تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ (ص ۱۷۷-۱۶۷)

پتانسیل‌یابی اراضی دیم و تخصیص بهینهٔ آب بین اراضی آبی و دیم (مطالعهٔ موردی: دشت قزوین)

هادی رمضانی اعتدالی[۱]، عبدالمجید لیاقت*[۲]، مسعود پارسی‌نژاد[۳]، علی‌رضا توکلی[۴]، بهنام آبابایی[۵]

۱. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی قزوین

۲. استاد دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. دانشیار دانشکدهٔ مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. استادیار مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی شاهرود استان سمنان

۵. دکتری تخصصی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۹ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۹)

چکیده

برای آبیاری تکمیلی در اراضی دیم توجه به شرایط طبیعی این اراضی و تأمین آب ضروری است. هدف این مطالعه پتانسیل‌یابی اراضی دیم دشت قزوین برای آبیاری تکمیلی و تخصیص بهینهٔ منابع آب بین اراضی دیم و فاریاب است. فرض شد سطح زیر کشت آبی و دیم محصولات مختلف و همچنین کل حجم آب در دسترس در هر دهه بدون تغییر باقی خواهد ماند. نتایج مدل بهینه‌سازی نشان داد میزان افزایش سود خالص با مدیریت جدید تخصیص آب در صورت انتقال آب تا فواصل ۲، ۴، ۶، ۸، و ۱۰ کیلومتری به‌ترتیب ۱۱٫۲، ۱۳٫۵، ۱۹٫۲، ۱۶٫۶، و ۱۵٫۸ درصد است. همچنین جو یگانه گزینه برای کم‌آبیاری در اراضی شبکه است. میزان کم‌آبیاری در مزارع جو ۲۰ میلی‌متر در دههٔ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر در دههٔ سوم اردیبهشت تعیین شد. همچنین عدس به دلیل ارزش اقتصادی بیشتر گزینهٔ برتر برای آبیاری تکمیلی انتخاب شد. در دههٔ اول خرداد آبیاری تکمیلی به میزان ۷۵ میلی‌متر بهترین تیمار در منطقه تعیین شد که عملکرد عدس را از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار افزایش داد.

کلیدواژگان: آبیاری تکمیلی، کم‌آبیاری، مدل بهینه‌سازی.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت و نیاز بشر به مواد غذایی و محدودیت منابع آب و خاک به منظور تولید مواد غذایی لزوم و اهمیت بیش از پیش توسعهٔ تولیدات کشاورزی را نشان می‌دهد (Postel, 1998). هم‌اکنون بیش از ۸۵ درصد مصرف آب دنیا در بخش کشاورزی است که با افزایش تقاضا برای مصارف آب شهری و صنعتی سهم تخصیص‌یافتهٔ آب به این بخش به‌سرعت رو به کاهش است (Van Schilfgaarde, 1994; Kirda, 2004). بنابراین مدیریت مناسب آب موجود در بخش کشاورزی ضروری است. یکی از راهکارهای مناسب اعمال کم‌آبیاری در اراضی آبی موجود و گسترش سطح زیر کشت است. همچنین حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی در جهان به صورت دیم کشت می‌شوند که حدود ۷۰ درصد نیاز غذایی بشر را تأمین می‌کنند. با توجه به افزایش بی‌رویهٔ جمعیت و نیاز به تولید غذای بیشتر، افزایش تولید در اراضی دیم ضروری است.

البته با توجه به پراکنش نامناسب بارش در سال‌های اخیر، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، مدیریت تأمین آب در شرایط بحرانی برای این اراضی در اولویت‌های تحقیقاتی و پژوهشی قرار گرفته است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داد یک یا دو آبیاری در زمان‌های حساس قادر است عملکرد اراضی دیم را به‌شدت افزایش دهد (Tavakkoli, 2010). هرچند امروزه به تک‌آبیاری، آبیاری محدود، و آبیاری تکمیلی به منظور ارتقای عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در زراعت دیم توجه شده است (Harmsen, 1984; Zhang and Oweis, 1999; Gorji, 2004; Tavakkoli and Oweis, 2004; Tavakkoli *et al*., 2005; Mousavi and Shakarami, 2008; Tavakkoli, 2010)، موضوع تأمین آب با توجه به محدودیت‌های موجود چالشی است که در بخش آب وجود دارد. به همین علت مدیریت تخصیص بهینهٔ منابع آب بین اراضی دیم و فاریاب با توجه به شاخص‌های سود و زیان ضروری است. از طرف دیگر در زمینهٔ ارائهٔ راهکارهای تأمین آب در اراضی دیم توجه به ویژگی‌های خاص این اراضی، از قبیل شیب و عدم دسترسی به منابع آب، ضروری است. بنابراین باید به مسائلی از قبیل هزینهٔ

* نویسندهٔ مسئول: aliaghat@ut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

آماده‌سازی اراضی، انتقال آب، و تأمین انرژی توجه شود. در یکی از معدود مطالعات انجام‌گرفته در حوضهٔ کرخه مشخص شد فقط حدود ۳۱/۴ درصد مزارع دیم، که در مجاورت مزارع آبی قرار دارند، پتانسیل آبیاری تکمیلی را دارند. همچنین ۴۶/۵ درصد مزارع دیم، که به فاصلهٔ کمتر از ۱۰۰۰ متر از رودخانه‌های منطقه واقع شده‌اند، امکان آبیاری تکمیلی دارند (Tavakkoli *et al.*, 2011)

متناسب با کاهش سهم آب و اعمال کم‌آبیاری در اراضی آبی، کاهش عملکرد در این اراضی رخ خواهد داد. بنابراین مدیریت کاهش عملکرد متناظر با مقادیر مختلف کم‌آبیاری و کاهش درآمد ناشی از این کاهش عملکرد ضروری به‌نظر می‌رسد.

هدف از این مطالعه پتانسیل‌یابی اراضی دیم دشت قزوین و استفاده از آب صرفه‌جویی‌شده از طریق کم‌آبیاری در کشت آبی و تخصیص آن به منظور تأمین بخشی از نیاز آبی کشت دیم با درنظرداشتن زمان و میزان اعمال کم‌آبیاری با زمان و میزان اعمال آبیاری تکمیلی است. با توجه به اینکه در بسیاری از مناطقْ اراضی آبی و دیم در مجاورت هم قرار دارند، در این تحقیق میزان آبیاری تکمیلی در اراضی دیم و تأثیر آن بر سود خالص بهینه در نظر گرفته می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ مطالعه‌شدهٔ دشت قزوین در محدودهٔ جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۰ دقیقهٔ طول شرقی است که از قطب‌های مهم کشاورزی در شمال‌غربی ایران به‌شمار می‌رود. محدودهٔ مطالعاتی، مزارع آبی و دیم فراوانی دارد و آمار و اطلاعات دقیقی از آن در بخش‌های مختلف در اختیار است. گندم، جو، ذرت، و گوجه‌فرنگی محصولات غالب زراعت آبی و گندم، جو، عدس، و نخود محصولات غالب زراعت دیم‌اند. مساحت کل شبکهٔ آبیاری دشت قزوین ۸۵۰۰۰ هکتار است که سالیانه حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد آن اراضی آیش‌اند. بنابراین، می‌توان سطح کشت واقعی سالیانه در شبکه را حدود ۶۵۰۰۰ هکتار درنظر گرفت. بر اساس میانگین سطح زیر کشت محصولات مطالعه‌شده در سال‌های اخیر سطح زیر کشت آبی محصولات گندم، جو، ذرت، و گوجه‌فرنگی به‌ترتیب حدود ۲۷۲۰۰، ۸۵۰۰، ۶۸۰۰، و ۴۲۵۰ هکتار است. همچنین بر اساس آمار پنج‌ساله میانگین درصد سطح زیر کشت محصولات دیم منطقه شامل گندم، جو، نخود، و عدس به‌ترتیب ۵۰، ۱۵، ۵، و ۳۰ درصد است.

پتانسیل‌یابی

برای آبیاری تکمیلی در اراضی دیم توجه به دو نکته ضروری است؛ اول، قابلیت آبیاری در این اراضی با توجه به توپوگرافی و شیب مزارع و دوم، دراختیارداشتن منابع آب در مجاورت این اراضی. بررسی پتانسیل اراضی دیم از نظر توپوگرافی و شیب جهت آبیاری تکمیلی گام نخست برای مدیریت آبی این اراضی است.

برای تهیه‌های نقشه‌های شیب منطقه از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده می‌شود تا مناطق مستعد دیم جهت آبیاری تکمیلی مشخص شود. برای آبیاری روش آبیاری بارانی ارابه‌ای پیشنهاد می‌شود. زیرا برای آبیاری تکمیلی در اراضی دیم باید از تجهیزات آبیاری قابل انتقال و با امکان جابه‌جایی سریع استفاده کرد و سطح تحت پوشش آبیاری نیز باید گسترده باشد. حداکثر شیب مناسب برای آبیاری ارابه‌ای ۱۲ درصد است (Hlavek, 1992). بنابراین حداکثر شیب اراضی دیم برای آبیاری تکمیلی ۱۲ درصد در نظر گرفته شد. همچنین، در پتانسیل‌یابی، بررسی دسترسی به منابع آب ضروری است. برای دسترسی به منابع آب، هزینه‌های انتقال آب برای آبیاری تکمیلی با توجه به فاصله از منبع آبْ معیار دسترسی درنظر گرفته شد. بهترین فاصله برای دسترسی بعد از بهینه‌سازی مشخص می‌شود.

با توجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت قزوین، مهم‌ترین منبع آب سطحی که امروز در این منطقه برای کشاورزی وجود دارد مخزن سد طالقان است.

تابع هدف

در این تحقیق برای تابع هدف از مفهوم سود خالص استفاده شد که در رابطهٔ ۱ می‌آید:

$$OF: \text{Maximize } NB = \Sigma_{i=1}^{n}\Sigma_{m=1}^{4}(B_{i,m} - C_{i,m}) \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

$$B_{i,m} = A_{i,m} \times Y_{i,m}(P_i + \alpha_i \times P_i')$$

$$C_{i,m} = A_{i,m} \times CC_i + A_{i,m} \times Y_{i,m} \times CW_i + A_{i,m} \times D_{i,m} \times 10 \times CW + A_{i,m} \times IN_{i,m} \times CI + A_{i,m} \times CT + A_{i,m} \times CP + A_{i,m} \times DC + A_{i,m} \times CE$$

در تابع هدف بالا درآمدها ($B_{i,m}$) شامل درآمد محصول اصلی و فرعی هر گیاه در مدیریت‌های مختلف آبیاری است. درآمد محصول اصلی هر گیاه از حاصل‌ضرب سطح زیر کشت هر گیاه در مدیریت‌های مختلف ($A_{i,m}$) در عملکرد محصول اصلی

Archive of SID

www.SID.ir

در واحد سطح همان گیاه و همان مدیریت ($Y_{i,m}$) در قیمت محصول اصلی هر گیاه (P_i) به‌دست می‌آید. درآمد محصول فرعی هر گیاه نیز از حاصل‌ضرب سطح زیر کشت هر گیاه در مدیریت‌های مختلف ($A_{i,m}$) در عملکرد محصول فرعی در واحد سطح همان گیاه و همان مدیریت ($\alpha_i \times Y_{i,m}$) در قیمت محصول فرعی هر گیاه (P_i') به‌دست می‌آید. α_i ضریبی است که میزان محصول فرعی نسبت به محصول اصلی را نشان می‌دهد. مقادیر آن برای گندم و جو ۱ و برای نخود و عدس حدود ۰/۵ است.

هزینه‌های هر محصول در هر مدیریت آبیاری ($C_{i,m}$) نیز شامل هزینه‌های ثابت در واحد سطح برای هر گیاه (CC_i) و هزینه‌های متغیر کشاورزی شامل هزینهٔ جمع‌آوری و انتقال هر محصول به مراکز فروش (CW_i) و هزینهٔ آب‌بها به‌ازای هر متر مکعب (CW) و هزینهٔ هر نوبت آبیاری بر هر هکتار (CI) است. همچنین هزینه‌های انتقال آب با لوله‌های پلی‌اتیلنی برای هر هکتار (CT)، هزینهٔ ایستگاه پمپاژ به‌ازای هر هکتار (CP)، هزینهٔ سیستم آبیاری برای هر هکتار (CS)، و هزینهٔ انرژی برای هر هکتار در هر نوبت آبیاری تکمیلی (CE) درنظر گرفته شد. در این تابع هدف i شمارشگر محصولات مختلف زراعی آبی و دیم و m شمارشگر نوع مدیریت آبیاری شامل آبیاری کامل، کم‌آبیاری، دیم، و آبیاری تکمیلی است. همچنین هزینه‌های خطوط انتقال آب، ایستگاه پمپاژ، سیستم آبیاری با توجه به عمر اقتصادی تجهیزات (n')، و نرخ بازگشت سرمایه (i') از طریق فرمول سری‌های یکنواخت به هزینهٔ سالیانه تبدیل خواهد شد. فرمول برگشت سرمایه (معادل یکنواخت سالیانه) به صورت رابطهٔ ۲ است:

$$A = P\left[(i'(1+i')^{n'}/(1+i')^{n'}-1)\right] = P(A/P,i',n') \qquad \text{(رابطهٔ ۲)}$$

A ارزش سالیانهٔ هزینه‌های ذکرشده و P هزینه‌های سرمایه‌گذاری در ابتدای دوره است.

با توجه به آنچه آمد، متغیرهای تصمیم در رابطهٔ فوق برای اراضی آبی، عمق آب مصرفی (میزان کم‌آبیاری)، و سطح اراضی با شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دورهٔ زمانی مشخص و در اراضی دیمْ عمق و زمان آب مصرفی برای آبیاری تکمیلی و سطح اراضی با شرایط دیم و آبیاری تکمیلی است.

قیود و محدودیت‌ها

محدودیت‌های زمین

مهم‌ترین محدودیت‌های زمین عبارت‌اند از:

در شرایط جدید مجموع سطح زیر کشت محصولات آبی، به صورت کامل یا کم‌آبیاری، برابر میانگین سطح کل اراضی آبی همان محصول در چند سال اخیر (AF_i) است. به عبارت دیگر، سطح زیر کشت محصولات آبی در شرایط کنونی و شرایط جدید تغییر نمی‌کند و فقط مدیریت آبیاری در آن‌ها بهبود می‌یابد.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{2} A_{i,m} = A \qquad \text{(رابطهٔ ۳)}$$

در شرایط جدید مجموع سطح زیر کشت هر محصول دیم که به صورت دیم باقی می‌ماند یا آبیاری تکمیلی می‌شود برابر میانگین سطح کل اراضی دیم همان محصول در چند سال اخیر (AR_i) است (رابطه ۴). به عبارت دیگر، سطح زیر کشت محصولات دیم در شرایط کنونی و شرایط جدید تغییر نمی‌کند و فقط در برخی از اراضی دیم آبیاری تکمیلی صورت می‌گیرد.

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=3}^{4} A_{i,m} = A \qquad \text{(رابطهٔ ۴)}$$

محدودیت‌های آب مصرفی

پتانسیل منابع تأمین آب آبیاری توسط شبکه برای محصولات مطالعه‌شده در هر دهه (۱۰ روز) از محدودیت‌های آب مصرفی است. به عبارت دیگر، حجم آب با توجه به نیاز آبی محصولات آبی مختلف در هر دهه در شرایط آبیاری کامل به آن‌ها اختصاص داده می‌شد. حال همان حجم در همان دهه برای آبیاری کامل، کم‌آبیاری، و آبیاری تکمیلی یا حداکثر تا ۴ دهه بعد به آبیاری تکمیلی در اراضی دیم اختصاص پیدا می‌کند.

$$\text{for } j=1:72 \quad [\sum_{i=1}^{n} AF_i \times 10 \times d_{j,i,1}/(E_i)] - \{[\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{4} A_{i,m} \times 10 \times d_{j,i,m}/(E_i)] + [\sum_{k=j+1}^{j+4}\sum_{i=1}^{n} A_{i,4} \times 10 \times d_{k,i,4}/(E_i)]\} \le 0 \qquad \text{(رابطهٔ ۵)}$$

در رابطهٔ ۵ حجم آب در اختیار در هر دهه در جملهٔ اول آمده است. در این جمله AF_i سطح زیر کشت هر محصول آبی بر حسب هکتار، $d_{j,i,1}$ عمق آب خالص برای آبیاری کامل در هر دهه (j) برای هر محصول (i) در شرایط مدیریت آبیاری کامل (m=1)، و E_i راندمان آبیاری در اراضی زیر کشت محصول iام است. همچنین عدد ۱۰ برای تبدیل واحد در این جمله وجود دارد. در جملهٔ دوم میزان آب مصرفی در همان دهه در اراضی آبی با اعمال آبیاری کامل و کم‌آبیاری و اراضی دیم با آبیاری تکمیلی آمده است. در جملهٔ سوم نیز میزان آبیاری تکمیلی تا ۴ دهه بعد ($d_{k,i,4}$) در سطح اراضی دیم با آبیاری تکمیلی هر محصول ($A_{i,4}$) آمده است.

با توجه به آنچه آمد، متغیرهای تصمیم در رابطهٔ ۵ برای اراضی آبیْ عمق آب مصرفی (میزان کم‌آبیاری) و سطح اراضی با شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری در دورهٔ زمانی مشخص و در اراضی دیمْ عمق و زمان آب مصرفی برای آبیاری تکمیلی و سطح اراضی با شرایط دیم و آبیاری تکمیلی است. تعداد آبیاری تکمیلی از محدودیت‌های مدل است. تعداد آبیاری تکمیلی حداکثر دو نوبت خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

برای کدنویسی مدل بهینه‌سازی از برنامهٔ Lingo استفاده شد. همچنین برای تخمین عملکرد محصولات مختلف تحت تیمارهای مختلف آبیاری- مثل آبیاری کامل، کم‌آبیاری در زمان‌ها و با مقادیر مختلف، آبیاری تکمیلی در اراضی دیم در زمان‌ها و با مقادیر متفاوت، عملکرد در حالت دیم- استفاده از یک مدل گیاهی ضروری است. این مدل‌های گیاهی آثار پارامترهای مختلف اقلیمی و آبیاری و ... را بر عملکرد درنظر می‌گیرند؛ به شرط آنکه به‌خوبی واسنجی و اعتبارسنجی شوند. بدین منظور در این تحقیق از مدل گیاهی AquaCrop (Raes *et al.*, 2009) پس از واسنجی دقیق در منطقه برای همهٔ محصولات استفاده شد (Ramezani Etedali, 2012).

هزینه‌های ثابت و متغیر تولید محصول در مزارع

هزینه‌های تولید محصولات شامل هزینه‌های ثابت و متغیر است. هزینه‌های متغیر به مقدار آب مصرفی و تعداد آبیاری‌ها و همچنین هزینه‌های جمع‌آوری و حمل محصولات بستگی دارد؛ که جداگانه محاسبه خواهد شد. هزینه‌های ثابت هر یک از محصولات نیز شامل هزینه‌های آماده‌سازی زمین، کاشت، و داشت است. در جدول ۱ هزینه‌های ثابت به‌ترتیب برای محصولات دیم و آبی مطالعه‌شده در منطقه بر حسب هزار ریال در هر هکتار می‌آید.

جدول ۱. هزینه‌های ثابت برای محصولات مختلف

محصول	هزینه‌های ثابت محصولات دیم (هزار ریال بر هر هکتار)	هزینه‌های ثابت محصولات آبی (هزار ریال بر هر هکتار)
گندم	۱۹۵۰	۵۴۰۰
جو	۱۹۵۰	۴۴۰۰
ذرت دانه‌ای	-	۶۳۰۰
گوجه‌فرنگی	-	۳۵۹۰۰
عدس	۳۱۰۰	-
نخود	۳۳۰۰	-

درآمدهای محصولات زراعی

درآمد حاصل از کشت محصولات مختلف بسته به نوع گیاه متفاوت است. در برخی گیاهان، مانند گندم و جو، علاوه بر درآمدهای حاصل از فروش دانه، به عنوان محصول اصلی، سودی هم از بابت فروش کاه، به عنوان محصول فرعی، عاید کشاورز می‌شود. قیمت خرید محصولات برای سال زراعی ۱۳۸۸ـ ۱۳۸۹ از جهاد کشاوزی استان قزوین جمع‌آوری شد (جدول ۲).

هزینه‌های انتقال آب و آبیاری تکمیلی

با توجه به نبودِ امکانات و تجهیزات مناسب برای آبیاری در اراضی دیم، ضروری است برای آبیاری تکمیلی در این اراضی هزینه‌های انتقال آب و آبیاری مد نظر قرار گیرند. همچنین با توجه به اینکه هر یک از لوازم و تجهیزات و سیستم‌های آبیاری عمر اقتصادی خود را دارند لازم است هزینه‌های انتقال آب به اراضی دیم از طریق فرمول سری‌های یکنواخت به هزینهٔ سالیانه تبدیل شوند.

جدول ۲. قیمت محصول اصلی و فرعی محصولات مطالعه‌شده

محصول	قیمت محصول اصلی (ریال برای هر کیلوگرم)	قیمت محصول فرعی (کاه) (ریال برای هر کیلوگرم)
گندم	۳۳۰۰	۱۰۰۰
جو	۲۶۰۰	۱۰۰۰
ذرت	۲۷۰۰	-
نخود	۱۰۰۰۰	۱۳۰۰
عدس	۱۵۰۰۰	۱۳۰۰
گوجه فرنگی	۳۰۰۰	-

در این تحقیق فرض شد برای انتقال آب از انتهای شبکه به اراضی دیم از خطوط انتقال آب با جنس پلی‌اتیلن استفاده می‌شود. از مزایای استفاده از خطوط انتقال آب پلی‌اتیلنی می‌توان به دوام این نوع لوله‌ها، راندمان انتقال آب بسیار بالا، و تلفات بسیار کم اشاره کرد. همچنین در این تحقیق برای آبیاری تکمیلی در اراضی دیم استفاده از سیستم آبیاری ارابه‌ای پیشنهاد شد. این سیستم آبیاری دارای تجهیزات قابل انتقال با امکان جابه‌جایی سریع است و سطح پوشش آبیاری گسترده‌ای دارد (Hlavek, 1992). از هزینه‌های دیگری که باید برای آبیاری تکمیلی مد نظر قرار داد هزینهٔ ایستگاه پمپاژ و انرژی است.

هزینه‌های خرید و اجرای خطوط انتقال آب از شرکت‌های مهندسان مشاور استعلام شد. بر اساس فهرست بهای سال ۱۳۸۸ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری و با توجه به فاصلهٔ منبع آب تا مزارع و سطح مزارع تحت پوشش خطوط انتقال، که بر سرشکن‌شدن هزینه‌ها تأثیر می‌گذارد، بین ۴۰ تا ۸۰ میلیون ریال در هر هکتار متفاوت خواهد بود. در جدول ۳ با استفاده از رابطهٔ سری‌های یکنواخت و با فرض نرخ بازگشت سرمایهٔ ۷ درصد و طول عمر ۵۰ سال هزینهٔ خطوط انتقال آب در فواصل مختلف محاسبه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. هزینهٔ کلی و یکنواخت سالیانهٔ خطوط انتقال آب پلی‌اتیلنی

فاصله اراضی دیم از شبکه (متر)	هزینهٔ کلی خطوط انتقال آب (هزار ریال بر هر هکتار)	هزینهٔ یکنواخت سالیانهٔ خطوط انتقال آب (هزار ریال بر هر هکتار)
۲۰۰۰ _ ۰	۴۰،۰۰۰	۲،۸۹۸
۴۰۰۰_ ۲۰۰۰	۴۸،۰۰۰	۳،۴۷۸
۶۰۰۰ _ ۴۰۰۰	۵۸،۰۰۰	۴،۲۰۳
۸۰۰۰ _ ۶۰۰۰	۶۸،۰۰۰	۴،۹۲۷
۱۰۰۰۰ _ ۸۰۰۰	۸۰،۰۰۰	۵،۷۹۷

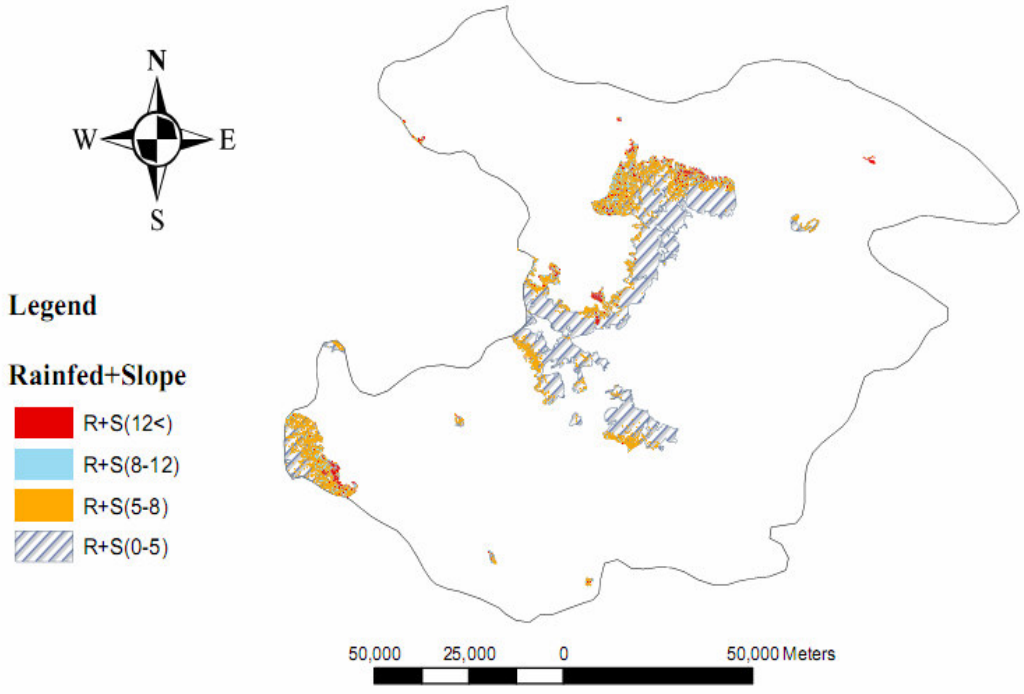
سیستم ارابه‌ای بیشترین هم‌خوانی را برای آبیاری تکمیلی دارد. قیمت این دستگاه با استعلام از شرکت‌های واردکننده حدود ۴۰۰ میلیون ریال است. هر دستگاه توانایی آبیاری تکمیلی ۸۰ هکتار را دارد. بنابراین، هزینهٔ دستگاه آبیاری ارابه‌ای برای هر هکتار حدود ۵ میلیون ریال خواهد بود. با استفاده از سری یکنواخت سالیانه و نرخ بازگشت سرمایهٔ ۷ درصد و طول عمر بیست‌وپنج‌ساله، هزینهٔ دستگاه آبیاری ارابه‌ای نیز به هزینهٔ یکنواخت سالیانه تبدیل شد. این هزینه برای هر هکتار از اراضی دیم حدود ۴۳۰ هزار ریال برآورد شد.

همچنین با استعلام از شرکت‌های مهندسان مشاور هزینهٔ خرید و اجرای پمپ و ایستگاه پمپاژ حدود ۲۵۰۰۰۰۰ ریال برای هر هکتار در نظر گرفته شد. بنابراین هزینهٔ یکنواخت سالیانهٔ خرید و اجرای پمپ و ایستگاه‌های پمپاژ برای اراضی دیمی، که تحت آبیاری تکمیلی قرار می‌گیرند، با توجه به عمر اقتصادی ۲۵ سال و نرخ بازگشت سرمایهٔ ۷ درصد، حدود ۲۱۵۰۰۰ ریال خواهد بود. همچنین هزینهٔ انرژی برای ایستگاه پمپاژ در هر بار آبیاری تکمیلی ۱۰۰۰۰۰ ریال به‌ازای هر هکتار برآورد شد.

یافته‌ها و بحث

پتانسیل‌یابی

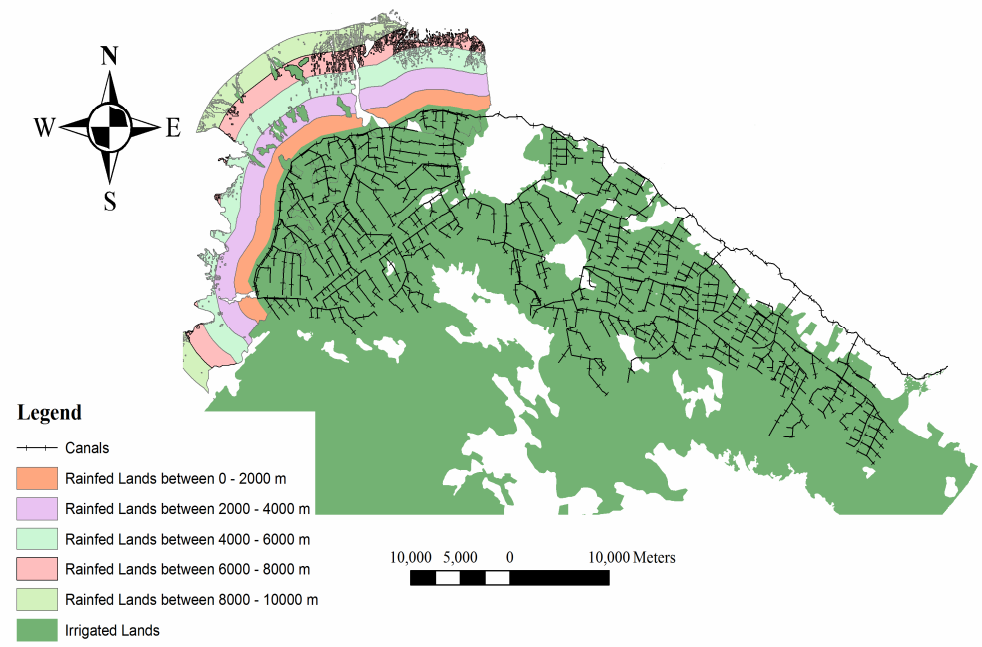
ابتدا نقشهٔ شیب اراضی دیم منطقه تهیه شد (شکل ۱). در ادامه اراضی دیم که شیب مناسب داشتند با نقشهٔ اراضی دیم در فواصل مختلف از شبکه هم‌پوشانی شد (شکل ۲). همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است در سمت غرب شبکهٔ آبیاری دشت قزوین اراضی دیمی وجود دارند که شرایط مناسبی هم از لحاظ شیب و هم از لحاظ دسترسی به منابع آب دارند. اولویت‌بندی اراضی دیم برای آبیاری تکمیلی محدودهٔ مطالعه به اراضی تحت شبکهٔ آبیاری دشت قزوین و اراضی دیم مجاور آن محدود شده است. محدودهٔ انتخابی برای بررسی پتانسیل‌یابی اراضی دیم در آبیاری تکمیلی دارای سطح قابل توجهی از اراضی آبی و دیم است. حدود ۸۵۰۰۰ هکتار وسعت اراضی آبی تحت شبکهٔ آبیاری و بالغ بر ۴۰۰۰۰ هکتار سطح اراضی دیم مجاور شبکهٔ آبیاری است.



شکل ۱. نقشهٔ اراضی دیم با شیب‌های مختلف در استان قزوین

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. موقعیت اراضی دیم دارای پتانسیل جهت آبیاری تکمیلی در فواصل مختلف از شبکه

نکتهٔ مهم دیگر در پتانسیل‌یابی اراضی دیمْ فاصلهٔ این اراضی از شبکه است که باعث افزایش هزینه‌های انتقال آب و انرژی می‌شود. در این مرحله اولویت‌بندی اراضی دیم با فواصل ۲۰۰۰ متری بررسی شده است. نقشهٔ ۲ موقعیت اراضی دیم دارای پتانسیل آبیاری تکمیلی را برای فواصل ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۶۰۰۰، ۸۰۰۰، و ۱۰۰۰۰ متری از انتهای شبکه نشان می‌دهد. مساحت اراضی دیم دارای پتانسیل برای آبیاری تکمیلی در فواصل مختلف در جدول ۴ می‌آید. این اراضی مستعد زیر کشت محصولات دیم مختلف‌اند. برای سطح زیر کشت محصولات دیم مختلف از میانگین چندسالهٔ الگوی کشت استفاده شد.

جدول ۴. مساحت اراضی دیم دارای پتانسیل برای آبیاری تکمیلی در فواصل مختلف از شبکه

فاصلهٔ اراضی دیم از شبکه (متر)	مساحت اراضی دیم (هکتار)	مساحت تجمعی اراضی دیم (هکتار)
۲۰۰۰ ـ ۰	۷۸۳۰	۷۸۳۰
۴۰۰۰ ـ ۲۰۰۰	۸۵۸۰	۱۶۴۱۰
۶۰۰۰ ـ ۴۰۰۰	۸۳۰۰	۲۴۷۱۰
۸۰۰۰ ـ ۶۰۰۰	۵۷۵۰	۳۰۴۶۰
۱۰۰۰۰ ـ ۸۰۰۰	۴۲۸۰	۳۴۷۴۰

در ادامه بهینه‌سازی اراضی دیمی که در هر فاصله شرایطی مناسب برای آبیاری تکمیلی دارند انجام شد. به عبارت دیگر، خروجی بخش پتانسیل‌یابی یکی از ورودی‌های بخش بهینه‌سازی لحاظ شده است.

نکتهٔ مهم دیگر اینکه بیش از ۹۷ درصد اراضی دیم مجاور شبکهٔ آبیاری دشت قزوین پتانسیل آبیاری تکمیلی را دارند؛ در صورتی که مطالعات در حوضهٔ کرخه نشان داد فقط حدود ۳۱/۴ درصد مزارع دیم در حوضهٔ کرخه، که در مجاورت مزارع آبی قرار دارند، شیب مناسبِ آبیاری تکمیلی را دارند (Tavakkoli *et al.*, 2011).

مقدار تابع هدف (سود خالص)

در این مرحله مدل بهینه‌سازی برای سال زراعی ۲۰۰۳ـ ۲۰۰۴، که سالی نرمال در منطقه است، اجرا شد (Ramezani Etedali *et al.*, 2012). مدل بهینه‌سازی برای انتقال آب برای آبیاری تکمیلی در فواصل مختلف انجام شد. مقدار تابع هدف برای هر یک از فواصل در جدول ۵ می‌آید. در این جدول سود خالص حاصل از مدیریت تخصیص آب جدید در صورت انتقال آب از شبکه برای آبیاری تکمیلی در اراضی دیم مجاور تا فواصل مشخص، سود خالص حاصل از اراضی دیم خارج از محدوده تا فاصلهٔ ۱۰۰۰۰ متری از شبکه، و سود خالص کل (مجموع دو سود خالص قبل) دیده می‌شود؛ مثلاً در گزینهٔ انتقال آب تا ۲۰۰۰ متری از شبکه سود خالص حاصل از اراضی دیم از فاصلهٔ ۲۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری به سود خالص اراضی آبی شبکه و اراضی دیم تا ۲۰۰۰ افزوده شده تا سود خالص کل محاسبه شود. همچنین در مورد مدیریت سنتی تخصیص آب (بدون انتقال آب برای آبیاری تکمیلی) نیز سود خالص کل برابر مجموع سود خالص اراضی تحت شبکه و اراضی دیم بدون آبیاری تکمیلی است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۵. مقدار سود خالص در حالت‌های مختلف مدیریت تخصیص آب

سناریو	سود خالص حاصل از مدیریت جدید (میلیارد ریال)	سود خالص اراضی دیم خارج از محدوده تا فاصلهٔ ۱۰۰۰۰ متری (میلیارد ریال)	سود خالص کل (میلیارد ریال)
مدیریت سنتی (بدون انتقال آب)	-	-	۱۳۸۶٫۱۲
انتقال آب تا ۲۰۰۰ متری	۱۳۶۶٫۱۷	۱۷۵٫۲۲	۱۵۴۱٫۳۹
انتقال آب تا ۴۰۰۰ متری	۱۴۵۳٫۳۸	۱۱۹٫۳۵	۱۵۷۲٫۷۳
انتقال آب تا ۶۰۰۰ متری	۱۵۸۶٫۳۰	۶۶٫۰۴	۱۶۵۲٫۳۴
انتقال آب تا ۸۰۰۰ متری	۱۵۸۸٫۷۳	۲۷٫۸۷	۱۶۱۶٫۶۰
انتقال آب تا ۱۰۰۰۰ متری	۱۶۰۴٫۸۷	۰	۱۶۰۴٫۸۷

همان‌گونه که از جدول ۵ مشخص است با مدیریت جدید تخصیص آب نسبت به مدیریت سنتی سود خالص کل اراضی آبی و دیم افزایش پیدا می‌کند. میزان این افزایش با مدیریت جدید تخصیص آب در صورت انتقال آب تا فواصل ۲۰۰۰، ۴۰۰۰، ۶۰۰۰، ۸۰۰۰، و ۱۰۰۰۰ متری به‌ترتیب ۱۱٫۲، ۱۳٫۵، ۱۹٫۲، ۱۶٫۶، و ۱۵٫۸ درصد است. بیشترین سود خالص انتقال آب تا فاصلهٔ ۶۰۰۰ متری از شبکه به‌دست می‌آید. در فواصل بیش از ۶۰۰۰ متر به دلیل افزایش هزینه‌ها انتقال آب برای آبیاری تکمیلی توجیه اقتصادی کمتری دارد.

نتایج به‌دست‌آمده از استان‌های کرمانشاه و لرستان نیز افزایش ۱۴ درصدی سود ناخالص را با انتقال آب برای آبیاری تکمیلی در اراضی دیم دارای پتانسیل نشان می‌دهد که با نتایج این تحقیق متناسب است (Ramezani Etedali *et al*., 2013).

سطح زیر کشت تیمارهای مختلف آبیاری هر محصول

نتایج مدل بهینه‌سازی برای سطح زیر کشت محصولات مختلف در منطقهٔ مطالعه‌شده با تیمارهای مختلف آبیاری و همچنین میزان و زمان کم‌آبیاری و آبیاری تکمیلی مناسب (متغیرهای تصمیم) برای انتقال آب در فواصل مکانی متفاوت در جدول‌های ۶ تا ۱۰ می‌آید. همچنین سطح اراضی دیم خارج از محدودهٔ مورد نظر تا ۱۰۰۰۰ متری درج می‌شود.

تا فاصلهٔ ۲۰۰۰ متری از شبکه برای انتقال آب آبیاری تکمیلی (جدول ۵) مدل با ۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دههٔ دوم آبان (دههٔ اول پس از کاشت بذر در منطقه) و ۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دههٔ سوم اردیبهشت از کل سطح اراضی جو موجود در شبکه (۸۵۰۰ هکتار) آب صرفه‌جویی‌شده را برای آبیاری تکمیلی در کل اراضی دیم مجاور شبکه استفاده می‌کند. برای گندم و جو بهترین زمان آبیاری تکمیلی در دههٔ دوم آبان و دههٔ سوم اردیبهشت و برای نخود و عدس به‌ترتیب تک‌آبیاری در دههٔ دوم اردیبهشت و دههٔ اول خرداد انتخاب شد.

نتایج مدل بهینه‌سازی در فواصل دیگر نیز نشان می‌دهد که در همهٔ فواصل بهترین تیمار کم‌آبیاری برای جو و با ۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دههٔ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دههٔ سوم اردیبهشت از کل سطح اراضی جو موجود در شبکه است و بر اساس برآورد مدلْ کم‌آبیاری در هیچ‌یک از محصولات آبی در شبکه، یعنی گندم و ذرت دانه‌ای و گوجه‌فرنگی، توجیه اقتصادی ندارد. علت این موضوع مقاوم‌بودن جو به تنش آبی و همچنین قیمت فروش پایین جو است. بین محصولات آبی کشت‌شده در شبکه، کمترین قیمت فروش را جو به خود اختصاص می‌دهد. در زمینهٔ اثر کم‌آبیاری بر عملکرد و مقاومت جو نیز در ادامه صحبت خواهد شد.

اما در زمینهٔ اعمال آبیاری تکمیلی با افزایش فاصله از شبکه و افزایش سطوح اراضی دیم و ثابت‌ماندن حجم آب ذخیره‌شده برای آبیاری تکمیلی، آبیاری تکمیلی در اراضی‌ای که محصولاتی با بازده اقتصادی بیشتری دارند صورت می‌گیرد. در فاصلهٔ ۴۰۰۰ متری از شبکه کل سطح اراضی دیم زیر کشت نخود و عدس آبیاری تکمیلی می‌شوند و آب باقی‌مانده به بخشی از اراضی دیم زیر کشت گندم اختصاص پیدا می‌کند. همچنین تیمار آبیاری تکمیلی در مزارع گندم در این فاصله با تیمار آبیاری تکمیلی در فاصلهٔ ۲۰۰۰ متری متفاوت است. با توجه به افزایش آب مورد نیاز برای آبیاری تکمیلی بهاره در مزارع نخود و عدس، به دلیل افزایش سطح زیر کشت دیم این محصولات، میزان آبیاری تکمیلی بهاره در گندم از ۹۰ به ۵۰ میلی‌متر کاهش پیدا می‌کند. آبیاری تکمیلی پاییزه در گندم کاهش پیدا نمی‌کند؛ زیرا در این دوره کشت نخود و عدس صورت نمی‌گیرد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۶. عملکرد و سطح زیر کشت هر محصول در تیمارهای مختلف آبیاری تا فاصلهٔ ۲۰۰۰ متری از شبکه

محصول	تیمار آبیاری	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	سطح اراضی دیم خارج از محدوده (هکتار)
جو	آبیاری کامل	۶۴۰۰	۰	-
	کم‌آبیاری (۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ سوم اردیبهشت)	۶۱۰۰	۸۵۰۰	-
	دیم	۸۰۰	۰	۴۰۳۶
	آبیاری تکمیلی (۴۵ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان و ۸۰ میلی‌متر در دهۀ سوم اردیبهشت)	۴۰۰۰	۱۱۷۵	-
گندم	آبیاری کامل	۶۱۰۰	۲۷۲۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
	دیم	۹۰۰	۰	۱۳۴۵۵
	آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان و ۹۰ میلی‌متر در دهۀ سوم اردیبهشت)	۳۹۰۰	۳۹۱۵	-
ذرت دانه‌ای	آبیاری کامل	۱۲۴۰۰	۶۸۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
گوجه‌فرنگی	آبیاری کامل	۵۹۳۰۰	۴۲۵۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
نخود	دیم	۷۰۰	۰	۱۳۴۵
	آبیاری تکمیلی (۸۰ میلی‌متر در دهۀدوم خرداد)	۲۰۰۰	۳۹۲	-
عدس	دیم	۱۰۰۰	۰	۶۷۲۷
	آبیاری تکمیلی (۷۵ میلی‌متر در دهۀ اول خرداد)	۳۰۰۰	۱۹۵۸	-

جدول ۷. عملکرد و سطح زیر کشت هر محصول در تیمارهای مختلف آبیاری تا فاصلهٔ ۴۰۰۰ متری از شبکه

محصول	تیمار آبیاری	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	سطح اراضی دیم خارج از محدوده (هکتار)
جو	آبیاری کامل	۶۴۰۰	۰	-
	کم‌آبیاری (۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ سوم اردیبهشت)	۶۱۰۰	۸۵۰۰	-
	دیم	۸۰۰	۲۴۶۲	۲۷۴۹
	آبیاری تکمیلی	-	۰	-
گندم	آبیاری کامل	۶۱۰۰	۲۷۲۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
	دیم	۹۰۰	۳۲۴۹	۹۱۶۵
	آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر در دهۀ سوم اردیبهشت)	۳۲۰۰	۴۹۵۶	-
ذرت دانه‌ای	آبیاری کامل	۱۲۴۰۰	۶۸۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
گوجه‌فرنگی	آبیاری کامل	۵۹۳۰۰	۴۲۵۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
نخود	دیم	۷۰۰	۰	۹۱۶
	آبیاری تکمیلی (۸۰ میلی‌متر در دهۀ دوم خرداد)	۲۰۰۰	۸۲۱	-
عدس	دیم	۱۰۰۰	۰	۴۵۸۲
	آبیاری تکمیلی (۷۵ میلی‌متر در دهۀ اول خرداد)	۳۰۰۰	۴۱۰۳	-

جدول ۸. عملکرد و سطح زیر کشت هر محصول در تیمارهای مختلف آبیاری تا فاصلهٔ ۶۰۰۰ متری از شبکه

Archive of SID

www.SID.ir

محصول	تیمار آبیاری	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	سطح اراضی دیم خارج از محدوده (هکتار)
جو	آبیاری کامل	۶۴۰۰	۰	-
	کم‌آبیاری (۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ سوم اردیبهشت)	۶۱۰۰	۸۵۰۰	-
	دیم	۸۰۰	۳۷۰۷	۲۳۲۲
	آبیاری تکمیلی	-	۰	-
گندم	آبیاری کامل	۶۱۰۰	۲۷۲۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
	دیم	۹۰۰	۷۳۹۹	۵۰۱۵
	آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان و ۲۰ میلی‌متر در دهۀ سوم اردیبهشت)	۲۸۰۰	۴۹۵۶	-
ذرت دانه‌ای	آبیاری کامل	۱۲۴۰۰	۶۸۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
گوجه‌فرنگی	آبیاری کامل	۵۹۳۰۰	۴۲۵۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
نخود	دیم	۷۰۰	۰	۵۰۱
	آبیاری تکمیلی (۸۰ میلی‌متر در دهۀ دوم خرداد)	۲۰۰۰	۱۲۳۶	-
عدس	دیم	۱۰۰۰	۰	۲۵۰۷
	آبیاری تکمیلی (۷۵ میلی‌متر در دهۀ اول خرداد)	۳۰۰۰	۶۱۷۸	-

جدول ۹. عملکرد و سطح زیر کشت هر محصول در تیمارهای مختلف آبیاری تا فاصلۀ ۸۰۰۰ متری از شبکه

محصول	تیمار آبیاری	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	سطح اراضی دیم خارج از محدوده (هکتار)
جو	آبیاری کامل	۶۴۰۰	۰	-
	کم‌آبیاری (۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ دوم آبان و۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ سوم اردیبهشت)	۶۱۰۰	۸۵۰۰	-
	دیم	۸۰۰	۴۵۶۹	۶۴۲
	آبیاری تکمیلی	-	۰	-
گندم	آبیاری کامل	۶۱۰۰	۲۷۲۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
	دیم	۹۰۰	۱۰۲۷۴	۲۱۴۰
	آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان)	۲۱۰۰	۴۹۵۶	-
ذرت دانه‌ای	آبیاری کامل	۱۲۴۰۰	۶۸۰۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
گوجه‌فرنگی	آبیاری کامل	۵۹۳۰۰	۴۲۵۰	-
	کم‌آبیاری	-	۰	-
نخود	دیم	۷۰۰	۷۳۵	۲۱۴
	آبیاری تکمیلی (۸۰ میلی‌متر در دهۀ دوم خرداد)	۲۰۰۰	۷۸۸	-
عدس	دیم	۱۰۰۰	۰	۱۰۷۰
	آبیاری تکمیلی (۷۵ میلی‌متر در دهۀ اول خرداد)	۳۰۰۰	۷۶۱۵	-

جدول ۱۰. عملکرد و سطح زیر کشت هر محصول در تیمارهای مختلف آبیاری تا فاصلۀ ۱۰۰۰۰ متری از شبکه

Archive of SID

www.SID.ir

محصول	تیمار آبیاری	عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	سطح اراضی دیم خارج از محدوده (هکتار)
جو	آبیاری کامل	۶۴۰۰	۰	–
	کم‌آبیاری (۲۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر کم‌آبیاری در دهۀ سوم اردیبهشت)	۶۱۰۰	۸۵۰۰	–
	دیم	۸۰۰	۵۲۱۱	۰
	آبیاری تکمیلی	–	۰	–
گندم	آبیاری کامل	۶۱۰۰	۲۷۲۰۰	–
	کم‌آبیاری	–	۰	–
	دیم	۹۰۰	۱۲۴۱۴	۰
	آبیاری تکمیلی (۵۰ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان)	۲۱۰۰	۴۹۵۶	–
ذرت دانه‌ای	آبیاری کامل	۱۲۴۰۰	۶۸۰۰	–
	کم‌آبیاری	–	۰	–
گوجه‌فرنگی	آبیاری کامل	۵۹۳۰۰	۴۲۵۰	–
	کم‌آبیاری	–	۰	–
نخود	دیم	۷۰۰	۱۷۳۷	۰
	آبیاری تکمیلی	–	۰	–
عدس	دیم	۱۰۰۰	۳۰۰	۰
	آبیاری تکمیلی (۷۵ میلی‌متر در دهۀ اول خرداد)	۳۰۰۰	۸۳۸۵	–

و به آبیاری تکمیلی نیاز نیست. همچنین در این فاصله مزارع جو، به دلیل کمبود آب و ارزش اقتصادی کمتر، آبیاری تکمیلی نمی‌شوند. در فاصلۀ ۶۰۰۰ متری نیز شرایطی مشابه با فاصلۀ ۴۰۰۰ متری وجود دارد و فقط در این فاصله میزان آبیاری تکمیلی بهاره در مزارع گندم باز هم کاهش پیدا می‌کند و به ۲۰ میلی‌متر می‌رسد.

در فاصلۀ ۸۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری از شبکه کل آب صرفه‌جویی‌شده در بهار به آبیاری تکمیلی اراضی دیم عدس اختصاص پیدا می‌کند و مزارع گندم فقط آبیاری تکمیلی پاییزه می‌شوند. همان‌طور که در جداول (۹ و ۱۰) نیز مشخص است اولویت مدل برای آبیاری تکمیلی عدس و بعد از آن به‌ترتیب نخود و گندم و جو است. قیمت فروش عدس و نخود، به‌ترتیب ۱۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ ریال، نسبت به گندم و جو، به‌ترتیب ۳۳۰۰ و ۲۶۰۰ ریال، بالاتر و آبیاری تکمیلی در آن‌ها اقتصادی‌تر است. البته افزایش عملکرد در اثر آبیاری تکمیلی در این موضوع بی‌تأثیر نیست.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد اراضی تحت شبکۀ آبیاری دشت قزوین و اراضی دیم مجاور آن پتانسیل لازم را برای مدیریت جدید آبیاری دارند؛ یعنی ۷۸۳۰، ۸۵۸۰، ۸۳۰۰، ۵۷۵۰، و ۴۲۸۰ هکتار از اراضی دیم در فواصل ۲، ۴، ۶، ۸، و ۱۰ کیلومتری پتانسیل آبیاری دارند. به‌عبارت دیگر، بیش از ۹۷ درصد اراضی دیم مجاور شبکۀ آبیاری دشت قزوین قابلیت آبیاری تکمیلی را دارد. همچنین نتایج مدل بهینه‌سازی نشان می‌دهد میزان افزایش سود خالص با مدیریت جدید تخصیص آب در صورت انتقال آب تا فواصل ۲، ۴، ۶، ۸، و ۱۰ کیلومتری به‌ترتیب ۱۱٫۲، ۱۳٫۵، ۱۹٫۲، ۱۶٫۶، و ۱۵٫۸ درصد است. جو یگانه گزینه برای کم‌آبیاری در اراضی شبکه است. میزان کم‌آبیاری در مزارع جو ۲۰ میلی‌متر در دهۀ دوم آبان و ۵۰ میلی‌متر در دهۀ سوم اردیبهشت تعیین شد. همچنین عدس، به دلیل ارزش اقتصادی بیشتر، گزینۀ برتر برای آبیاری تکمیلی معرفی شد. در دهۀ اول خرداد آبیاری تکمیلی به میزان ۷۵ میلی‌متر بهترین تیمار برتر در منطقه انتخاب شد، که عملکرد آن از ۱۰۰۰ به ۳۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار افزایش پیدا کرد. همچنین در کشت دیم نخود بهترین زمان آبیاری تکمیلی در دهۀ دوم خرداد، به میزان ۱۰۰ میلی‌متر، است. با این تیمار آبیاری تکمیلی عملکرد در مزارع دیم نخود از ۷۰۰ به ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار افزایش پیدا می‌کند. در مزارع دیم گندم دو آبیاری در دهۀ دوم آبان و دهۀ سوم اردیبهشت، به‌ترتیب به میزان ۵۰ و ۹۰ میلی‌متر، گزینه برتر انتخاب شد. با این تیمار عملکرد از ۹۰۰ به ۳۹۰۰ کیلوگرم

Archive of SID

www.SID.ir

بر هکتار افزایش پیدا می‌کند. در کشت دیم جو نیز آبیاری تکمیلی در دهۀ دوم آبان و دهۀ سوم اردیبهشت به میزان ۴۵ و ۸۰ میلی‌متر گزینۀ برتر انتخاب شد که با این تیمار عملکرد از ۸۰۰ به ۴۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار افزایش پیدا می‌کند.

REFERENCES

Gorji, M., Refahi, H., Shahvoei, S., and Moezardalan, M. (2004). *Study of surface soil losing effect (erosion simulation) on yield and evaluation of fertilizer treatments effect*. Ph. D. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi)

Harmsen, K. (1984). Nitrogen fertilizer uses in rainfed agriculture. *Fert. Res.* 5, 371-382.

Hlavek, R. (1992). *Selection Criteria for Irrigation System*. ICID, New Delhi.

Kirda, C. (2004). Deficit Irrigation Scheduling Based on Plant Growth Stages Showing Water Stress Tolerance. FAO Deficit Irrigation Practices. *Water Reports*, 22, 3-10.

Mousavi, S. K. and Shakarami, G. (2008). Effects of supplemental irrigation on Chickpea (Cicer arietinum L.) yield in Low rain condition. *EJCP*, 1 (4), 99-113. (In Farsi)

Postel, S. L. (1998). Water for food production: will there be enough in 2025. *Bio Science*, 48, 629 – 637.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. (2009). AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and soft ware description. *Agronomy Journal*, 101, 438–447.

Ramezani Etedali, H. (2012). *Development of an Optimization Model for Water Allocation in Irrigated and Rainfed Lands to increase Economical Productivity*. Ph. D. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi)

Ramezani Etedali, H., Liaghat, A., Parsinejad, M., and Ramezani Etedali, M. (2012). Status of Agricultural Droughts Based on Soil Moisture in Qazvin Synoptic Station. *Journal of Water Research in Agriculture*, 26 (1), 83-93. (In Farsi)

Ramezani Etedali, H., Liaghat, A., Parsinejad, M., Tavakkoli, A. R., Bozorg Haddad, O., and Ramezani Etedali, M. (2013). Water Allocation Optimization for Supplementary Irrigation in Rainfed Lands to Increase Total Income (Case Study: Upstream Karkheh River Basin). *Journal of Irrigation and Drainage*, 62, 74–83.

Tavakkoli, AR. (2010). *Improvement of water productivity by conjunctive management of limited irrigation and advanced agronomic practices in rainfed cereals farming areas*. Ph.D. dissertation, University of Tehran, Iran. (In Farsi)

Tavakkoli, AR. and Oweis, T. (2004). The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. *Agricultural Water Management*, 65, 225–236.

Tavakkoli, AR. and Oweis, T., Ferri, F., Haghighat, A., Belson, V., Pala, M., Siadat, H., and Ketata, H. (2005). Supplemental irrigation in Iran: Increasing and stabilizing wheat yield in rainfed highlands. On-farm Water Husbandry Research Report Series No. 5. 46 pp. ICARDA.

Tavakkoli, AR., Asadi, H., and Hessari, B. (2011). Assessment of potential supplemental irrigation impacts on downstream flows in the Karkheh river basin of Iran. Final report of research institute of Rainfed Agricultural Research. No. 4-100-305300-00-8504-85005.

Van Schilfgaarde, J. (1994). Irrigation a blessing or a curse. *Agricultural Water Management*, 25, 203-219.

Zhang, L., and Oweis, T. (1999). Water- yield relation and optimal irrigation scheduling of wheat in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management*, 38, 195-211.

Carvallo, H., Holzapfel, E., Lopez, M., Marino, M. (1998). Irrigated cropping optimization. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 124, 67–72.

Archive of SID

www.SID.ir