

## بررسی عرضه و تقاضا و برآورد بهره‌وری آب کشاورزی در حوزه آبریز زاینده‌رود مطالعه موردی: شبکه آبیاری سمت راست آبشار

وحیدرضا وردی نژاد<sup>۱</sup>، تیمور سهرابی<sup>۲</sup>، نادر حیدری<sup>۳\*</sup>، شهاب عراقی نژاد<sup>۴</sup> و علیرضا مأمّن پوش<sup>۵</sup>

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی عرضه و تقاضا، نحوه تخصیص آب و همچنین برآورد بهره‌وری آب در شبکه سمت راست آبشار در حوزه آبریز زاینده‌رود اصفهان انجام گردید. بدین منظور شبکه به ۱۸ واحد آبیاری تقسیم گردید. معیارهای تقسیم بندی عبارت بودند از شوری خاک، نوع منبع آب شبکه (سطحی یا زیرزمینی) و شوری آب زیرزمینی (چاه‌ها). معیارهای مذکور در محیط GIS و براساس لایه‌های اطلاعاتی آنها تقسیم بندی شدند. براساس داده‌های دقیق و طولانی مدت لایسیمتر حجمی واقع در ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد، رابطه فائو- پنمن- ماتیت برای گیاه مرجع واسنجی و نیاز آبی محصولات الگوی کشت محاسبه شد. میزان عرضه و تقاضا در هر واحد آبیاری و طی ماه‌های مختلف سال با محاسبه بارندگی مؤثر، نیاز آبی محصولات، مقدار آب تحویلی به هر واحد آبیاری و مقدار برداشت آب زیرزمینی و بر اساس اطلاعات زراعی و الگو و تراکم کشت هر واحد تعیین شد. میزان بهره‌وری آب (WP) برای دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ محاسبه گردید. متوسط بهره‌وری شبکه برای دو سال فوق به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید. متوسط بهره‌وری براساس محصول پایه گندم در دو سال زراعی فوق به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. براساس هزینه‌های تولید و آب و قیمت فروش محصول، متوسط بهره‌وری اقتصادی آب (سود ناخالص) و سود خالص به ازای واحد آب مصرفی برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ به ترتیب ۱۰۶۰/۸ و ۴۱۹/۶ ریال بر متر مکعب و برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، ۲۳۹۲/۹ و ۶۶۶/۷ ریال بر متر مکعب محاسبه گردید. بررسی و تجزیه و تحلیل شاخص‌های بدست آمده نشان می‌دهد که عرضه و تقاضا در ماه‌های مختلف سال و نیز توزیع مکانی عرضه به واحدهای آبیاری از توزیع مناسبی برخوردار نمی‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری آب، تبخیر و تعرق، عرضه و تقاضا، مدیریت آبیاری، شبکه آبیاری سمت راست آبشار

### مقدمه

محققین، مدیران و مصرف‌کنندگان آب قرار گرفته و بر این نکته تأکید شده است که شبکه‌های آبیاری به صورت دوره‌ای مورد ارزیابی قرار گیرند (مأمّن پوش و همکاران، ۱۳۸۵). ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری به صورت موردی و عمدتاً بر مبنای ارزیابی فنی بوده است. یکی از مهمترین پارامترها در ارزیابی و کارایی شبکه‌های آبیاری میزان عرضه و تقاضای آب در این شبکه‌ها می‌باشد. جهت نیل به این هدف، نیاز به اطلاعاتی همچون مقدار آب تخصیص یافته از منابع مختلف سطحی و زیرزمینی (تحت عنوان عرضه) و نیز نحوه توزیع آن در فصل کشت، الگو و تراکم کشت، نیاز آبی (تقاضا)، تقویم زراعی، عملکرد محصول، قیمت فروش و هزینه‌های تولید محصولات، بارندگی مؤثر و وضعیت بهره‌برداری از شبکه می‌باشد (مأمّن پوش و همکاران، ۱۳۸۵).

اصطلاح بهره‌وری آب کشاورزی<sup>۶</sup>، به مقدار عملکرد یا ارزش

شرایط خاص اقلیمی کشور ایران که خشکی و توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی و ویژگی بارز آن است، هر گونه تولید مواد غذایی و کشاورزی پایدار را منوط به استفاده صحیح و منطقی از منابع آب محدود کشور نموده است. ارزیابی وضعیت موجود شبکه‌های آبیاری در سطح دنیا نشان داده است که عملکرد آنها به دلایل مختلف از جمله بهره‌برداری نامناسب، فقدان مدیریت مطلوب و توزیع نامناسب آب، پایین‌تر از حد مورد انتظار و پیش‌بینی شده است. لذا موضوع عملکرد این شبکه‌ها به طور فزاینده‌ای مورد توجه

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۲- به ترتیب استاد و استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۳- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

(Email: nrheydari@yahoo.com)

\*- نویسنده مسئول:

۵- پژوهنده مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان

مکعب گزارش شد (Zwart and Bastiaanssen, 2004). این رقم در هند بین ۰/۶۴ تا ۱/۱۹ و در ترکیه ۱/۳۳ تا ۱/۴۵ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شد (Zwart and Bastiaanssen, 2004).  $WP_{ET}$  برای برنج در چین ۱/۴۱ تا ۱/۸۴ و در هند ۰/۴۶ تا ۱/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمده است (Zwart and Bastiaanssen, 2004). نتایج تعداد ۸۴ تحقیق در زمینه بهره‌وری آب طی ۲۵ سال اخیر در نقاط مختلف روی محصولات گندم، برنج، پنبه و ذرت نشان می‌دهد که متوسط  $WP_{ET}$  برای محصولات فوق به ترتیب ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۲۳ و ۱/۸ کیلوگرم بر متر مکعب؛ اما با دامنه تغییرات وسیع می‌باشد. این دامنه برای گندم ۰/۶ تا ۱/۷، برنج ۰/۶ تا ۱/۶، پنبه ۰/۱۴ تا ۰/۳۳ و ذرت ۱/۱ تا ۲/۷ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد (Zwart and Bastiaanssen, 2004؛ Tuong, 1999). نتایج تحقیقات در شبکه‌های اصفهان نشان می‌دهد که بهره‌وری اقتصادی آب در این شبکه‌ها حدود نصف مقدار نظیر آن در جهان است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۴).

در تحقیق حاضر نیاز آبی محصولات شبکه آبیاری آبشار براساس داده‌های لایسیمیتری ایستگاه تحقیقاتی کبوترآباد برآورد و در ادامه با محاسبه مقدار عرضه و مقایسه آن با تقاضا در هر واحد آبیاری طی ماه‌های مختلف سال، وضعیت شبکه از نظر عرضه و تقاضا بررسی گردید. در ادامه، بهره‌وری آب در مقیاس شبکه محاسبه و تحلیل گردید.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق، شبکه آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار واقع در حوزه هیدرولوژیک رودخانه زاینده‌رود و دشت کوهپایه و سگری در شرق شهرستان اصفهان مورد مطالعه قرار گرفته است. آب مورد نیاز شبکه از آب سطحی از طریق انحراف آب در محل سد انحرافی آبشار و آب زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق منطقه تأمین می‌شود. سطح اراضی کشاورزی طراحی شده زیردست کانال‌های آبیاری حدود ۱۵۰۰۰ هکتار و محصولات اصلی آن شامل گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه و صیفی‌جات می‌باشد که به روش سطحی آبیاری می‌شوند (سالمی و همکاران، ۲۰۰۰). تعداد ۱۱۸ دریاچه آبخیز از نوع مدول نیرویک روی کانال‌های اصلی و فرعی، آب مورد نیاز را به اراضی شبکه تحویل می‌دهند. بخش کمی از آب تحویلی به شبکه به صنعت و مصارف غیر کشاورزی اختصاص داشته و قسمت عمده آن صرف کشاورزی می‌شود. برای تعیین میزان آب تحویلی به شبکه، آمار روزانه حجم آب تحویلی دریاچه‌های آبخیز در سال‌های زراعی ۱۳۸۵-۸۶ و ۱۳۸۶-۸۷ جمع‌آوری شد. به منظور بررسی نحوه توزیع مکانی آب در قسمت‌های مختلف، سطح شبکه با استفاده از نرم افزار GIS به واحدهای آبیاری تقسیم شد.

عملکرد گفته می‌شود که به ازای واحد حجم آب مصرفی بدست می‌آید (احسانی و همکاران، ۱۳۸۲). بهره‌وری آب به صورت‌های مختلفی ارائه شده است که در زیر تعاریف و روابط مختلف آن ارائه شده‌اند:

$$WP_T = \frac{Y (kg \ ha^{-1})}{T (m^3 \ ha^{-1})} \quad (1)$$

که پارامترهای  $WP_T$ ،  $Y$  و  $T$  به ترتیب بهره‌وری تعرق، وزن خشک اندام هوایی گیاه (یا مقدار محصول قابل عرضه به بازار) و مقدار تعرق در طول فصل زراعی می‌باشد (Kijne et al., 2003). واحد  $WP_T$  کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. با توجه به مشکل بودن جداسازی تعرق از تبخیر، به جای  $WP_T$  از  $WP_{ET}$  استفاده می‌گردد که در این صورت بهره‌وری مصرف آب به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$WP_{ET} = \frac{Y (kg \ ha^{-1})}{ET (m^3 \ ha^{-1})} \quad (2)$$

که  $WP_{ET}$  و  $ET$  به ترتیب بهره‌وری تبخیر و تعرق و مقدار تبخیر و تعرق طی فصل زراعی می‌باشد (Kijne et al., 2003). اگر مقدار آبیاری و بارش به عنوان آب مورد استفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری مصرف آب با  $WP_{I+P}$  نشان داده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

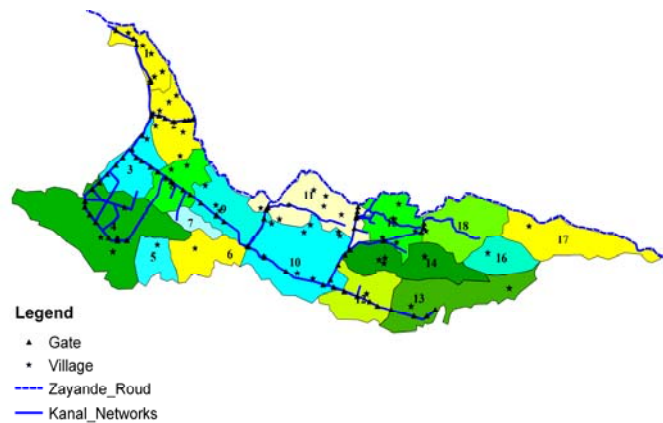
$$WP_{I+P} = \frac{Y (kg \ ha^{-1})}{[I + P] (m^3 \ ha^{-1})} \quad (3)$$

که  $I$  و  $P$  مقدار آبیاری و بارندگی در طول فصل زراعی می‌باشند. در شرایطی که میزان بارش اندک است  $WP_{I+P}$  به  $WP_I$  تبدیل می‌شود. با توجه به اهمیت اقتصادی تولیدات کشاورزی، صورت کسر معادلات (۱) تا (۳) به صورت ارزش عملکرد محصول تعریف می‌شود که در این صورت می‌توان بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری ( $WP_E$ ) را به صورت رابطه (۴) تعریف کرد (Kijne et al., 2003).

$$WP_E = \frac{Y (\$kg^{-1} \times kg \ ha^{-1})}{[I + P] (m^3 \ ha^{-1})} \quad (4)$$

که در آن  $\$$  ارزش ریالی فروش محصول می‌باشد. اگر در صورت کسر هزینه‌های تولید در نظر گرفته شود، سود خالص به ازای واحد آب مصرفی بدست می‌آید. روابط (۱) و (۲) مناسب مقیاس مزرعه بوده و (۳) و (۴) مناسب مقیاس شبکه می‌باشد. در این تحقیق برای محاسبه وضعیت بهره‌وری آب، روابط (۳) و (۴) بکار گرفته شده‌اند.

وظیفه دوست و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی بهره‌وری آب کشاورزی در مقیاس مزرعه در منطقه برخوردار اصفهان در سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳، نشان دادند که متوسط  $WP_I$  برای محصولات چغندرقد، آفتابگردان، ذرت علوفه‌ای و گندم به ترتیب ۰/۹۹، ۰/۲۲، ۱/۷۶ و ۰/۴۹ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. متوسط  $WP_{ET}$  برای محصولات فوق به ترتیب ۱/۴۱، ۰/۲۹، ۳/۰۳ و ۰/۸۷ گزارش گردید. بهره‌وری مصرف آب گندم ( $WP_{ET}$ ) در چین در ۹ تحقیق انجام شده طی سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۳ بین ۰/۸۴ تا ۱/۶۳ کیلوگرم بر متر



شکل ۱- نقشه شبکه سمت راست آبشار و موقعیت کانال‌ها، دریچه‌های آبیگر و واحدهای آبیاری

می‌دهند که عبارتند از: ذرت دانه‌ای، ارزن، هندوانه، خیار، طالبی و گرمک، گوجه، بادمجان، شبدر، سبزیجات، گلرنگ، کلزا و پنبه. حداکثر سطح زیرکشت شبکه مربوط به گندم بوده و درصد سطح کشت آن در دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب ۴۳/۵ و ۴۸/۴ درصد می‌باشد. آمار و اطلاعات زراعی محصولات به تفکیک هر روستا شامل سطح زیرکشت هر محصول، عملکرد متوسط و عملکرد پتانسیل در واحد سطح، تقویم زراعی، دوره آبیاری و سایر اطلاعات مورد نیاز جمع‌آوری شد. برای این منظور پرسشنامه‌ای تهیه شد و در آن اطلاعات زراعی محصولات با استفاده از کارشناسان دو مرکز خدمات کشاورزی موجود در شبکه ثبت گردید. این اطلاعات شامل تقویم زراعی محصولات در هر روستا، الگوی کشت، تراکم کشت، عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل، کلیه هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های آماده سازی زمین، کاشت، داشت، برداشت، هزینه‌های آبیاری و سایر هزینه‌ها بوده که بخشی از آن توسط کارشناسان مرکز خدمات و بخشی توسط زارعین تکمیل شد. براساس اطلاعات روستاها، اطلاعات مورد نیاز واحدهای آبیاری استخراج شد. همچنین اطلاعات مربوط به قیمت آب و قیمت فروش محصولات از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شد.

#### برآورد نیاز آبی گیاهان زراعی منطقه

محاسبه دقیق تبخیر و تعرق برای تعیین عرضه و تقاضا، مقدار تحویل آب به شبکه و در نهایت افزایش بهره‌وری آب در شبکه حائز اهمیت است. برای تعیین تبخیر و تعرق محصولات، ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع برآورد و سپس با اعمال ضریب گیاهی مناسب ( $K_c$ )، تبخیر و تعرق واقعی گیاه ( $ET_a$ )، تعیین گردید. ضرایب گیاهی محصولات گندم، جو و یونجه در مراحل چهارگانه رشد، به ترتیب از نتایج تحقیقات لایسیمتری ستار (۱۳۷۷)، ستار (۱۳۷۹) و عقدایی (۱۳۷۸) استفاده گردید. در بیشتر مناطق دنیا معادله ترکیبی پنمن-

معیارهای تقسیم بندی شبکه به واحدهای آبیاری عبارت بودند از: شوری خاک، نوع منابع آب شبکه (سطحی یا زیرزمینی) و شوری آب زیرزمینی. ابتدا شبکه از نظر نوع منابع آب قابل استفاده به سه منطقه فقط آب زیرزمینی، تلفیق سطحی و زیرزمینی و فقط سطحی تقسیم گردید. با استفاده از نقشه شوری و بافت خاک شبکه، لایه اطلاعاتی بافت و شوری خاک در محیط GIS ساخته شد. در مرحله بعد با استفاده از لایه اطلاعاتی شوری و بافت خاک، لایه اطلاعاتی مناطقی با گروه شوری و بافت خاک مشترک، در محیط GIS دوباره گروه بندی گردید. به این ترتیب سطح شبکه به ۱۸ واحد آبیاری تقسیم گردید که هر کدام از نظر شوری، بافت خاک و نوع پتانسیل آبی در یک گروه معین قرار گرفت. امکان آن وجود داشته که دو واحد آبیاری کاملاً از لحاظ شرایط منابع خاک و آب یکسان باشند ولی در دو واحد مجزا قرار بگیرند که این موارد بستگی به موقعیت روستاها و نحوه آبیاری آنها داشته که این موارد با مشورت کارشناسان شرکت بهره‌برداری از شبکه مدنظر قرار گرفت. شکل ۱ نقشه شبکه راست آبشار به همراه واحدهای آبیاری، نقشه کانال اصلی و فرعی‌ها، محل دریچه‌های آبیگر و محل روستاها را نشان می‌دهد. در جدول ۱ مشخصات خاک لایه سطحی (عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر)، نوع منبع آب، کلاس شوری خاک و نیز شوری آب چاه‌ها برای هر واحد آبیاری ارائه گردیده است.

#### الگوی کشت در شبکه و اطلاعات زراعی محصولات

محصولات عمده شبکه شامل گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای، برنج، چغندر، آفتابگردان، سیب‌زمینی و پیاز می‌باشد که طی سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به طور متوسط به ترتیب ۹۴/۸۳ و ۹۶/۸۴ درصد سطح کشت را به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر محصولات ذکر شده، محصولات دیگر تحت عنوان سایر محصولات با درصد سطح کشت ناچیز الگوی کشت را تشکیل

تغرق پتانسیل گیاه مرجع حاصل از لایسیمتر و رابطه FPM در ماه یا دهه  $i$  ام،  $N$  تعداد ماه‌ها یا دهه‌های مورد مطالعه و  $\overline{ETL}$  متوسط تبخیر و تعرق حاصل از لایسیمتر می‌باشد. با توجه به نقصان اطلاعات لایسیمتر برای برخی از دهه‌ها، تبخیر و تعرق به صورت ماهانه و برای ۱۲ ماه سال بررسی شد.

#### تعیین مقدار آب تحویلی به شبکه

برای تعیین مقدار آب تحویلی به شبکه و هر واحد آبیاری، آمار روزانه دبی عبوری از دریاچه‌ها و مدت زمان دبی عبوری از جداول موجود در شرکت بهره‌برداری از شبکه استخراج و با ترسیم منحنی دبی-زمان، مساحت زیر منحنی دبی-زمان برای دوره‌های ۱۰ روزه به عنوان حجم آب ورودی به هر واحد محاسبه شد. آمار برای سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ و در هر سال (۳۶) دوره محاسبه گردید. در واحدهای آبیاری ۵ و ۶ آب مورد نیاز فقط از آب زیرزمینی تأمین شده و در سایر واحدها، آب مورد نیاز به صورت تلفیقی از آب کانال و زیرزمینی تأمین می‌شود. کیفیت آب تحویلی به شبکه خوب و شوری آن طی ۱۹ سال آماری و با توجه به فصل آبیاری، بین ۰/۴۲ و ۱/۸۹ دسی زیمنس بر متر متغیر بوده است.

#### برآورد برداشت آب زیرزمینی

به منظور برآورد مقدار برداشت آب زیرزمینی، آمار چاه‌های تمام روستاها شامل تعداد و مختصات آنها، مقدار آبدی و ساعات کارکرد در هر فصل، شوری آب تعدادی از چاه‌ها، نوع مصرف (کشاورزی یا شرب) و سایر اطلاعات به تفکیک روستا در سطح شبکه جمع آوری گردید. تعداد کل چاه‌ها در سطح شبکه ۴۸۵۴ حلقه می‌باشد که از این تعداد ۶۲۱ حلقه دارای کاربری غیر زراعی (شامل شرب، صنعت و غیره) هستند. برخی از چاه‌ها در سطح شبکه مجاز و دارای پروانه می‌باشند و بخشی از چاه‌ها به دلیل عمق سطح ایستابی کم، غیرمجاز حفر شده‌اند (بی نام، ۱۳۸۷). در محاسبات، آمار مجموع چاه‌های مجاز و غیرمجاز در نظر گرفته شد.

برداشت آب زیرزمینی بی‌رویه بوده و بیلان آن در سطح حوزه طی چندین سال اخیر روند منفی داشته است. حجم آب برداشتی در هر واحد آبیاری در مقیاس فصلی محاسبه و به منظور تبدیل میزان برداشت فصلی به ماهانه، از آمار بهره‌برداری چاه‌ها طی ماه‌های مختلف سال استفاده شد (میران زاده و همکاران، ۱۳۸۵). برای این منظور از فرم‌های پرسشنامه استفاده گردید که توسط مرکز تحقیقات کشاورزی اصفهان تهیه شده بود. در این فرم برای هر چاه، مشخصات چاه و تعداد روزهای بهره‌برداری در هر ماه ثبت گردید. تعداد ۸۰ حلقه چاه انتخابی برای شبکه سمت راست آبشار در نظر گرفته شد که به طور تصادفی و با توجه به پراکنش چاه‌ها در واحدهای آبیاری ساعات کارکرد آنها در هر ماه ثبت گردید. پس از تکمیل فرم‌ها، برای هر

مانتیت-فائو (FPM)<sup>۱</sup> روش استاندارد شناخته شده است. مقادیر محاسبه شده از این روش با داده‌های لایسیمتری حداقل اختلاف را نشان داده است. با این حال در صورت وجود لایسیمتر در منطقه، همواره اطلاعات لایسیمتری توصیه شده است (Allen et al., 1998). به منظور ارائه رابطه‌ای برای تبخیر و تعرق در شبکه مورد مطالعه، آمار و اطلاعات لایسیمتر موجود، جمع آوری گردید. لایسیمتر از نوع زهکش دار با ابعاد  $1/2 \times 2 \times 1$  متر بوده و در قسمت میانی شبکه، در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوترآباد (واحد آبیاری شماره ۱۰)، در داخل مزرعه آزمایشی به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع و با موقعیت عرض جغرافیایی  $33^{\circ}31'$  شمالی و طول جغرافیایی  $51^{\circ}51'$  شرقی و ارتفاع ۱۵۴۵ متر از سطح دریا قرار گرفته است. بافت خاک درون و اطراف لایسیمتر مانند جنس غالب خاک شبکه لوم رسی (CL) می‌باشد. رطوبت خاک لایسیمتر در برخی سال‌ها توسط تانسیومترهای نصب شده در اعماق ۳۰ و ۶۰ سانتیمتری اندازه‌گیری و در برخی سال‌ها توسط نوترون متر در ۱۰ لایه و هر کدام به ضخامت ۱۰ سانتیمتر تعیین شده است. آبیاری زمانی صورت می‌گرفت که متوسط مکش ماتریک پروفیل خاک در عمق توسعه ریشه به ۴۰۰ سانتیمتر آب می‌رسید و با اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک، مقدار بارندگی، آبیاری و حجم آب زهکشی خارج شده و براساس معادله بیلان آب در خاک، تبخیر و تعرق پتانسیل چمن محاسبه گردیده است (ستار، ۱۳۷۷). آمار و اطلاعات مربوط به گیاه چمن به مدت ۸ سال (۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷) و نیز آمار روزانه پارامترهای هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کبوترآباد طی این مدت جمع آوری و مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع براساس رابطه FPM برای سال‌های فوق محاسبه و با مقادیر حاصل از لایسیمتر (روش مینا) مقایسه گردید. مقایسه دو روش براساس شاخص‌های ارزیابی مدل‌ها نظیر ضریب تعیین  $(R^2)$ ، ریشه میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> (RMSE) و میانگین خطای مطلق نسبی<sup>۴</sup> (MARE) صورت گرفت:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (ETL_i - ETP_i)^2}{\sum_{i=1}^N (ETL_i - \overline{ETL})^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (ETL_i - ETP_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$MARE = \frac{\sum_{i=1}^N |ETL_i - ETP_i|}{N} \times 100 \quad (7)$$

که در آنها  $i$  اندیس مربوط به ماه یا دهه،  $ETL$  و  $ETP$  تبخیر و

- 1- FAO-Penman-Monteith
- 2- Determination Coefficient
- 3- Root Mean Square Error
- 4- Mean Absolute Relative Error

سال (۱۳۷۰ تا ۱۳۷۷) و محاسبه شده از رابطه FPM در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از دو روش نشان می‌دهد که از ماه فروردین تا آبان تبخیر و تعرق بدست آمده از لایسیمتر بیشتر از مقدار محاسبه شده براساس روش FPM می‌باشد و با افزایش مقدار تبخیر و تعرق (ماه‌های گرم) این اختلاف زیادتر شده و نمودارها فاصله بیشتری از همدیگر گرفته‌اند. در ادامه با کاهش دما در ماه آذر تقریباً برابر و در ماه‌های دی تا اسفند، لایسیمتر مقدار کمتری نسبت به روش FPM نشان می‌دهد.

ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین نسبی خطای مطلق دو روش به ترتیب ۰/۸۸۱، ۲۳/۶۸ و ۱۵/۹۹٪ بدست آمد. براساس آماره MARE، درصد خطای مطلق حداقل، حداکثر و متوسط روش FPM در ماه‌های مختلف سال ۵/۸٪، ۳۹/۲٪ و ۱۶٪ بوده است که بیش برآورد آن مربوط به ماه‌های آذر تا اسفند و کم برآورد آن مربوط به ماه‌های فروردین تا آبان می‌باشد. متوسط کم و بیش برآورد روش FPM به ترتیب ۱۴/۷۸٪ و ۱۸/۴۰٪ می‌باشد. به منظور واسنجی رابطه FPM، منحنی شکل ۲ به دو ناحیه بیش و کم برآورد تقسیم شد و براساس آمار ۸ سال لایسیمتر و داده‌های محاسبه شده به روش FPM، روابطی برای تصحیح تبخیر و تعرق پتانسیل حاصل از روش FPM پیشنهاد گردید. پس از آزمون روش‌های مختلف رگرسیون گیری بین نتایج لایسیمتری و محاسبه شده، روابط (۱۰) و (۱۱) برای دو حالت بیش و کم برآورد بدست آمد.

برای حالت کم برآورد (فروردین تا آبان ماه):

$$ET_{c-adj} = -3.04 + 1.201 \times ET_p, R^2 = 0.944 \quad (10)$$

برای حالت بیش برآورد (آذر تا اسفند ماه):

$$ET_{c-adj} = -0.44 + 0.87 \times ET_p, R^2 = 0.982 \quad (11)$$

در روابط فوق  $ET_p$  و  $ET_{c-adj}$  به ترتیب تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه گیاه مرجع حاصل از روش FPM و تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه اصلاح شده می‌باشد. برای تعیین مقدار دقیق تقاضا در سال‌های مختلف، تبخیر و تعرق به روش FPM محاسبه و با استفاده از روابط (۱۰) و (۱۱) تصحیح گردید. در ادامه، تقویم زراعی محصولات شامل تاریخ کاشت، تاریخ قطع آبیاری، تاریخ برداشت، دوره‌های چهارگانه رشد محصولات و ضرایب گیاهی هر مرحله جمع آوری و مقدار آب مورد نیاز برای سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ برآورد گردید. ضرایب گیاهی چهارگانه محصولات گندم، جو و یونجه از نتایج تحقیقات لایسیمتری ستار (۱۳۷۷ و ۱۳۷۹) و عقدایی (۱۳۷۸)، و برای سایر محصولات، از ضرایب گیاهی پیشنهادی فائو استفاده و برای مراحل میانی و آخر تصحیح شد (Allen et al., 1998).

واحد آبیاری با توجه به تعداد چاه‌های انتخابی در آن واحد و نیز میانگین تعداد روزهای بهره‌برداری در هر ماه، متوسط برداشت ماهانه در هر واحد آبیاری براساس رابطه (۸) بدست آمد:

$$\bar{V}_{mi} = V_{si} \times \frac{D_{mi}}{D_{si}} \quad (8)$$

در رابطه فوق، پارامترهای  $\bar{V}_{mi}$ ،  $V_{si}$ ،  $D_{mi}$  و  $D_{si}$  به ترتیب متوسط برداشت ماهانه در محدوده هر واحد آبیاری  $i$ ، میزان برداشت فصلی در محدوده هر واحد آبیاری  $i$ ، متوسط تعداد روزهای بهره‌برداری در هر ماه در هر واحد آبیاری  $i$  و نهایتاً متوسط تعداد روزهای بهره‌برداری در هر فصل در هر واحد آبیاری  $i$  می‌باشند. براساس رابطه (۸) میزان برداشت آب زیرزمینی برای سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به صورت ماهانه برآورد گردید. براساس آمار ۱۴ سال اخیر چاهک‌های مشاهده‌ای و نیز اندازه‌گیری شوری آب برخی از چاه‌ها در سطح شبکه، مقدار شوری آب زیرزمینی در این چاه‌ها در دامنه ۱/۱ تا ۱۷/۲ دسی زمینس بر متر متغیر بوده است. حداکثر شوری آب زیرزمینی مربوط به واحد آبیاری ۴ می‌باشد.

#### اقلیم منطقه و بارندگی مؤثر

براساس آمار بلند مدت ایستگاه هواشناسی کبوترآباد، اقلیم منطقه براساس تقسیم بندی‌های اقلیمی دومارتن، آمبرژه و گوسن به ترتیب در ناحیه خشک، خشک سرد و نیمه بیابانی شدید قرار گرفته است. نوع اقلیم منطقه، خشک گرم با زمستان‌های نسبتاً سرد پیشنهاد شده است. براساس آمار ایستگاه کبوترآباد، متوسط بارندگی در سطح شبکه ۱۰۷/۹ میلی‌متر می‌باشد. باران مؤثر براساس رابطه پیشنهادی ASCE (1990)، تابعی از مقدار بارندگی و نیاز آبی گیاه در دوره مورد نظر می‌باشد. باران مؤثر با استفاده از رابطه (۹) محاسبه گردید:

$$P_e = (1.253P_t^{0.8242} - 2.935) \times 10^{ET_c \times 0.00095} \quad (9)$$

در رابطه فوق:  $P_e$  باران مؤثر،  $P_t$  متوسط بارندگی ماهانه قابل اطمینان<sup>۱</sup> و  $ET_c$  نیاز آبی گیاه در ماه مورد نظر بوده و همه واحدها بر حسب میلی‌متر می‌باشد. با محاسبه بارندگی مؤثر محصولات، این عدد طی ماه‌های خرداد تا مهر صفر بوده و برای سایر ماه‌های سال و محصولات مختلف، حداقل آن مربوط به صیفی‌جات در ماه آبان با مقدار ۲/۶ و حداکثر آن در اسفند ماه و برای محصول جو با مقدار ۸/۴ میلی‌متر می‌باشد.

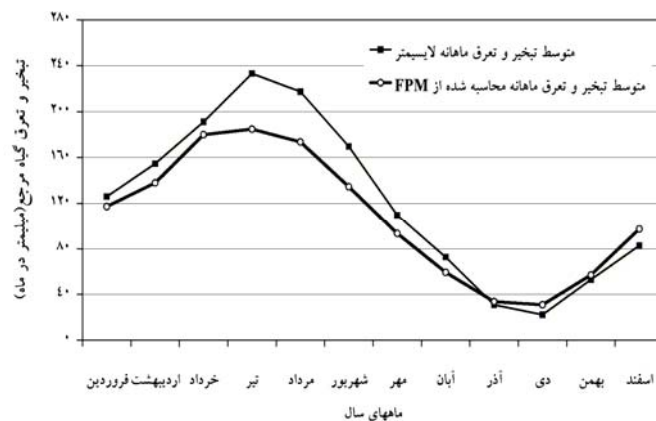
#### نتایج و بحث

##### نیاز آبی محصولات (تقاضا)

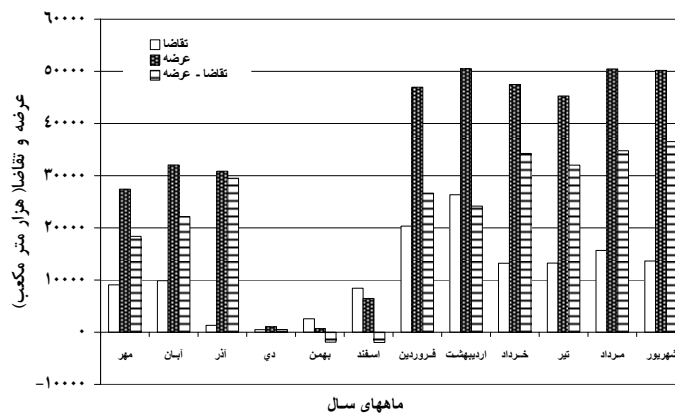
متوسط ماهانه تبخیر و تعرق گیاه مرجع حاصل از لایسیمتر طی ۸

۱- بارندگی ماهانه قابل اطمینان عبارت است از متوسط بارندگی ماهانه ضرب در بارندگی سالانه با احتمال ۸۰٪ تقسیم بر بارندگی سالانه.

2- Over estimation  
3- Under estimation



شکل ۲- مقایسه میانگین ۸ ساله تبخیر و تعرق لایسیمتری و روش FPM برای گیاه مرجع



شکل ۳- عرضه و تقاضا شبکه در ماه‌های مختلف سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵

می‌باشد. براساس نیاز آبی و بارندگی مؤثر هر یک از محصولات طی ماه‌های مختلف سال، میزان تقاضا در کل شبکه برای دو سال زراعی ۱۳۴/۳۰ و ۱۱۲/۷۰ میلیون متر مکعب برآورد گردید. شکل ۳ عرضه، تقاضا و اختلاف بین عرضه و تقاضا را در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ نشان می‌دهد. بر اساس نمودار شکل ۳ ملاحظه می‌شود که مقدار آب تحویلی با مقدار تقاضا طی ماه‌های سال انطباق نداشته که ناشی از تحویل کمتر از نیاز در برخی از ماه‌ها و عرضه آب مازاد بر نیاز در برخی دیگر از ماه‌ها می‌باشد. حداکثر اختلاف بین عرضه و تقاضا مربوط به شهریور بوده که میزان عرضه حدود ۳۶/۵ میلیون متر مکعب بیشتر از میزان تقاضا می‌باشد. براساس مقادیر عرضه و تقاضا، راندمان آبیاری شبکه در این ماه ۲۷٪ برآورد گردید.

در ماه‌های بهمن و اسفند میزان عرضه از تقاضا کمتر بوده و مطابق شکل ۳ اختلاف بین آنها مقدار منفی داشته است. بدون لحاظ کردن ماه‌های بهمن و اسفند، حداکثر راندمان آبیاری شبکه در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ مربوط به ماه اردیبهشت بوده که مقدار آن ۵۲٪ محاسبه گردید. برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، حداقل و حداکثر راندمان آبیاری شبکه به ترتیب مربوط به ماه‌های مهر و اردیبهشت با مقادیر

در جدول ۲ نیاز آبی محصولات عمده شبکه برای سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ طی ماه‌های مختلف سال ارائه گردیده است. ارقام جدول ۲ بدون در نظر گرفتن نیاز آبی آبیاری اول (خاک آب) و بارندگی مؤثر هر محصول می‌باشد. براساس تقویم زراعی، الگو و تراکم کشت محصولات در هر واحد آبیاری، طی سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ نیاز آبی طی دوره‌های ماهانه و بر مبنای روابط (۱۰) و (۱۱) در هر واحد آبیاری محاسبه گردید.

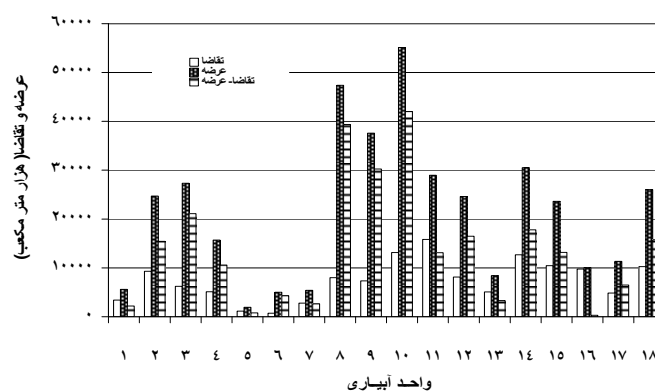
### عرضه و تقاضای آب در شبکه

مجموع حجم آب انحرافی و برداشت آب زیرزمینی در هر واحد آبیاری برای سال‌های زراعی مورد نظر به عنوان میزان عرضه محاسبه گردید. براساس آمار الگو و تراکم کشت در هر واحد آبیاری، نیاز آبی و بارندگی مؤثر محصولات، مقدار تقاضا در هر واحد آبیاری در ماه‌های مختلف سال‌های زراعی مورد نظر محاسبه شد. برای سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ میزان عرضه در کل شبکه به ترتیب ۳۸۹/۴ و ۳۳۷/۳ میلیون متر مکعب می‌باشد که سهم آب زیرزمینی و انحرافی از محل سد در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ به ترتیب ۷۸/۳ و ۲۱/۷ درصد و در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶، ۹۰/۱ و ۹/۹ درصد

۲۲ و ۵۸٪ می‌باشد. به منظور بررسی نحوه توزیع مکانی آب در شبکه، عرضه و تقاضا در هر کدام از واحدهای آبیاری محاسبه گردید. نتایج نشان داد که نحوه توزیع مکانی آب در شبکه نامناسب می‌باشد. این اختلاف در نحوه توزیع آب در شکل ۴ نمایان می‌باشد. مقدار عرضه همه واحدهای آبیاری بیشتر و یا مساوی تقاضا می‌باشد. هر چه این اختلاف بزرگتر شود، بازده بهره‌وری آب در آن واحد اصولاً باید کمتر شود.

ارزیابی عملکرد شبکه‌های آبیاری است. با توجه به شوری آب آبیاری در برخی از واحدهای آبیاری، عملکرد واقعی محصولات در هر واحد آبیاری متغیر می‌باشد. براساس عملکرد و سطح زیر کشت محصولات در هر واحد، عملکرد کل شبکه برای دو سال زراعی ذکر شده بدست آمد. متوسط  $WP_{HP}$  برای دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب ۱/۲۹ و ۱/۰۷ کیلوگرم بر متر مکعب در کل شبکه محاسبه گردید. به علت مشخص نبودن آب مصرفی در محصولات مختلف، استفاده از مجموع وزنی عملکرد محصولات تر (سیب‌زمینی، پیاز، شنبدر، هندوانه و ...) و خشک (گندم، جو، برنج و ...) موجب افزایش رقم مربوط به بهره‌وری آب می‌شود.

بهره‌وری آب در شبکه عرضه نسبی آب آبیاری و بهره‌وری آب از شاخص‌های مهم در



(شکل ۴) - عرضه و تقاضا در واحدهای آبیاری در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵

(جدول ۱) - مشخصات واحدهای آبیاری شبکه سمت راست آبشار (شوری آب و خاک برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد)

شماره واحد	نام واحد آبیاری	بافت خاک	نوع منبع آب	شوری آب چاه‌ها	کلاس شوری خاک*
۱	ردان، فیزادان، دنارت، کنشاران، فودان، بیادان	CL	کانال و چاه	۱/۴-۳/۱	S0
۲	اشکاوند، راشان، چیریان، بیشه، صحرا	CL	کانال و چاه	۱/۴-۱/۸	S0
۳	اصفهانک	CL	کانال و چاه	۱/۳-۱۰/۳	S2
۴	مرغ	LS	کانال و چاه	۳/۷-۱۳/۸	S2
۵	قلعه شور	LS	چاه	۲/۶-۴/۸	S1
۶	کیچی	CL	چاه	۲/۹-۴/۸	S2
۷	کشت و صنعت فکا	CL	کانال و چاه	۲-۴/۱	S0
۸	حیدرآباد، صادق آباد، کبجوان	CL	کانال و چاه	۱/۴-۲/۶	S0
۹	دشتی	CL	کانال و چاه	۱/۴-۵/۱	S1
۱۰	کبوترآباد، شیدان، هرمزآباد، زعمار	CL	کانال و چاه	۴/۴-۶/۴	S0
۱۱	یفران، جار، گلستانه، هرمدان، اسفرانچی، ایچی، عباس آباد	CL	کانال و چاه	۳-۶/۳	S0
۱۲	روران	CL	کانال و چاه	۵/۵-۶/۲	S0
۱۳	رحیم آباد	CL	کانال و چاه	۴/۸-۵/۹	S1
۱۴	اندلان، گروه، لیان، ازبران	CL	کانال و چاه	۳/۴-۶/۱	S0
۱۵	ازوار، پرکان، پیله وران، کلارتان	CL	کانال و چاه	۳/۲-۶/۳	S0
۱۶	مهدی آباد	CL	کانال و چاه	۳-۵/۹	S0
۱۷	چم	CL	کانال و چاه	۴/۳-۷/۳	S0
۱۸	زیار	CL	کانال و چاه	۳/۲-۶/۳	S1

\*  $S_0: EC_e \leq 4$ ،  $S_1: 4 \leq EC_e \leq 8$  و  $S_2: 8 \leq EC_e \leq 16$  (شوری عصاره اشباع خاک می‌باشد)

(جدول ۲) - نیاز آبی محصولات عمده شبکه در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در ماه‌های مختلف (میلیمتر)\*

محصول	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مجموع	باران مؤثر
گندم	۰	۷/۲	۱۳	۸/۹	۲۳/۵	۷۸/۸	۱۶۸/۷	۲۱۱/۲	۴۰/۱	۰	۰	۰	۵۵۱/۳	۳۲/۶
جو	۰	۲۲/۸	۱۳	۱۰/۳	۴۲/۳	۸۴/۴	۱۶۸/۷	۱۶۹/۸	۰	۰	۰	۰	۵۱۱/۲	۳۳/۷
یونجه	۱۱۳/۵	۶۸/۳	۰	۰	۰	۰	۱۴۰/۶	۱۸۳/۸	۲۲۲/۲	۲۴۱/۴	۲۰۸	۱۶۵/۴	۱۳۴۳	۱۶
ذرت علوفه‌ای	۱۲۱/۱	۲۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۷	۲۰۳/۳	۱۸۹	۶۵۳/۴	۱/۶
چغندر قند	۱۱۲/۵	۴۱/۱	۰	۰	۰	۰	۲۷/۱	۱۰۰/۶	۱۸۹/۱	۲۴۲/۱	۲۱۷/۹	۱۷۲/۷	۱۱۰۶/۱	۱۱/۶
پنبه	۱۳۵/۲	۴۴/۵	۰	۰	۰	۰	۰	۸۰/۲	۱۳۱	۲۱۰/۹	۲۴۰/۶	۱۹۴/۲	۱۰۳۶/۶	۳/۳
برنج	۱۱۸/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴	۲۴۶	۲۹۶/۶	۲۹۶/۲	۲۴۸/۵	۱۲۲۶/۷	۴
آفتابگردان	۸۱/۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۲/۲	۲۰۶	۱۸۴	۵۷۴/۱	۰/۷
سیب‌زمینی	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲/۳	۹۴/۵	۲۰۸/۹	۲۴۷/۹	۱۴۰	۰	۰	۷۰۳/۶	۱۴
پیاز	۲۰/۵	۴۱/۷	۳۳/۶	۲۶/۶	۴۵/۷	۷۳/۹	۱۴۷/۶	۱۸۱/۷	۱۸۴/۶	۰	۰	۰	۷۵۵/۹	۳۴/۷
ذرت دانه‌ای	۵۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۸/۳	۹۹/۲	۱۸۵/۶	۲۴۰/۳	۱۹۵/۵	۸۰۵/۹	۱/۵
طالبی	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۶۴	۱۳۵	۲۰۵/۳	۲۰۷/۶	۹۰/۵	۷۲۰/۴	۴
هندوانه	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۳	۸۵/۶	۱۸۰	۲۱۶/۵	۱۱۰/۴	۰	۶۱۵/۵	۴/۱
گوجه	۵۵/۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷/۵	۱۰۰/۴	۲۰۳/۱	۲۳۱/۴	۱۷۹/۲	۷۹۶/۸	۲
بادمجان	۶۵/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵/۶	۹۰/۲	۱۶۹/۷	۲۱۵/۶	۱۷۶/۴	۷۴۲/۹	۱/۹
خیار	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۶	۱۳۰	۱۷۴/۸	۴۱/۵	۰	۰	۴۱۲/۳	۳/۵

\* نیاز آبی برنج شامل مرحله خزانه، اشباع نمودن خاک در مرحله آماده سازی زمین و ۵۰ میلیمتر به عنوان غرقاب و نیز در نظر گرفتن ۲ میلیمتر در روز به عنوان نفوذ عمقی می‌باشد.

در جداول ۳ و ۴ مقادیر  $WP_{I+P}$ ،  $WP_{NE}$ ،  $WP_E$  و کارایی مصرف آب براساس محصول پایه گندم ( $WP_W$ ) برای هر کدام از واحدهای آبیاری در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ ارائه شده است. سهم هر واحد آبیاری در بهره‌وری آب روندی بسیار متغیر داشته که از عمده‌ترین دلایل آن می‌توان به نامناسب بودن تخصیص زمانی و مکانی آب آبیاری و نیز شوری آب آبیاری در برخی از واحدها اشاره نمود. متوسط مقادیر  $WP_{I+P}$ ،  $WP_{NE}$ ،  $WP_E$  و  $WP_W$  در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ در سطح شبکه به ترتیب برابر ۱۰۶۰/۸ و ۴۱۹/۶ ریال بر متر مکعب و ۱/۲۹ و ۰/۵۵ کیلوگرم بر متر مکعب و برای سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب ۲۳۹۲/۹ و ۶۶۶/۷ ریال بر متر مکعب و ۱/۰۷ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه شد. با اینکه متوسط  $WP_{I+P}$  شبکه در سال دوم نسبت به سال اول کاهش داشته ولی متوسط  $WP_W$  از ۰/۵۵ در سال اول به ۰/۷۷ در سال دوم رسیده است که مهمترین دلیل آن کاهش عرضه آب در سال زراعی دوم به دلیل خشکسالی و افزایش ۴۰ درصدی قیمت گندم می‌باشد. بیشترین کارایی مصرف آب از نظر میزان عملکرد قابل فروش در بازار در هر دو سال زراعی مربوط به واحد ۱۶ و از نظر ارزش عملکرد مربوط به واحد آبیاری ۱ می‌باشد. ارقام این شاخص‌ها برای هر واحد آبیاری در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است.

لذا به منظور امکان مقایسه نتایج حاصل با نتایج تحقیقات در سایر کشورها، دو روش مد نظر قرار گرفت. روش اول عملکرد کلیه محصولات براساس قیمت فروش، به یک محصول تبدیل شد. محصول پایه گندم در نظر گرفته شد و عملکرد کلیه محصولات براساس محصول پایه تعیین شد. در روش دوم بجای عملکرد، ارزش عملکرد محصول به آب مصرفی (شاخص  $WP_E$  یا  $WP_{NE}$ ) در نظر گرفته شد. مقدار بهره‌وری آب براساس محصول پایه در دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب ۰/۵۵ و ۰/۷۷ کیلوگرم بر متر مکعب در کل شبکه بدست آمد. برای محاسبه شاخص  $WP_E$  و  $WP_{NE}$  نیاز به پارامترهای عملکرد واقعی محصولات، هزینه‌های تولید و قیمت فروش محصولات بود که از طریق پرسشنامه بدست آمد. هزینه‌های تولید برای هر کدام از محصولات متغیر بوده و عبارتند از: هزینه آماده سازی زمین شامل هزینه شخم، دیسک، تسطیح نسبی، کرت بندی، نهرکشی و فاروژنی؛ هزینه کاشت شامل هزینه‌های بذر، بوجاری و ضدعفونی بذر، تهیه خزانه و نشاء، بذرپاشی، بذرکاری و یا نشاکاری؛ هزینه‌های داشت شامل هزینه‌های آب بهاء، آبیاری، کود و حمل آن، کودپاشی، تنک کردن، سله شکنی، سموم و سمپاشی و در نهایت هزینه‌های مربوط به برداشت هر محصول و انتقال به بازار مصرف. البته همه موارد هزینه‌ها ممکن است که برای برخی محصولات وجود نداشته باشد.



(جدول ۳) - مقادیر  $WP_E^*$ ،  $WP_{NE}^*$ ،  $WP_{I+P}^{**}$  و  $WP_W^{**}$  در هر واحد آبیاری در سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵

واحد آبیاری	$WP_{NE}$	$WP_E$	$WP_{I+P}$	$WP_W$
۱	۱۲۷۱/۲	۲۴۳۵/۱	۲/۳۶	۱/۰۸
۲	۴۵۲/۷	۱۴۸۹/۸	۱/۴۷	۰/۶۶
۳	۲۸۵/۴	۶۹۹/۳	۰/۸۸	۰/۳۱
۴	۴۴۷/۴	۶۴۸/۱	۰/۸۰	۰/۳۹
۵	۷۲۲/۳	۱۰۴۱/۰	۰/۳۹	۰/۴۶
۶	۱۸۹/۲	۲۳۸/۴	۰/۲۴	۰/۱۱
۷	۶۵۳/۷	۶۶۶/۱	۰/۵۹	۰/۳۰
۸	۱۹۲/۷	۵۸۷/۱	۰/۶۳	۰/۲۶
۹	۲۳۵/۶	۶۲۱/۰	۰/۷۱	۰/۲۸
۱۰	۲۷۶/۹	۷۲۷/۶	۰/۹۲	۰/۳۲
۱۱	۶۱۲/۹	۱۹۵۴/۵	۲/۴۸	۰/۸۷
۱۲	۳۸۶/۱	۸۱۳/۵	۱/۲۳	۰/۳۶
۱۳	۸۳۱/۶	۱۳۳۱/۹	۱/۶۷	۰/۵۹
۱۴	۵۱۳/۱	۱۲۲۲/۹	۱/۶۵	۰/۵۴
۱۵	۴۵۳/۵	۱۳۸۶/۹	۱/۳۲	۰/۶۲
۱۶	۱۱۹۰/۲	۲۹۶۱/۸	۴/۵۸	۱/۳۲
۱۷	۵۲۵/۱	۱۴۳۲/۸	۱/۸۳	۰/۶۴
۱۸	۴۸۲/۳	۱۱۹۹/۷	۱/۴۹	۰/۵۳

(جدول ۴) - مقادیر  $WP_E^*$ ،  $WP_{NE}^*$ ،  $WP_{I+P}^{**}$  و  $WP_W^{**}$  در هر واحد آبیاری در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶

واحد آبیاری	$WP_{NE}$	$WP_E$	$WP_{I+P}$	$WP_W$
۱	۴۴۲۶/۷	۵۸۹۴/۰	۲/۳۰	۱/۹۰
۲	۳۵۰/۷	۳۰۷۷/۶	۱/۱۷	۰/۹۹
۳	۲۵۶/۹	۲۲۸۶/۲	۰/۷۸	۰/۷۴
۴	۳۹۸/۹	۲۰۸۲/۹	۰/۷۰	۰/۶۷
۵	۵۳۸/۵	۱۳۷۰/۹	۰/۲۹	۰/۴۴
۶	۱۴۲/۷	۶۲۷/۸	۰/۲۱	۰/۲۰
۷	۷۵۱/۲	۱۶۸۲/۳	۰/۵۵	۰/۵۴
۸	۱۵۳/۱	۱۳۴۲/۸	۰/۴۷	۰/۴۳
۹	۱۸۹/۴	۱۶۹۲/۹	۰/۵۷	۰/۵۵
۱۰	۲۱۱/۵	۱۵۰۰/۲	۰/۵۲	۰/۴۸
۱۱	۴۱۷/۵	۳۷۸۲/۱	۱/۳۶	۱/۲۲
۱۲	۲۹۱/۳	۲۰۹۴/۸	۰/۷۰	۰/۶۷
۱۳	۸۶۲/۶	۳۷۶۳/۸	۱/۲۴	۱/۲۱
۱۴	۴۰۹/۳	۲۹۱۱/۷	۰/۹۷	۰/۹۴
۱۵	۳۰۶/۱	۲۲۱۱/۹	۰/۷۲	۰/۷۱
۱۶	۱۴۵۵/۱	۱۱۸۴۷/۳	۴/۰۱	۳/۸۲
۱۷	۵۰۹/۳	۳۶۸۰/۰	۱/۲۶	۱/۱۹
۱۸	۳۲۹/۱	۲۲۳۱/۱	۰/۷۴	۰/۷۲

\* و \*\* به ترتیب بر حسب ریال بر متر مکعب و کیلوگرم بر متر مکعب آب مصرفی می‌باشند.

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان که امکان انجام تحقیق را میسر نمودند و همچنین گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران بخاطر تأمین هزینه‌های طرح، تشکر و قدردانی می‌شود.

## مراجع

- احسانی، م. و خالدی، ه. (۱۳۸۲)، بهره‌وری آب کشاورزی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- اکبری، م.، میرلطیفی، م.، مرید، س. و دروگرز، پ. (۱۳۸۲). کاربرد سنجش از دور در برآورد سودمندی آب در شبکه‌های آبیاری. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۴، شماره ۱۷، ص. ۸۲-۶۵
- بی‌نام. (۱۳۸۷)، گزارش نهایی آمار چاه‌های شهرستان اصفهان. بخش مطالعات آب‌های زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان.
- ستار، م. (۱۳۷۷)، تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع. گزارش نهایی، مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- ستار، م. (۱۳۷۷)، تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل گندم. گزارش نهایی، مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- ستار، م. (۱۳۷۹)، تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل جو. گزارش نهایی، مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- عقدایی، م. (۱۳۷۸)، تعیین تبخیر و تعرق پتانسیل یونجه. گزارش نهایی، مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان.
- مأمّن‌پوش، ع. ر. و میران زاده، م. (۱۳۸۵)، عرضه و تقاضا در شبکه‌های عمده آبیاری زاینده‌رود. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- میران زاده، م. و مأمّن‌پوش، ع. ر. (۱۳۸۵)، برآورد برداشت آب زیرزمینی در محدوده شبکه‌های مدرن عمده در استان اصفهان. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., (1998), Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.
- ASCE, Manual and reports on engineering practice, (1990), Evapotranspiration and irrigation water requirement. No. 70.
- Kijne, J., Barker, R. and Molden, D., (2003), Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement. Comprehensive assessment of Water Management in Agriculture, Series No. 1, CABI press, Wallingford, UK, 352 p.
- Salemi, H.R., Mamanpoush, A., Miranzadeh, M., Akbari, M., Torabi, M., Toomanian, N., Murray-Rust, H., Droogers, P., Sally, H. and Gieske, A.,

براساس شاخص محصول پایه گندم، حداقل  $WP_w$  در دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ مربوط به واحد آبیاری ۶ می‌باشد. مقدار  $WP_w$  برای این دو سال به ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. در این واحد آب زیرزمینی تنها منبع آب آبیاری بوده و دلیل عمده پایین بودن شاخص‌های بهره‌وری در این واحد، مربوط به شوری آب چاه‌ها می‌باشد. با اینکه حداکثر شوری آب زیرزمینی مربوط به واحد آبیاری ۴ می‌باشد، اما مقادیر کمی شاخص‌های بهره‌وری این واحد نسبتاً در حد واسط قرار داشته که دلیل آن استفاده قابل توجه این واحد از آب کانال می‌باشد.

می‌توان نتیجه گرفت که از دلایل نوسانات شدید شاخص‌های بهره‌وری، علاوه بر محدودیت شوری، عرضه نامناسب آب در واحدهای آبیاری می‌باشد که برای ارتقای آن در نظر گرفتن توزیع متناسب با تقاضا از اهمیت زیادی برخوردار است.

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای شبکه آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار اصفهان براساس داده‌های طولانی مدت لایسیمتر، رابطه FPM و اسنجی و نیاز آبی محصولات طی سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ محاسبه گردید. با برآورد میزان آب تحویلی به شبکه و برداشت آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف سال، عرضه و تقاضا در واحدهای آبیاری محاسبه گردید. در تحقیقات صورت گرفته پیشین (از جمله اکبری و همکاران، ۱۳۸۲) به آب زیرزمینی به عنوان یک پتانسیل آب توجه نشده است؛ در حالی که این تحقیق نشان داد آب زیرزمینی نقش عمده در پتانسیل آبی شبکه دارد. براساس عرضه و تقاضا، متوسط عرضه نسبی آب (نسبت عرضه به تقاضا) برای سال‌های زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ به ترتیب ۲/۹ و ۳/۰ برآورد گردید. در تحقیقات مأمّن‌پوش و همکاران (۱۳۸۵) این رقم حدود ۲/۴ بدست آمده بود. به طور کلی از مهمترین عوامل پایین بودن بهره‌وری آب در این شبکه عبارتند از: منطبق نبودن مکانی و زمانی عرضه و تقاضا در شبکه، شوری آب آبیاری و متناسب نبودن الگوی کشت هر واحد براساس شوری. علت بیشتر بودن عرضه از تقاضا عمدتاً ناشی از برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی و نیز در نظر نگرفتن عرضه آب سطحی بدون توجه به برداشت آب زیرزمینی در واحدهای آبیاری می‌باشد.

## تقدیر و تشکر

بدین وسیله از همکاری‌های دفتر مطالعات آب‌های زیرزمینی شرکت آب منطقه‌ای اصفهان، شرکت بهره‌برداری از شبکه آبشار،

- Water Manag. Vol 95, 89-102.
- Zwart, J. S. and Bastiaanssen, G.M. (2004), Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agric. Water Manag.*, Vol 69, 115–133.
- (2000), Water Management for Sustainable Irrigated Agriculture in the Zayandehrud Basin, Esfahan Province, IWMI-IAERI, Iran.
- Tuong, T.P., (1999), Productive water use in rice production: opportunities and limitations. *J. Crop Prod.* 2, 241–264.
- Vazifedoust, M., van Dam, J.C., Feddes, R.A. and Feizi, M. (2008), Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. *Agri.*

تاریخ دریافت: ۸۷/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۱۷

## Assessing irrigation water supply and demand and estimation of crop water productivity in the Zayandehrud Basin (Case study: Abshar Right Irrigation Network)

V. R. Verdinejad<sup>1</sup>, T. Sohrabi<sup>2</sup>, N. Heydari<sup>3\*</sup>, SH. Araghinejad<sup>4</sup> and A. R. Mamanpoush<sup>5</sup>

### Abstract

In order to assess water supply and demand, water allocation and crop water productivity, Abshar Right Irrigation Network in Zayandehrud basin, Esfahan province, was divided into eighteen units. The criteria for this division were soil salinity, type of water resources (ground or surface water), and ground water (wells) salinity. The criteria were divided in the *GIS* environment based on their informational layers. Based on long time lysimeter data of reference crop in Kaboutar Abad Research Station, FAO Penman-Monteith method was calibrated and then was used to estimate crop water use for the existing cropping pattern. Irrigation water supply and demand for each irrigation unit during different months of the year was determined through effective rainfall, crop water use, the amount of water delivered to the each irrigation unit, the rate of ground water withdrawal, cropping pattern and intensity. Crop water productivity was calculated for 1385-86 and 1386-87 periods. In this study, average crop water productivity was determined to be 1.29 and 1.07 kg m<sup>-3</sup>, respectively, for 1385-86 and 1386-87 periods. Average crop water productivity based on wheat for the above mentioned periods was determined to be 0.55 and 0.77 kg m<sup>-3</sup>, respectively. Based on water and agricultural products costs and price of crop selling, average crop benefit and net benefit water productivity for 1385-86 period was determined to be 1060.8 and 419.6 Rials m<sup>-3</sup>, and for 1386-87 period, was 2392.9 and 666.7 Rials m<sup>-3</sup>, respectively. Further analysis of these indexes indicated that water supply and demand in different months of the year and spatial distribution of supply to irrigation units was not appropriate.

**Keywords:** Water Productivity, Evapotranspiration, Irrigation water supply and demand, Irrigation management, Abshar Right Irrigation Network

1- Ph. D. Candidate of Irrigation and Drainage, Dept. of Irrigation and Reclamation Eng., University of Tehran

2,4- Professor and assistant professor, Dept. of Irrigation and Reclamation Eng., University of Tehran

3- Assistant research professor Iranian Agricultural Engineering Research Institute

(\*-Corresponding author Email: nrheydari@yahoo.com)

5- Researcher, Esfahan Agricultural and Natural Resources Research Center