم مفید ۸۰ میلیون متر مکعب تأمین می‌شود که در فاصله ۲۵ کیلومتری شهر اردبیل روی رودخانه بالخلی‌چای احداث شده است. متناسب با نیاز آبی زمین‌های کشاورزی، آب از مخزن سد رها می‌شود و در پایین‌دست در محل بند انحرافی الماس، بازگیری و با یک خط انتقال به طول ۷۱۰۰ متر و ظرفیت ۱۱ متر مکعب در ثانیه به حوالی

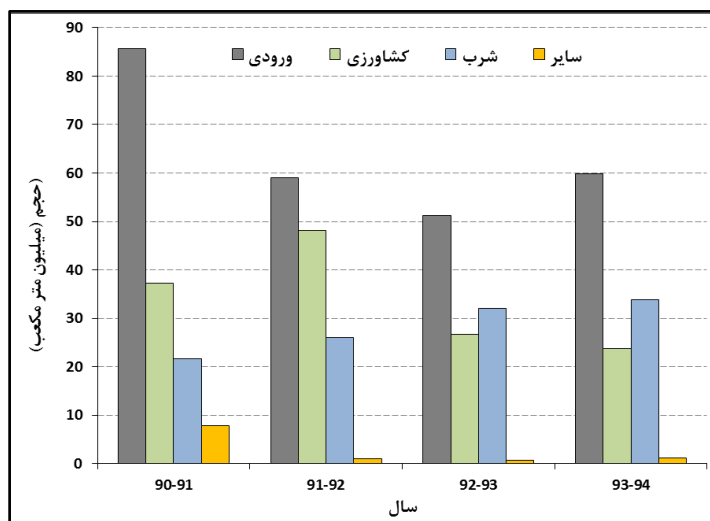
درصد بوده و تا ۳۱ درصد در سال ۲۰۱۱ افزایش یافته است که دلیل آن افزایش بارندگی سالانه از ۱۰۳۲ به ۱۴۹۹/۶ میلی‌متر بوده است. الزاید و همکاران (Al-Zayed et al., 2015)، عملکرد زمانی و مکانی شبکه آبیاری گزیرا در سودان را با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای بررسی کردند. اطلاعات مورد نیاز برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ تهیه و شاخص‌های مختلف ارزیابی عملکرد محاسبه شد. نتایج تحقیقات نشان داد که در شبکه آبیاری مورد مطالعه، نسبت به شبکه‌های دیگر در سطح دنیا، کارایی مصرف آب محصولات کمتر است. همچنین در قسمت شمالی شبکه، کم‌آبیاری بیشتری در محصولات تابستانی وجود داشته است. به‌طور کلی، بهره‌وری پایین آب در شبکه آبیاری به دلیل توزیع ضعیف آب و مدیریت نامناسب آبیاری بوده است. خوشنواز و همکاران (Khoshnavaz et al., 2015)، با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی سطح (SEBAL)، تبخیر و تعرق واقعی محصولات مختلف کشت شده در شبکه آبیاری قزوین را برآورد و با توجه به مقدار ماده خشک تولیدی، بهره‌وری آب را محاسبه کردند و مقادیر آن را برای کل دشت ارائه دادند. برای ارزیابی عملکرد طرح آبیاری بادقی در نیجریه، جیبریل و همکاران (Jibril et al., 2017) با استفاده از شاخص‌های ارزیابی راندمان به بررسی‌هایی پرداختند و نشان دادند که راندمان کل و راندمان اقتصادی طرح آبیاری به ترتیب برابر ۲۶ و ۴۰ درصد است. سازمان‌دهی شکل‌های آب‌بران برای آگاه‌ساختن کشاورزان در استفاده مناسب از منابع آب و خاک، به‌عنوان راهکاری برای بهبود عملکرد طرح آبیاری پیشنهاد گردید. مطالعات نشان می‌دهد که با بررسی عملکرد بهره‌برداری شبکه‌های آبیاری در دوره بهره‌برداری می‌توان به ضعف عملکرد آنها پی برد و راهکارهای لازم را برای بهبود آنها در پیش گرفت. هر اقدامی که به بهبود عملکرد شبکه و به تبع آن به افزایش راندمان آبیاری بینجامد در

الگوی کشت طرح، شامل محصولاتی مانند سیب‌زمینی، غلات (گندم و جو)، لوبیا، یونجه و آفتابگردان به ترتیب با ۳۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ و ۱۰ درصد مساحت تحت پوشش شبکه بوده است و تخصیص آب از مخزن سد یامچی بر اساس همین الگوی کشت و آب ذخیره شده در آن برنامه‌ریزی می‌شود. شکل ۲ حجم آب ورودی به مخزن سد و آب تخصیص یافته به بخش‌های مختلف در دوره بهره‌برداری را نشان می‌دهد که در آن حجم آب تخصیصی به بخش کشاورزی شامل زمین‌های شبکه آبیاری یامچی و زمین‌های حقا به‌دار است.

روستای شام‌اسبی در حومه اردبیل منتقل می‌شود. در این محل، سیستم به دو شاخه تقسیم می‌شود که یک شاخه آن با ظرفیت ۴ متر مکعب در ثانیه به دریاچه شورابیل منتهی می‌شود و شاخه دیگر آن با ظرفیت ۹/۴ متر مکعب در ثانیه، آب را به ابتدای واحد عمرانی غرب بالخلی‌چای می‌رساند. با توجه به اولویت تخصیص آب از سد مخزنی برای مصارف شهری در اردبیل، از شبکه آبیاری تنها در واحد عمرانی اول بهره‌برداری می‌شود. شکل ۱ موقعیت شبکه آبیاری یامچی (واحد عمرانی اول) و قطعات زراعی تفکیک شده در آن بر اساس آبگیرها را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت عمومی شبکه آبیاری یامچی



شکل ۲- آب ورودی و تخصیص یافته به مصارف مختلف در دوره بهره‌برداری

$$RWS = \frac{Pe+Ir}{ETc} \quad (1)$$

شاخص تأمین نسبی آب آبیاری (RIS): نسبت آب آبیاری تأمین یافته به آب مورد تقاضای آبیاری است که از رابطه ۲ محاسبه می شود.

$$RIS = \frac{Ir}{ETc-Pe} \quad (2)$$

شاخص رطوبت قابل دسترس^۱ (MAI): نسبت بارش قابل اعتماد به تبخیر و تعرق پتانسیل محصول است و با رابطه ۳ بیان می‌شود.

$$MAI = \frac{DP}{ETc} \quad (3)$$

نسبت رطوبت قابل دسترس (RMA): نسبت بارش موثر به تبخیر و تعرق پتانسیل محصول است و با رابطه ۴ بیان می‌شود.

$$RMA = \frac{Pe}{ETc} \quad (4)$$

شاخص نسبت حجم آب تحویلی^۲ (WDI): نسبت حجم آب تحویل داده شده در هر هکتار به حجم آب مجاز طراحی است.

که در آنها،

ETc = تبخیر و تعرق پتانسیل محصول؛ Ir = مقدار آب تحویل داده شده (آب آبیاری)؛ Pe = بارش موثر؛ و DP = بارش قابل اعتماد (بارش با ۷۵ درصد احتمال وقوع) که همه با میلی متر بیان می‌شوند.

برای بررسی اثر مدیریت آبیاری در نقاط مختلف شبکه، از شاخص‌های اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده ($NDVI$) و پوشش گیاهی اصلاح شده ($MVCI$) استفاده شد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و با توجه به

اطلاعات مورد نیاز اجرای طرح از جمله داده‌های هواشناسی (دمای حداقل و حداکثر، بارندگی، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی) از ایستگاه سینوپتیک اردبیل برای دوره آماری ۱۳۵۵ تا ۱۳۹۳ گرفته شد. آمار و اطلاعات شبکه کانال‌های انتقال و توزیع و خصوصیات فنی سازه‌ها و نیز حجم آب تحویلی به شبکه در دوران بهره‌برداری و تقویم و سطوح زیر کشت محصولات مختلف شبکه در دوره بهره‌برداری نیز از شرکت آب منطقه‌ای اردبیل و مدیریت بهره‌برداری شبکه دریافت شد. با توجه به اینکه بهره‌برداری از شبکه در هر سال از دهه اول اردیبهشت ماه شروع و تا نیمه دوم مرداد ماه به طول می‌انجامد (آب در شبکه بر اساس نیاز آبیاری محصولات در این بازه زمانی توزیع و تحویل می‌شود) و با توجه به نیاز تحقیق، تصویرهایی مناسب از ماهواره Landsat7 ETM+ طی دوره بهره‌برداری از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ تهیه شد. تلاش شد که تصویرها متناسب با دوره تحویل آب در شبکه و متناسب با تقویم زراعی محصولات باشند. بنابراین، برای هر سال یک تصویر مربوط به دهه آخر خردادماه (ژوئن) انتخاب شد و پس از آماده‌سازی (پیش‌پردازش، بارزسازی، طبقه‌بندی و پردازش نهایی)، تصویرها آماده استفاده گردید. با توجه به آمار و اطلاعات هواشناسی، تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش پنمن-مانتیث-فائو و نرم‌افزار CROPWAT 8.0 برآورد و پس از آن تبخیر و تعرق محصولات مختلف با اعمال ضرایب گیاهی محاسبه شد. با برآورد مقادیر بارش موثر، بارش قابل اعتماد، و حجم آب تحویل داده شده به شبکه در سال‌های مختلف، شاخص‌های ارزیابی عملکرد شبکه محاسبه و تجزیه و تحلیل شد. این شاخص‌ها در ادامه تشریح می‌شوند:

شاخص تأمین نسبی آب (RWS): نسبت کل آب تأمین یافته از آبیاری و بارندگی به نیاز آبی است که از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$NDVI_i$ = مقدار شاخص $NDVI$ در پیکسل مورد نظر؛ و $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ = به ترتیب مقدار حداقل و حداکثر شاخص $NDVI$ در کل تصویر.

نتایج و بحث

الگوی کشت پیشنهادی در طرح اولیه شبکه آبیاری یامچی به محصولات عمده سیب‌زمینی، غلات (گندم و جو)، لوبیا، یونجه، و آفتابگردان (به ترتیب با ۳۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰، و ۱۰ درصد مساحت زیر پوشش شبکه) اختصاص یافته است. الگوی کشت اتفاق افتاده در طول دوره بهره‌برداری در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است سیب‌زمینی بیشترین سطح زیر کشت را در اکثر سال‌ها داشته است و از درصد طراحی نیز بیشتر بوده است. گندم و جو مجموعاً سطح زیر کشت بالاتری پس از سیب‌زمینی داشته و محصولات دیگر سهم کمتری در الگوی کشت منطقه داشته‌اند. بررسی‌های میدانی و گزارش‌های بهره‌برداری از شبکه نشان می‌دهد که آب بر اساس الگوی کشت پیشنهادی طرح اولیه تحویل می‌شود و از این رو تبعیت نکردن کشاورزان از الگوی کشت پیشنهادی، باعث تحویل آب کمتر به آنها می‌شود، زیرا آب بر اساس نیاز آبی الگوی کشت طرح تحویل می‌شود.

مقادیر داده‌های باندهای مختلف برای هر پیکسل از تصویرها (روابط ۵ و ۶) قابل محاسبه است.

شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده ($NDVI$): این شاخص برای ارزیابی اثر خشکی در زمین‌های کشاورزی و به‌منظور درک پاسخ محصولات به موجودی آب به‌کار می‌رود (Koghan, 1995; Wan *et al.*, 2004). رابطه ۵ نحوه تعیین این شاخص را نشان می‌دهد.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (5)$$

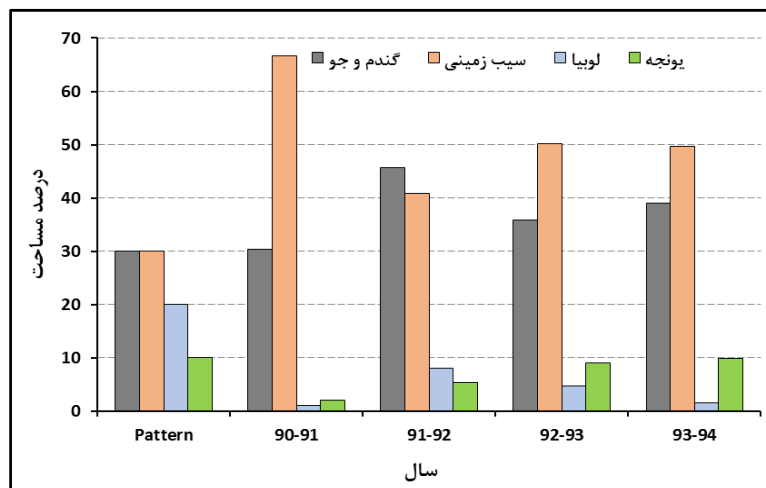
که در آن،

NIR = مقدار باند قرمز نزدیک هر پیکسل؛ و Red = مقدار باند قرمز همان پیکسل.

شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده ($MVCI$): برای ارزیابی خشکی در زمین‌های کشاورزی با استفاده از شاخص $NDVI$ حداکثر و حداقل برای هر پیکسل از تصویرها، از شاخص اصلاح شده پوشش گیاهی به‌صورت رابطه ۶ استفاده می‌شود.

$$MVCI = \frac{(NDVI_i - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \times 100 \quad (6)$$

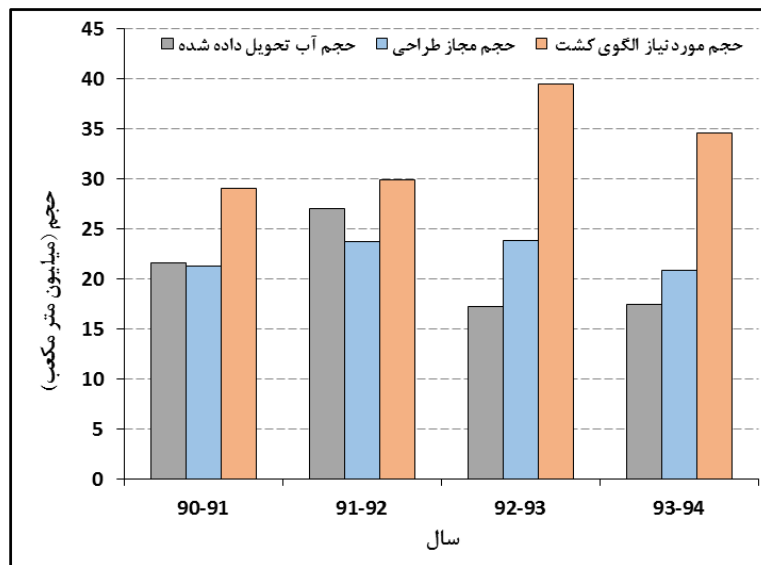
که در آن،



شکل ۳- مساحت زیر کشت محصولات مختلف در دوره بهره‌برداری

نسبت به نیاز آبی محصولات دیگر، بیشتر است. از طرف دیگر، حجم آب تحویل داده شده واقعی در دو سال انتهایی دوره کمتر از حتی میزان مجاز طراحی بوده است که دلیل آن پایین بودن حجم ذخیره مخزن و اولویت دادن به تأمین آب شرب شهر اردبیل بوده است. با توجه به شکل ۴ می‌توان گفت که در سال اول و دوم به ترتیب ۱/۴ و ۱۲/۵ درصد، نسبت به مقدار مجاز، آب بیشتر و در سال سوم و چهارم به ترتیب ۳۸/۳ و ۱۹/۶ درصد آب کمتری تحویل داده شده است.

با توجه به مساحت کشت شده هر یک از محصولات در سال‌های مختلف، حجم آب مورد نیاز الگوی کشت پیشنهادی و الگوی کشت اتفاق افتاده محاسبه و با حجم آب تحویل داده شده به آنها مقایسه شد. شکل ۴ نشان می‌دهد که در همه سال‌ها حجم آب مورد نیاز الگوی کشت بیشتر از حجم آب مجاز طراحی (بر اساس الگوی کشت پیشنهادی) و حجم آب تحویل داده شده واقعی است. این موضوع به درصد بالای سطح زیر کشت سیبزمینی مربوط می‌شود، زیرا نیاز آبی سیبزمینی،



شکل ۴- حجم آب مجاز طراحی و تحویل داده شده بر اساس الگوی کشت پیشنهادی و واقعی

باشند ضعف عملکرد شبکه را در تحویل آب کافی نشان می‌دهند. با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه اقلیم سرد و خشک دارد بنابراین سهم بارندگی در تأمین نیاز آبی گیاهان ناچیز خواهد بود. این موضوع در فصل بهره‌برداری از شبکه (نیمه دوم اردیبهشت تا اوایل شهریور) اهمیت زیادی دارد. از این رو شاخص RIS نسبت به شاخص RWS بیان بهتری از عملکرد شبکه می‌تواند باشد. مقادیر پایین این شاخص، به جز در سال دوم دوره مورد مطالعه (سال ۹۱-۹۲)، نشان‌دهنده عملکرد ضعیف شبکه است. در دوره چهار ساله، شاخص‌های ارزیابی فوق‌الذکر کمتر از

با معلوم بودن مساحت زیر کشت هر یک از محصولات، مقدار تبخیر و تعرق محصولات، بارش موثر، حجم آب تحویل داده شده به شبکه در سال‌های مختلف، و حجم مجاز قابل تحویل بر اساس طرح اولیه، در سال‌های ۹۰-۹۱ تا ۹۴-۹۳ مقدار شاخص‌های تأمین نسبی آب (RWS)، تأمین نسبی آب آبیاری (RIS) و نسبت حجم آب تحویلی (WDI) محاسبه و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

دو شاخص RWS و RIS که عملکرد شبکه را در تأمین نیاز واقعی شبکه نشان می‌دهند، هرگاه از یک کمتر

موجود بودن آب ذخیره شده در مخزن، آب را تخصیص می‌دهد.

شاخص نسبت حجم آب تحویلی (WDI) بیان‌کننده تناسب حجم آب تحویل داده شده و حجم مجاز طراحی است. جدول ۱ نشان می‌دهد که در دو سال اول مقدار آب تحویلی بیشتر از نیاز طراحی بوده ولی در دو سال آخر آب کمتری به زمین‌های شبکه تحویل داده شده است. دلیل این امر تخصیص کمتر آب برای شرب در سال‌های اولیه بهره‌برداری و در نتیجه تحویل حجم آب بیشتری به بخش کشاورزی بوده است. در دو سال آخر، تخصیص آب به مصارف شرب بالا رفته و حجم آب کمتری برای بخش کشاورزی باقی مانده است.

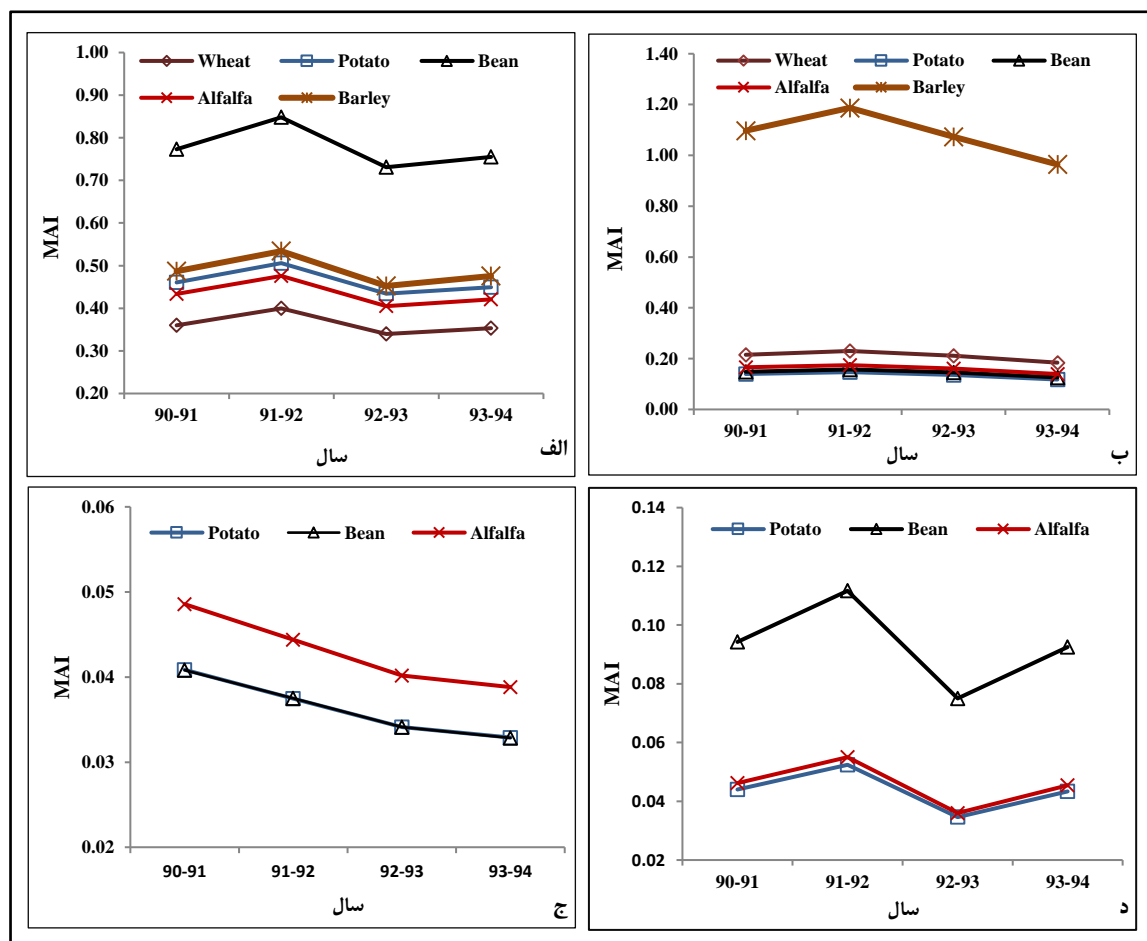
یک بوده که نشان می‌دهد آب کمتری به شبکه تحویل داده شده است. در دو سال آخر شاخص‌ها به پایین‌ترین مقدار خود یعنی حدود ۰/۴ و ۰/۵ برای RIS و حدود ۰/۵ و ۰/۶ برای RWS رسیده است که گویای کاهش آب تحویل داده شده به حدود ۵۰ درصد مقداری است که باید تحویل داده می‌شد. می‌توان گفت که در شبکه آبیاری مورد مطالعه دو دلیل عمده باعث پایین بودن این شاخص‌هاست: رعایت نشدن الگوی کشت پیشنهادی و توزیع آب بر اساس روش کنترل از بالادست. گفتنی است که مدیریت آبیاری شبکه بدون توجه به نوع و سطح زیر کشت محصولات شبکه و تنها بر اساس الگوی کشت پیشنهادی شبکه و

جدول ۱- شاخص‌های تأمین نسبی آب، تأمین نسبی آب آبیاری و نسبت حجم آب تحویلی

سال	حجم مورد نیاز (MCM)	باران موثر (MCM)	حجم تحویلی (MCM)	حجم مجاز (MCM)	شاخص RWS	شاخص RIS	شاخص WDI
۹۱-۹۰	۳۸/۶۱۲	۹/۶۱۱	۲۱/۵۳۱	۲۱/۲۳۴	۰/۸۱	۰/۷۴	۱/۰۱
۹۲-۹۱	۴۰/۴۴۰	۱۰/۵۵۹	۲۷/۰۳۰	۲۳/۶۵۲	۰/۹۳	۰/۹	۱/۱۴
۹۳-۹۲	۴۶/۹۰۹	۷/۴۵۷	۱۷/۲۳۶	۲۳/۸۴۰	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۷۲
۹۴-۹۳	۴۲/۰۹۱	۷/۵۵۸	۱۷/۳۹۶	۲۰/۸۰۸	۰/۵۹	۰/۵	۰/۸۴

مقدار بیشتری از نیاز خود را از بارندگی‌ها تأمین می‌کند ولی برای محصولات دیگر درصد کمتری از نیاز آبی از بارندگی تأمین می‌شود. ماه‌های تیر و مرداد شرایط به مراتب بدتر است یعنی مقدار تأمین نیاز آبی گیاه از بارندگی خیلی کمتر است. بررسی تأمین نیاز آبی گیاهان از بارندگی در دوره چهار ساله بهره‌برداری نشان می‌دهد که در سال دوم بهره‌برداری، در مقایسه با سال‌های دیگر، سهم بارندگی در تأمین نیاز آبی گیاهان بیشتر بوده است.

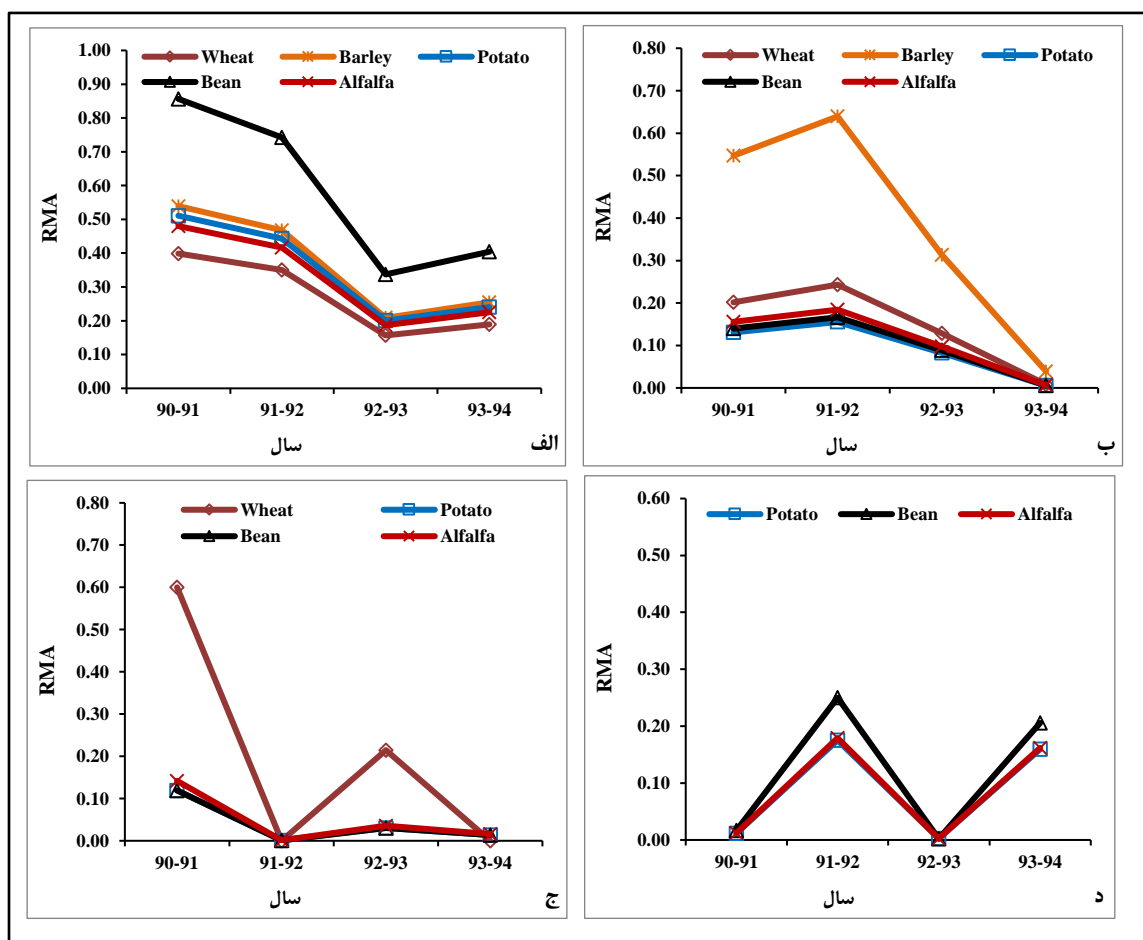
با محاسبه بارش قابل اعتماد و مقدار تبخیر و تعرق محصولات مختلف، شاخص تأمین آب آبیاری از طریق بارندگی (MAI) برای چهار ماه مختلف بهره‌برداری شبکه، محاسبه و نتایج در شکل ۵ ارائه شده است. در هر چهار ماه مقدار شاخص MAI کمتر از یک است که نشان‌دهنده تأمین کمتر رطوبت خاک از بارندگی است. در خردادماه شرایط برای محصول جو متفاوت است و نیاز آبی این گیاه از طریق بارندگی تأمین می‌شود. در ماه اردیبهشت لوبیا



شکل ۵- مقادیر شاخص MAI برای محصولات مختلف در دوره بهره‌برداری اردیبهشت، (ب) خرداد، (ج) تیر و (د) مرداد

از دو ماه دیگر است. متوسط مقدار این شاخص در اردیبهشت‌ماه برای گندم، جو، سیب‌زمینی، لوبیا و یونجه به ترتیب برابر ۰/۲۷، ۰/۳۷، ۰/۳۵، ۰/۵۹ و ۰/۳۳ به دست آمده است که از آنها، مقدار تأمین نیاز آبی گندم و جو در دوره آخر رشد حدود ۰/۲۷ و ۰/۳۷ نیاز آبی آنهاست. همچنین، برای سیب‌زمینی ۰/۳۵ و برای لوبیا ۰/۵۹ نیاز آبی در دوره اولیه رشد از طریق بارندگی تأمین شده است. از طرف دیگر، متوسط مقدار شاخص در مردادماه برای سیب‌زمینی، لوبیا و یونجه به ترتیب برابر ۰/۰۹، ۰/۱۲ و ۰/۰۹ به دست می‌آید که تأمین نیاز آبی این سه محصول از بارندگی در دوره آخر رشد ناچیز بوده است.

شاخص نسبت رطوبت قابل دسترس (RMA) برای محصولات مختلف در دوره بهره‌برداری در شکل ۶ ارائه شده است. مقدار این شاخص وقتی از یک بیشتر باشد نشان‌دهنده آن است که نیازی به آبیاری زمین‌های کشاورزی نخواهد بود و بارندگی تأمین‌کننده نیاز آبی آنهاست. همان‌طور که از شکل مشخص است، مقدار این شاخص در هر چهار ماه بهره‌برداری از شبکه برای همه محصولات کمتر از یک و بیانگر ضرورت آبیاری مزارع در این دوران است. در دو ماه اولیه بهره‌برداری یعنی ماه‌های اردیبهشت و خرداد، نسبت به دو ماه تیر و مرداد، مقدار این شاخص‌ها بیشتر است که نشان می‌دهد سهم بارندگی در تأمین نیاز آبی محصولات شبکه در دو ماه اولیه بیشتر

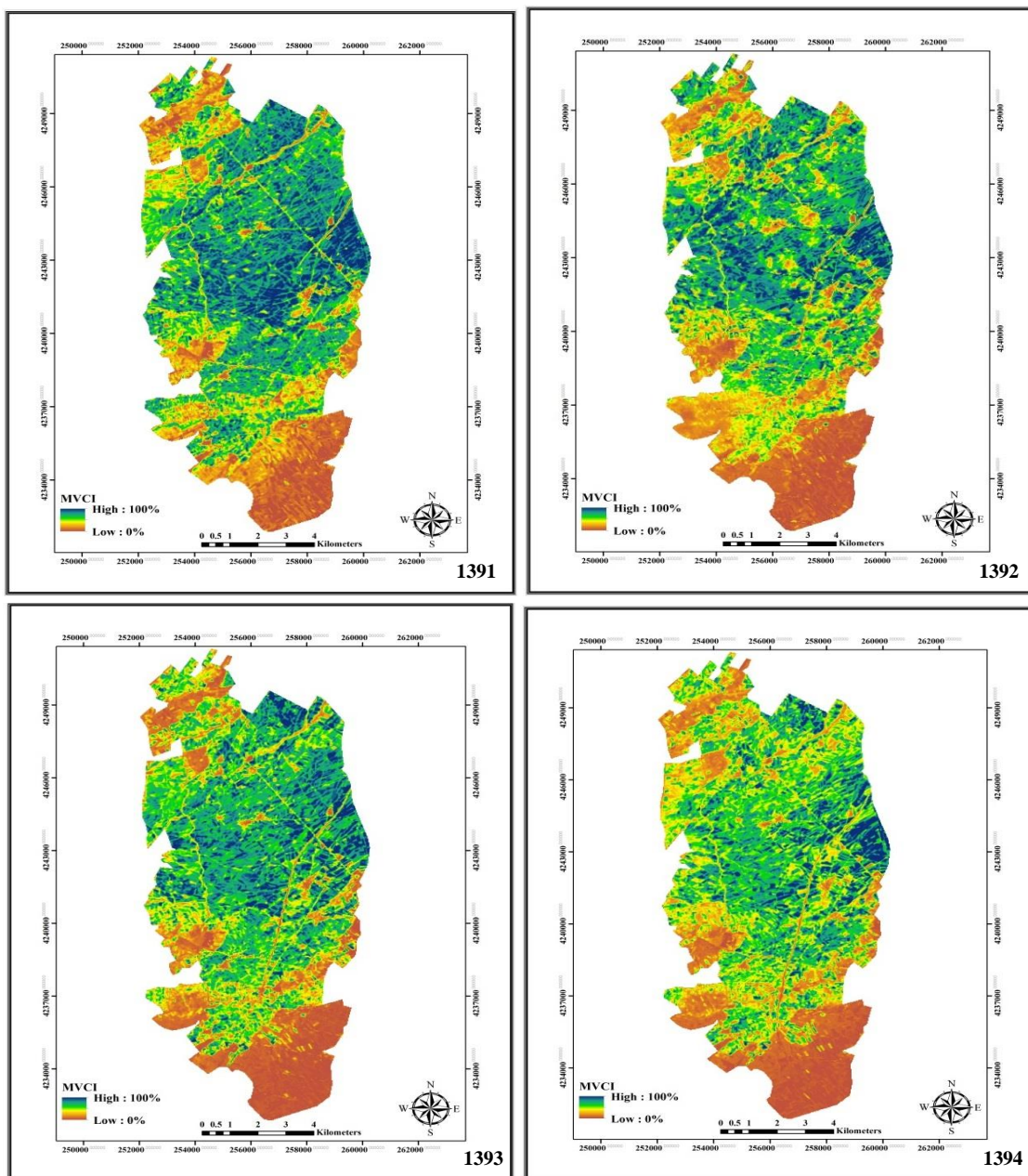


شکل ۶- مقادیر شاخص RMA برای گیاهان مختلف در ماه‌های مختلف (الف) اردیبهشت، (ب) خرداد، (ج) تیر و (د) مرداد

دارند. ناحیه جنوبی که در ابتدای شبکه قرار دارد به دلیل واقع شدن در حاشیه کلان‌شهر اردبیل از کاربری زراعی به کاربری مسکونی تبدیل شده که همین امر باعث پایین بودن شاخص خشکی در این نواحی بوده است. زمین‌های تحت پوشش آبگیرهای P1 تا P6 در این نواحی قرار دارند که چنین وضعیتی را دارند. زمین‌های مواجهه با شرایط خشکی، سال به سال بیشتر نمایان می‌شود. در سال آخر، مناطق بیشتری میزان پایین شاخص خشکی MVCI را نشان می‌دهند. در شرایط محدودیت منابع آب مناطق شرقی شبکه کمتر تحت تاثیر قرار گرفته‌اند در حالی که بقیه مناطق وضعیت خشکی را بیشتر تحمل کرده‌اند.

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی عملکرد بهره‌برداری بر اساس داده‌های سنجش از دور

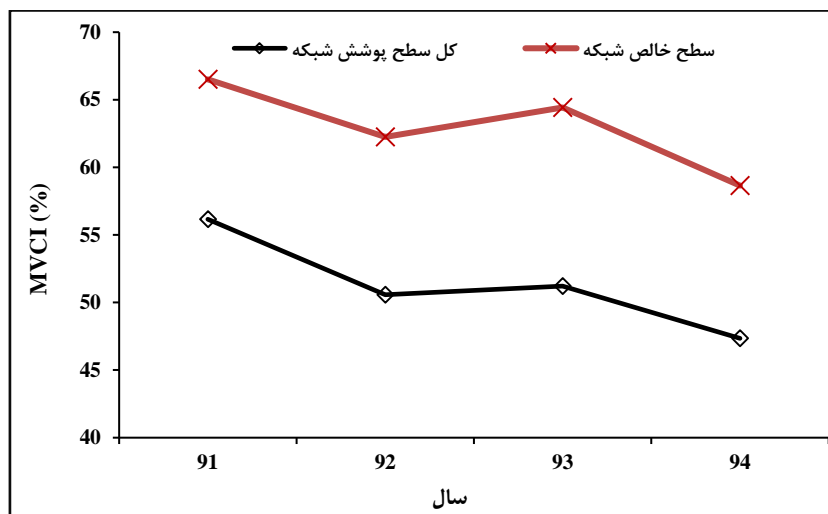
با محاسبه شاخص‌های گیاهی NDVI و برآورد شاخص MVCI، نقشه تغییرات مکانی خشکی در دوره ۹۰-۹۱ تا ۹۳-۹۴ تهیه و در شکل ۷ نشان داده شده است. بررسی مقادیر این شاخص نشان می‌دهد که نواحی جنوبی شبکه که در ابتدای شبکه قرار دارد همیشه خشک است و آب کمتری دریافت می‌کند. همچنین، قسمت شمالی شبکه که انتهای شبکه هم است در دوره چهار ساله مورد بررسی دارای شاخص پایین‌تری بوده است، نواحی میانی وضعیت مناسب‌تری از لحاظ دریافت آب



شکل ۷- تغییرات شاخص MVCI در سال‌های مختلف در خرداد ماه (ژوئن)

مشکی در زیر خط قرمز رنگ در شکل ۸ نشان داده شده است. مقدار این شاخص در سال‌های بهره‌برداری روندی نزولی داشته است. می‌توان گفت که در سال‌های آخر مقدار آن به حدود ۵۰ درصد و کمتر هم رسیده که وضعیتی نامطلوب برای بهره‌برداری از شبکه است.

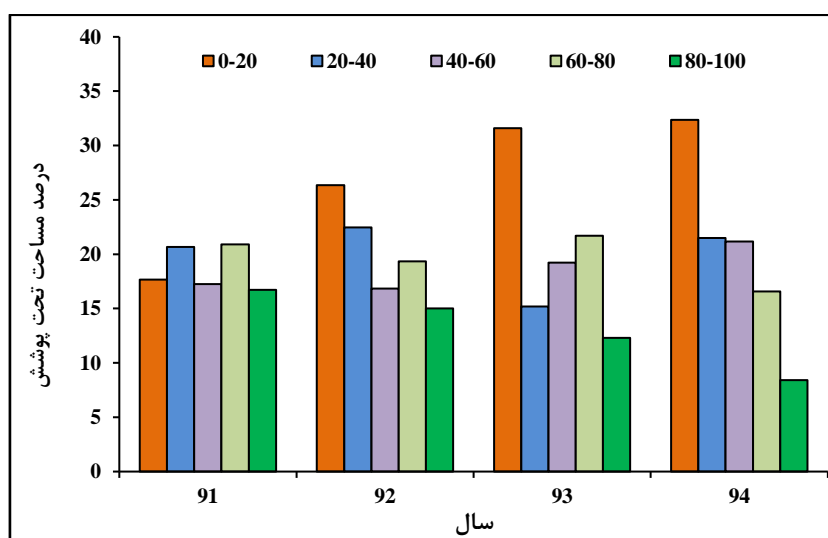
متوسط شاخص خشکی MVCI در سال‌های مختلف برای کل شبکه در شکل ۸ آمده است. به دلیل تغییر کاربری زمین‌های بخش‌های جنوبی شبکه، مقدار شاخص فوق با حذف زمین‌های مربوط به آن (۱۸/۵)، ۲۲، ۲۳ و ۲۳ درصد کل مساحت زمین‌های به‌ترتیب در طول چهار سال بهره‌برداری محاسبه و با خط



شکل ۸- مقادیر شاخص MVCI در دوره بهره‌برداری

و در سال‌های اخیر کاهش یافته است. سطح زمین‌های واقع در شاخص MVCI متوسط، تغییرات زیادی نداشته است و بین حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد زمین‌ها را شامل می‌شود. می‌توان چنین استنباط کرد که به دلیل شرایط خشکسالی و محدودیت منابع آب، سطح زمین‌های دچار خشکی شدید، افزایش و سطح زمین‌های با تأمین کامل آب مورد نیاز، کاهش یافته است. این موضوع تطابق خوبی با نتایج به دست آمده از شکل ۷ دارد.

شکل ۹ درصد زمین‌های تحت پوشش شبکه با محدوده مشخص شاخص MVCI را نشان می‌دهد. این طبقه‌بندی نشان می‌دهد که سهم زمین‌هایی که کمترین مقدار شاخص را دارند و به بیان دیگر دچار وضعیت خشکی هستند سال به سال بیشتر می‌شود، که روند نامطلوب تأمین آب زمین‌های کشاورزی را در سال‌های اخیر نشان می‌دهد. سطح زمین‌های با شاخص MVCI بالا (با مقادیر واقع در محدوده ۸۰ تا ۱۰۰) روند نزولی داشته



شکل ۹- درصد مساحت زیر پوشش شبکه در کلاس‌های مختلف شاخص MVCI

نتیجه‌گیری

در بخش دوم پژوهش به کاربرد فناوری سنجش از دور در بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های خشکی پرداخته شده است. با تحلیل نتایج به دست آمده از تحلیل تصویرهای ماهواره‌ای می‌توان گفت که جز در نواحی شرقی شبکه، تقریباً بقیه نقاط شبکه بیشتر تحت تاثیر کمبود منابع آب قرار می‌گیرند و شرایط خشکی را متحمل می‌شوند. در شرایط کمبود منابع آب، زمین‌های واقع در کلاس اول و آخر از طبقه‌بندی زمین‌ها بر مبنای شاخص خشکی MVCI، مساحت بیشتری را شامل خواهند شد. به بیان دیگر، زمین‌هایی که آب کافی یا مقدار آب خیلی کمی دریافت می‌کنند سطح وسیعی از شبکه را به خود اختصاص می‌دهند. الزاید و همکاران (Al-Zayed, et al., 2015) نیز در ارزیابی عملکرد شبکه آبیاری مورد مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، نتایجی مشابه گزارش داده‌اند.

ارزیابی عملکرد بهره‌برداری شبکه آبیاری یامچی طی دوره چهارساله بهره‌برداری (۹۱-۹۰ تا ۹۴-۹۳) نشان می‌دهد که در این سال‌ها حجم آب مورد نیاز الگوی کشت، بیشتر از حجم مجاز طراحی و حجم آب تحویلی بوده است و از این رو به دلیل تبعیت نکردن کشاورزان از الگوی کشت پیشنهادی طرح و کمبود منابع آب برای تخصیص به بخش کشاورزی، شاخص‌های ارزیابی عملکرد پایین است.

با توجه به اینکه توزیع و تحویل آب بین آبگیرها بر اساس مقدار آب موجود در مخزن سد و الگوی کشت پیشنهادی اولیه طرح صورت می‌گیرد، در شرایط محدود بودن منابع آب، به دلیل اولویت تخصیص به مصارف شرب، زمین‌های کشاورزی با تنش بیشتری مواجه می‌شوند.

مراجع

- Al-Zayed, I. S., Elagib, N.A., Ribbe, L. and Heinrich, J. 2015. Spatio-temporal performance of large-scale Gezira irrigation scheme, Sudan. *Agric. Sys.* 133, 131-142.
- Aman, M. 2003. Evaluating and comparing the performance of different irrigation systems using remote sensing and GIS (A case study in Alentejo region, Portugal). M. Sc. Thesis. Water Resources and Environment Management. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.
- Arunkumar, R. and Ambujam, N. K. 2012. Performance assessment of canal irrigation system. *ISH J. Hydraul. Eng.* 16, 146-155.
- Bandara, K. M. P. 2003. Monitoring irrigation performance in Sri Lanka with high frequency satellite measurements during the dry season. *Agric. Water Manage.* 58(2): 159-170.
- Dindarlou, A., Kamgar-Haghighi A., Sepaskhah, A. R., Zandparsa, Sh., Honar, T., Dalir, A. and Behnamifar, A. 2011. Evaluation of equity in distribution water by hydromodule index: in Ordibehesht channel in Dorudzan Dam. *Iranian J. Irrig. Drain.* 2(5): 158-164. (in Persian)
- El-Sayed, S. M. 2006. Application of GIS and remote sensing in irrigation networks management. 10th International Water Technology Conference. March 23-25. Alexandria, Egypt.
- Foerster, S., Kaden, K., Foerster, M. and Itzerott, S. 2012. Crop type mapping using spectral-temporal profiles and phenological information. *Comput. Electron. Agric.* 89, 30-40.
- Golabi, M., Bezaad, M. and Bromand-Nasab, S. 2006. Application of geographic information system (GIS) and remote sensing (RS) in irrigation management. 1st National Conference on Irrigation Network Management. Ahvaz, Iran. (in Persian)

- Jibril, G., Saidu, M. and Yabagi, A. A. 2017. Performance evaluation of Badeggi irrigation scheme, Niger state Nigeria, using efficiency techniques. *Scholarly J. Sci. Res. Essay*. 6(2): 42-47.
- Koghan, F. N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *B. Am. Meteorol. Sco.* 76(5): 655-668.
- Khoshnava, F., Honar, T. and Daneshkar-Arasteh, P. 2015. Estimation of agricultural water productivity using remote sensing technology (case study: Qazvin plain irrigation network). *Water Soil Sci.* 25(1): 57-68. (in Persian)
- Kloezen, W. H. and Garces-Restrepo, C. 1998. Assessing irrigation performance with comparative indicators: the case of the Alto Rio Lema Irrigation District, Mexico. Research Report. No. 22. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI).
- Lenton, R. L. 1984. A Note on Monitoring Productivity and Equity in Irrigation Systems. In: Pant, N. (Ed.) *Productivity and Equity in Irrigation Systems*. Ashish Publishing House, New Delhi.
- Levine, G. 1982. Relative water supply: An explanatory variable for irrigation systems. Technical Report, No. 6. *The Determinants of Irrigation Problems in Developing Countries*. Ithaca, N. Y.: Cornell University.
- Malano, H. and Burton, M. 2001. Guidelines for benchmarking performance in the irrigation and drainage sector. *Proceedings of International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage*. FAO, Rome.
- Moreno-Perez, M. F. and Roldan-Canas, J. 2013. Assessment of irrigation water management in the Genil-Cabra (Cordoba, Spain) irrigation district using irrigation indicators. *Agric. Water Manage.* 120, 98-106.
- Muruganatham, M. and Krishnaveni, M. 2015. Water delivery performance evaluation of a tank irrigated system and best management practices for paddy agriculture. *Indian J. Sci. Technol.* 8(15). Doi: 10.17485/ijst/2015/v8i15/71645.
- Nam, W. H., Hong, E. M. and Choi, J. Y. 2016. Assessment of water delivery efficiency in irrigation canals using performance indicators. *Irrig. Sci.* 34, 129-143.
- Norouzi-Aghdam, E. and Karami, V. 2010. Applying remote sensing technology in monitoring and evaluating of irrigation and drainage network. 12th Seminar of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. Feb. 24-25. Tehran, Iran. (in Persian)
- Salvador, R., Martinez-Cob, A., Cavero, J. and Playan, E. 2011. Seasonal on-farm irrigation performance in the Ebro basin (Spain): crops and irrigation systems. *Agric. Water Manage.* 98(4), 577-587.
- Wan, Z., Wang, P. and Li, X. 2004. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *Int. J. Remote Sens.* 25(1): 61-72.
- Wardlow, B. D. and Egbert, S. L. 2008. Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the US Central Great Plains. *Remote Sens. Environ.* 112(3): 1096-1116.

Evaluation of Spatio-Temporal Performance and Water Delivery Management of Yamchi Irrigation Network in Ardabil Province

A. Kanooni* and A. Abedi

* Corresponding Author: Assistant professor, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: amin.kanooni@uma.ac.ir

Received: 13 May 2017, Accepted: 6 November 2017

In order to evaluate the performance of Yamchi irrigation network located at the downstream of Ardabil reservoir dam, the necessary data with regards to water delivered to irrigated areas during four operating years (2012-2015) and cropping pattern variability of cultivated crops were acquired from Ardabil Regional Water Authority. Next water requirement of crops was estimated using Penman-Montith-FAO method and then performance of the irrigation network was evaluated by different performance indices such as Relative water supply (RWS), Relative irrigation supply (RIS), Water delivery index (WDI) and Ratio of moisture availability. The results showed that the performance indices in last two years were 0.4 and 0.5 for RWS and 0.5 and 0.6 for RIS respectively. This indicates that water delivered to the crops through irrigation network was up to 50% less than their requirements. Rainfall contribution to crop water requirement in the first two months (May and June) was higher than the last two months (July and August) during the operating period. Delivery and distribution performance evaluation of network with respect to spatial and temporal scale using satellite images showed that the land area due to severe drought increased and that land area depended on irrigation water supply was decreased in the finishing years of project.

Keywords: Evaluation Indexes, Performance, Remote Sensing, Yamchi Irrigation Network