نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۶، ص. ۷۱۴-۷۰۱

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 3, Jul.-Agu. 2017, p. 701-714

تخصیص بهینه آب برای آبیاری تکمیلی مزارع گندم و جو دیم درزیرحوضه‌های منطقه کامیاران

رضا سعیدی[۱*]- هادی رمضانی اعتدالی[۲]- امیر صمدی[۳]- علیرضا توکلی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۰۵

چکیده

با افزایش نیاز به تولید غذا و کاهش منابع آبی، می‌توان با بررسی اراضی دیم از نظر خصوصیات توپوگرافی، دسترسی به منابع آبی و تخصیص بهینه منابع آب موجود، میزان تولید را با انجام آبیاری تکمیلی افزایش داد. در این مطالعه، پتانسیل‌یابی اراضی دیم منطقه کامیاران برای انجام آبیاری تکمیلی، با انتخاب اراضی دیم دارای شیب کمتر از ۸ درصد و مجاورت با رودخانه‌های فصلی صورت گرفت. منابع آبی نیز برای انجام آبیاری بهاره (۵۰ میلی‌متر در ماه‌های فروردین و اردیبهشت)، آبیاری پاییزه (۷۵ میلی متر در ماه‌های آبان و آذر) و جفت آبیاری (مجموع آبیاری بهاره و پاییزه) در نظر گرفته شد. بهینه‌سازی برای برآورد سطوح زیر کشت بهینه و به منظور افزایش سود خالص در زیرحوضه‌های کامیاران انجام شد. با توجه به حجم متفاوت منابع آبی قابل دسترس، یک زمان مشخص برای انجام آبیاری تکمیلی در تمام زیر حوضه‌ها تعیین نگردید. در زیر حوضه‌های A، B، C آبیاری پاییزه گندم، در زیر حوضه های E، F و INT آبیاری بهاره و پاییزه گندم و آبیاری پاییزه جو و در زیرحوضه D، آبیاری بهاره و پاییزه گندم، توسط مدل بهینه‌سازی پیشنهاد شد. با اجرای مدل بهینه‌سازی در اراضی با شیب کمتر از ۸ درصد، برای سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، مجموع تولید گندم و جو به‌ترتیب ۴۷/۵ و ۱۰/۵ درصد، مجموع سود خالص گندم و جو ۸۵ درصد و بهره وری آب برای دو محصول گندم و جو، به ترتیب ۷۴/۸ و ۴۴/۵ درصد، نسبت به کشت مطلق دیم افزایش داشته است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری تکمیلی، بهینه‌سازی، سودخالص، کامیاران

مقدمه

کاهش کمیت و کیفیت منابع آب قابل دسترس برای کشاورزی در ایران، موجب شده است که در برنامه ریزی های آبیاری، به اصلاح الگوی مصرف و تخصیص بهینه آب اهمیت داده شود. با توجه به محدودیت افزایش سطح زیر کشت به دلیل محدودیت منابع آبی و با عنایت به افزایش روز افزون جمعیت ضروری است تا با اجرای طرح‌های تحقیقاتی، در جهت افزایش محصول در واحد سطح گام‌های مؤثری برداشته شوند (۲). در برخی نقاط کره زمین به دلیل موقعیت خاص جغرافیایی، تنش‌های محیطی در تولید محصولات کشاورزی تأثیر بیشتری دارند و کشاورزی در آن مناطق با تحمل هزینه بیشتر و بازده کمتر صورت می‌گیرد. لذا توجه ویژه به شرایط اقلیمی، به عنوان یکی از عوامل تعیین کننده تولید محصولات کشاورزی باید مدنظر قرار گیرد (۶). بخش اعظم اراضی کشور ایران، جزء مناطق خشک و نیمه خشک طبقه بندی می شوند و در این نواحی مهمترین منبع محدود کننده برای افزایش عملکرد تولیدات کشاورزی، کمبود آب می‌باشد. از این‌رو، افزایش بهره‌وری آب در مقایسه با محصول تولیدی در واحد سطح، بهترین راهکار برای سامانه های زراعی دیم می باشد (۸). گندم در ایران دارای سطح زیرکشت قابل توجهی بوده و افزایش محصول آن مورد توجه قرار گرفته است. در قسمت زیادی از اراضی کشور، به دلیل عدم دسترسی کافی به منابع آب و عدم آبیاری کافی، تنش رطوبتی در مرحله پر شدن دانه اتفاق افتاده و در نتیجه تولید کاهش می‌یابد.

تنش خشکی مهمترین عامل کاهش دهنده عملکرد است که در طول دوره رویش و به‌ویژه در مراحل انتهایی رشد، به وقوع می‌پیوندد (۹). در چنین شرایطی، برای حصول نتیجه رضایت بخش از زراعت گندم دیم، می توان با توجه به منابع آبی موجود، با انجام آبیاری حتی به صورت محدود، در یک مرحله و یا مراحلی از رشد گیاه، به منظور کاهش یا حذف تنش رطوبتی، به عملکرد قابل قبولی دست یافت (۲). حدود ۷۰۰ الی ۸۵۰ هزار هکتار از اراضی زیر کشت گندم ایران که

۱-دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
(*- نویسنده مسئول: Email: saeidi@org.ikiu.ac.ir)
۲ و ۳- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین
۴- عضو هیات علمی (دانشیار پژوهش)، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
DOI: 10.22067/jsw.v31i3.54809

عمدتاً در استان‌های سردسیر و معتدل کوهستانی قرار دارند، بیش از دو آب برای آبیاری ندارند و کشاورزان در این مناطق معمولاً از ارقام دیم و در سطح بسیار کم از ارقام گندم آبی برای کاشت استفاده می‌کنند (۱۶). اعمال آبیاری تکمیلی روش مناسبی در بهبود و افزایش عملکرد محصولات دیم و استفاده صحیح و به موقع از آب می‌باشد.

بنابراین اگر زمان آبیاری درست و خوب هدف گزاری شود، می تواند قسمتی از مشکل را که افزایش بهره وری مصرف آب است، حل نماید (۲۱). منظور از آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی است تا آب کافی جهت رشد بوته‌ها و افزایش و عملکرد دانه تأمین گردد. بدیهی است که این مقدار آب مصرفی، به تنهایی برای تولید گیاه زراعی کافی نیست. بنابراین از ویژگی‌های ضروری آبیاری تکمیلی، تکمیل عملیات آبیاری با آب حاصل از باران است (۱۲). آبیاری تکمیلی نقش کلیدی در تولید گیاهان در کشورهای مختلف دنیا دارد، به طوری که این روش هم اکنون ۸۰ درصد مناطق تحت کشت دنیا و ۶۰ درصد تولید جهانی را به خود اختصاص داده است. در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا شامل غرب آسیا و شمال آفریقا، محدوده تولید گندم بسته به مقدار و توزیع بارندگی از ۰/۶ تا ۱/۵ تن در هکتار در نوسان است. در این شرایط، عملکرد و راندمان کاربرد آبیاری تکمیلی افزایش معنی داری نسبت به شرایط دیم داشته است (۷).

بطور اساسی آبیاری تکمیلی بدین منظور انجام می‌شود که در زمان فراهم بودن آب، بتوان تعرق طبیعی گیاه را افزایش داد. تحقیقات انجام شده در ایران نشان می‌دهد که آبیاری در زمان کاشت، در واقع روشی برای جلو انداختن رشد و استفاده از بارش‌های پاییزه است و تک آبیاری در مرحله گلدهی، روشی برای کنترل تنش رطوبتی ناشی از قطع بارش‌های خرداد می‌باشد (۱۹). در ایران، به دلیل اینکه بازاری برای آب وجود نداشته و خرید و فروش آب رایج نیست و از سوی دیگر، اراضی دیم عمدتاً در مجاورت اراضی آبی هستند، امکان تخصیص آب صرفه جویی شده در اراضی آبی به آبیاری محدود زراعت دیم، مورد توجه قرار گرفته است (۱۴).

مقایسه عملکرد گندم تحت سیستم‌های آبیاری تکمیلی و شرایط دیم نشان می‌دهد که آبیاری تکمیلی می‌تواند تولید گندم را در مقایسه با شرایط دیم ۱۲۸ درصد افزایش دهد (۵). آبیاری در مرحله حساس رشد گندم مانند مرحله حجیم شدن غلاف برگ پرچم گندم موجب افزایش عملکرد تا ۲۳ درصد گردیده است (۳). بنابراین با توجه به حساسیت مراحل گلدهی و پر شدن دانه، این مراحل رشد در گیاهان گندم و جو برای انجام آبیاری تکمیلی توصیه می گردند (۱). تحقیقات در غرب آسیا و شمال آفریقا نشان داده است که متوسط کارایی مصرف آب بارش در تولید گندم دیم حدود ۰/۳۴ کیلوگرم بر متر مکعب آب و برای آبیاری کامل گندم ۰/۷۵کیلوگرم بر متر مکعب آب است و با اعمال آبیاری تکمیلی، متوسط کارایی مصرف آب تا حدود ۲/۲۱ کیلوگرم بر متر مکعب آب افزایش پیدا می‌کند (۱۰). رمضانی اعتدالی و همکاران (۱۵) اعلام کردند که به ترتیب ۷۸۳۰، ۸۵۸۰، ۸۳۰۰، ۵۷۵۰ و ۴۲۸۰ هکتار از اراضی دیم در فواصل ۲، ۴، ۶، ۸ و ۱۰ کیلومتری از شبکهٔ آبیاری دشت قزوین، پتانسیل مدیریت آبیاری تکمیلی را دارند. همچنین نتایج مدل بهینه سازی در تحقیق ایشان نشان داد که میزان افزایش سود با مدیریت جدید تخصیص آب در صورت انتقال آب تا فواصل ذکر شده، به ترتیب ۱۱/۲، ۱۳/۵، ۱۹/۲، ۱۶/۶ و ۱۵/۸ درصد خواهد بود.

با توجه به اینکه در استان کردستان، حجم قابل توجهی از نزولات آسمانی، بدون بهره برداری از طریق رودخانه های مختلف از استان خارج می‌گردد، پیش‌بینی می‌شود اگر تمهیداتی در راستای مهار این آب ها و استفاده از آن ها برای آبیاری تکمیلی صورت گیرد، افزایش تولید گندم و جو دیم را به همراه خواهد داشت. هدف از این مطالعه نیز تخصیص بهینه آب رودخانه های منطقه کامیاران به اراضی دیم مجاور آن ها، برای آبیاری تکمیلی مزارع دیم گندم و جو می باشد. بنابراین با توجه به ظرفیت منابع آبی در زمان آبیاری تکمیلی و مساحت اراضی دیم دارای پتانسیل آبیاری تکمیلی در هر زیرحوضه، سطوح زیرکشت هر محصول با هدف افزایش سود خالص تعیین می‌گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر و محدوده حریم رودخانه های منطقه کامیاران، در ۳۴ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵۴ دقیقه طول شرقی با مساحت ۳۲۶۲۴۷ هکتار، در شهرستان کامیاران استان کردستان واقع گردیده است. شکل (۱) موقعیت شهرستان کامیاران و منطقه مطالعاتی را در کشور ایران و استان کردستان نشان می‌دهد.

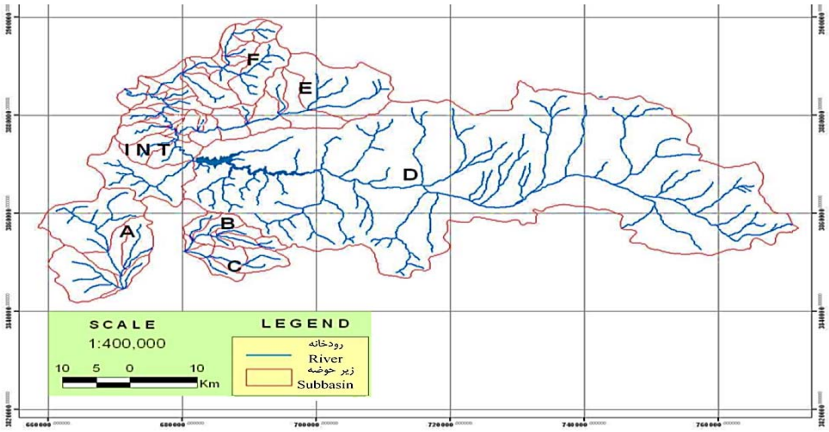
از لحاظ اقلیمی و طبیعی، این منطقه کوهستانی بوده و دارای دشت‌های مرتفع و دره‌های وسیع می‌باشد. اقلیم کامیاران متأثر از توده‌های هوای گرم و مرطوب مدیترانه‌ای است که این توده‌ها موجب بارندگی هایی در بهار و ریزش برف در زمستان شده است. متوسط میزان بارندگی سالانه در شرایط عادی اقلیمی این استان، به طور متوسط بین سال های ۱۳۵۳ تا ۱۳۸۸ معادل ۵۰۰ میلی متر می‌باشد. بر اساس نقشه های خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی، محدوده مورد مطالعه از ۶ تیپ فیزیوگرافی شامل کوهستان، تپه، دشت‌های دامنه‌ای، تراس‌های مرتفع، واریزه‌های بادبزنی‌شکل سنگریزه‌دار و دشت‌های سیلابی رودخانه‌ای تشکیل شده است.

شکل ۱-موقعیت جغرافیایی شهرستان کامیاران

Figure 1- The geographical location of Kamyaran city

به دلیل وجود آب نسبتاً کافی و عریض بودن نسبی بستر رودخانه و خاک آبرفتی حاصلخیز در این منطقه، زراعت و باغداری دارای رونق نسبتاً خوبی می باشد. باغهای گردو، زراعت گندم و جو و گیاهان علوفه ای از جمله یونجه، ذرت و صیفی جات در این مناطق رایج است. گندم و جو محصولات غالب کشت دیم این منطقه می باشد (۴). در استان کردستان، زمان کشت گندم و جو در شرایط دیم، از اول مهر تا آخر مهر می باشد. مناسب ترین رقم مورد کشت گندم وجو به ترتیب سرداری و انصار می‌باشد. در این استان، برداشت جو از اوایل خرداد و برداشت گندم از اوایل تیر آغاز می شود. بذر مورد نیاز در واحد هکتار برای کاشت گندم ۱۴۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم و برای کاشت جو ۱۳۰ تا ۱۴۰ کیلو گرم اعلام شده است (۱۱).

رودخانه‌های موجود در این منطقه شامل رودخانه های یغباسی، وندرنی، الک، رمشک، قصریان و گاورود، حد فاصل سد گاوشان تا محل تلاقی با رودخانه قصریان، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. شکل (۲) موقعیت رودخانه ها و زیرحوضه های مورد مطالعه در محدوده طرح را نشان می‌دهد.



شکل ۲-موقعیت حوضه، زیرحوضه‌ها و رودخانه‌های منطقه کامیاران

Figure 2- Location of basin, sub-basins and rivers in Kamyaran region

منابع آبی موجود

برای برآورد دبی رودخانه‌های منطقه، اقدام به شناسایی و بررسی ایستگاه های هیدرومتری با سابقه و دارای آمار مناسب مناطق مجاور حوضه مورد مطالعه گردید و از آمار آن‌ها استفاده شد. برای تهیه آمار دبی ماهانه رودخانه‌های مجاور به مناطق تحت کشت دیم، از آمار ایستگاه بیار (بر روی رودخانه رازآور) برای زیرحوضه‌های A، B و C، ایستگاه گاوشان برای زیر حوضه D، ایستگاه تونل رمشت برای زیر حوضه E و ایستگاه شیلان-آب شیلان برای زیر حوضه F استفاده شده است. دبی آب رودخانه ها در ماه های مورد نظر بر اساس جدول (۱) است.

جدول ۱- دبی رودخانه‌های هر زیرحوضه در زمان آبیاری تکمیلی (مترمکعب بر ثانیه)

Table 1- Discharge of rivers in each sub-basinsat supplementary irrigation period (m^3/s)

زیرحوضه Sub-basin	ایستگاه Station	فروردین April	اردیبهشت May	آبان November	آذر December
A,B,C	بیار Biar	0.7	1.53	0.07	0.16
E	تونل رمشت Ramesht Tunnel	0.97	0.515	0.412	0.256
F	شیلان-آب شیلان Shilan- ab shilan	0.88	0.5	0.14	0.37
D	گاوشان Ghavoshan	1.87	2.93	0.6	0.42
INT	سد مخزنی گاوشان Ghavoshan storage dam	27.55	7.56	0.972	4.34

پتانسیل‌یابی اراضی

مساحت حوضه‌های آبخیز و واحدهای هیدرولوژیکی در کامیاران، توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و از روی نقشه های ۱:۵۰۰۰۰ محاسبه شد. انجام آبیاری تکمیلی در زمین های دیم نزدیک به منابع آبی و دارای شیب کمتر از ۸ درصد امکان‌پذیر است (۱۳، ۱۴ و ۱۵). مساحت زمین های دارای این قابلیت در زیر حوضه‌های A، B، C، D، E، F و INT به ترتیب برابر با ۱۲۵/۳۹، ۱۵/۵۲، ۱۸/۱۱، ۱۱۱۱/۲۶، ۹۶/۵۱، ۴۸/۱۳ و ۴۹/۵۵ کیلومترمربع تعیین شد.

تابع هدف

هدف از این مطالعه، افزایش عملکرد و به تبع آن سود حاصل از زراعت دیم، از طریق تعیین سطوح کشت بهینه گندم و جو برای تک آبیاری موقع کاشت، تک آبیاری بهاره و جفت آبیاری است. در این تحقیق برای تابع هدف، از مفهوم سود خالص استفاده شده است (رابطه ۱):

$$OF: Maximize\ NB = \sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{4}(B_{i,m} - C_{i,m}) \quad (۱)$$

که در آن:

$$B_{i,m} = A_{i,m} \times Y_{i,m} \times P_i \quad (۲)$$

$$C_{i,m} = A_{i,m} \times CC_i + A_{i,m} \times Y_{i,m} \times CW_i + A_{i,m} \times D_{i,m} \times 10 \times CW + A_{i,m} \times IN_{i,m} \times CI \quad (۳)$$

در تابع هدف فوق، درآمدها (Bi,m) شامل درآمد محصول در مدیریت‌های مختلف آبیاری است. درآمد محصول اصلی هر گیاه از حاصل-ضرب سطح زیر کشت گیاه در مدیریت‌های مختلف (Ai,m) در عملکرد محصول اصلی در واحد سطح همان گیاه و همان مدیریت (Yi,m) در قیمت محصول اصلی هر گیاه (Pi) به دست می آید. هزینه های هر محصول در هر مدیریت آبیاری (Ci,m) نیز شامل هزینه های ثابت در واحد سطح برای هر گیاه (CCi) و هزینه های متغیر کشاورزی شامل هزینه جمع آوری و انتقال هر محصول به مراکز فروش (CWi) و هزینه آب بها به ازای هر متر مکعب (CW) و هزینه هر نوبت آبیاری بر هکتار (CI) است. در این تابع هدف، i شمارش گر محصولات مختلف زراعی دیم و m شمارش گر نوع مدیریت آبیاری شامل دیم، تک آبیاری بهاره، تک آبیاری کاشت و جفت آبیاری است. در این مطالعه، رقم مورد استفاده در کشت و مدیریت زراعی بکار گرفته شده در شرایط دیم، با شرایط آبیاری تکمیلی هیچ گونه تفاوتی ندارد. همان طور که قبلاً اشاره شد، بررسی تأثیر آبیاری تکمیلی (در زمان های مورد نظر) در کشت دیم، بر میزان عملکرد محصول و بهره وری آب در کشاورزی، از اهداف این طرح است.

قیود و محدودیت‌ها

مهمترین محدودیت قابل توجه، شیب زمین های کشاورزی می باشد. بر اساس جدول (۲) تمام زمین های دارای شیب کمتر از ۸ درصد، برای کشت دیم و انجام آبیاری تکمیلی مناسب دیده شده‌اند. بنابراین در هر زیر حوضه، کل مساحت تحت کشت گندم و جو دیم که پتانسیل آبیاری تکمیلی را ندارند نباید از کل مساحت محدود به شیب زیر ۸ درصد بیشتر شود. بر اساس آمارنامه محصولات زراعی (۱۸)، نسبت گندم به جو کاشته شده در اراضی دیم، ۳ به ۱ است. بنابراین مساحت کشت های دیم گندم و جو، به ترتیب باید کمتر یا مساوی ۷۵ درصد و ۲۵ درصد مساحت اراضی دارای شیب کمتر از ۸ درصد در هر زیرحوضه باشد. در نهایت با بهینه سازی سطوح زیرکشت هر محصول در هر زیرحوضه و در هر مدیریت آبیاری، درآمد خالص حاصل از کشت دیم افزایش پیدا خواهد کرد.

جدول ۲- مساحت اراضی دارای شیب کمتر از ۸ درصد در هر زیرحوضه

Table 2- Area of lands with slope later than 8 percent in each sub-basin

زیر حوضه (Sub-basin)	مساحت (Area (Km^2))	اراضی با شیب کمتر از ۸ (Lands with slopes less than 8 (Km^2))	نسبت اراضی با شیب کمتر از ۸ درصد (Ratio of land with slope of less than 8 perecent (%))
A	275.61	125.39	45.5
B	64.22	15.52	24.2
C	66.14	18.11	27.4
E	303.94	96.52	31.75
F	209.38	48.13	23
D	2065.79	1111.26	53.79
INT	266.35	49.55	18.6

علاوه بر این، تأمین منابع آب آبیاری توسط رودخانه ها برای محصولات در هر زیر حوضه، از محدودیت های آب مصرفی است. حجم آب، با توجه به نیاز آبی در نظر گرفته شده برای محصولات در آبیاری تکمیلی، به آنها اختصاص داده می شود. حجم منابع آبی در زمان آبیاری به یک نوبت آبیاری در زمان کاشت محصول، یک نوبت آبیاری در بهار و انجام جفت آبیاری در زمان کاشت و بهار اختصاص پیدا می کند. در رابطه (۴) حجم منابع آبی مورد نیاز آمده است:

$$for\ j = 1:4 \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{4} Q_{i,j} \times t_{i,m}\right] - \left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{m=1}^{4} A_{i,m,j} \times d_{i,m,j}/(E_i)\right] \geq 0 \quad (۴)$$

در رابطه (۴)، $A_{i,m,j}$ سطح زیر کشت هر محصول دیم (i) در هر ماه (j) بر حسب متر مربع و $d_{i,m,j}$ عمق آب خالص برای آبیاری تکمیلی در هر مدیریت آبیاری (m) بر حسب متر می باشد. E_i راندمان آبیاری در اراضی زیر کشت محصول i اُم است. همچنین در این رابطه، $Q_{i,j}$ دبی هر منبع آبی رودخانه در هر ماه (j) بر حسب مترمکعب بر ثانیه برای نیاز آبی محصول (i) بوده و $t_{i,m}$ زمان مجاز برداشت آب برحسب ثانیه از رودخانه است. بنابراین متغیرهای تصمیم در رابطه (۴)، سطح اراضی با مدیریت دیم و یا مدیریت‌های مختلف آبیاری تکمیلی است. تعداد آبیاری تکمیلی حداکثر دو نوبت خواهد بود.

با توجه به ظرفیت رودخانه‌ها برای تأمین نیاز آبی گیاهان مطابق با مدیریت‌های تعریف شده، می‌توان به یک یا دو نوبت آبیاری در طول دوره رشد گیاه اقدام نمود. بنابراین حجم آب مصرفی در هر زیر حوضه نباید از دبی آب موجود در رودخانه در زمان مورد نظر، بیشتر شود. برای آبیاری تکمیلی، از منابع آبی رودخانه‌ها در ماه‌های آبان و آذر برای آبیاری پاییزه و فروردین و اردیبهشت برای آبیاری بهاره استفاده شده است. میزان مناسب آبیاری تکمیلی در منطقه، ۷۵ میلی‌متر در پاییز و ۵۰ میلی‌متر در بهار گزارش شده است (۲۰). میزان عملکرد تحت شرایط دیم و با انجام آبیاری تکمیلی در جدول (۳) آورده شده است. به منظور محاسبه بهره‌وری مصرف آب در سال کشت و تحت شرایط مختلف آبیاری، جمع بارندگی ماهانه شهرستان کامیاران در دوره کشت دو محصول گندم و جو در جدول (۴) آورده شده است.

جدول ۳- عملکرد گندم و جو (کیلوگرم بر هکتار) در شرایط آبیاری تکمیلی مختلف (توکلی و همکاران، ۲۰۱۰)

Table 3- Wheat and barley yield (kg/ha) under the different supplementary irrigation (Tavakoli *et al.* 2010)

محصول Crop	آبیاری پاییزه Planting irrigation 75 (mm)	آبیاری بهاره Spring irrigation 50 (mm)	جفت آبیاری Both irrigation 125 (mm)	دیم Rainfed
گندم Wheat	2430	2560	2770	1180
جو Barley	2630	2940	2630	1340

جدول ٤ - بارندگی ماهانه کامیاران در سال ۲۰۰۸-۲۰۰۹

Table 4- Kamyaran Monthly raifall in 2008-2009

ماه Month	مهر October	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
جمع بارندگی (میلی‌متر) Total rainfall(mm)	97	82.3	35.1	29.3	56.1	65.8	89.2	12.6	2.1

درآمدها و هزینه‌های تولیدمحصول

درآمد حاصل از فروش محصول گندم و جو، شامل درآمد اصلی فروش دانه و درآمد فرعی فروش کاه و کلش می‌باشد. با توجه به قیمت فروش محصولات کشاورزی در کشور، قیمت هر کیلوگرم دانه گندم و جو در سال ۱۳۹۳ در استان کردستان به ترتیب ۱۰۴۴۶ و ۸۴۹۴ ریال و قیمت هر کیلوگرم کاه ۳۰۰۰ ریال بوده است (۱۷). عملکرد محصول فرعی در واحد سطح، با ضریبی که میزان محصول فرعی نسبت به محصول اصلی را نشان می دهد، محاسبه می‌شود. این ضریب برای گیاه گندم و جو، عدد یک است. یعنی به ازای هر کیلوگرم محصول گندم و جو تولید شده، یک کیلوگرم کاه و کلش بدست آمده است (۱۵). بنابراین با داشتن ارقام ذکر شده، می‌توان سود خالص محصولات را محاسبه کرد. در جدول (۵) و (۶) کلیه هزینه‌های تولید محصول که در تابع هدف به آن‌ها اشاره شده، آورده می‌شود.

جدول ۵- هزینه‌های خدمات کشاورزی برای گندم در استان کردستان (۱۰ ریال) (مرکز آمار ایران، ۲۰۱٤)

Table 5- Agricultural service costs for wheat in Kurdistan province (10 rials) (Statistical Center of Iran, 2014)

مدیریت management	هزینه‌های ثابت در واحد هکتار CC_i Fixed costs per hectare						CW_i	CW	CI
	اجاره زمین Land Renting	آماده سازی زمین Land Preparing	بذر Seed	کاشت Planting	داشت Keeping	برداشت Harvesting			
دیم Rainfed	162179	78115	146244	190135	48158	117868	103613	0	0
آبیاری بهاره Spring irrigation	162179	78115	146244	190135	48158	117868	103613	7	12000
آبیاری پاییزه Planting irrigation	162179	78115	146244	190135	48158	117868	103613	7	12000
جفت آبیاری Both irrigation	162179	78115	146244	190135	48158	117868	103613	7	24000

جدول ٦- هزینه های خدمات کشاورزی برای جو در استان کردستان (۱۰ ریال) (مرکز آمار ایران، ۲۰۱٤)

Table 6- Agricultural service costs for barley in Kurdistan province (10 rials) (Statistical Center of Iran, 2014)

مدیریت management	هزینه‌های ثابت در واحد هکتار CC_i Fixed costs per hectare						CW_i	CW	CI
	اجاره زمین Land Renting	آماده سازی زمین Land Preparing	بذر Seed	کاشت Planting	داشت Keeping	برداشت Harvesting			
دیم Rainfed	160364	70000	110422	180033	33882	124989	102423	0	0
آبیاری بهاره Spring irrigation	160364	70000	110422	180033	33882	124989	102423	7	12000
آبیاری پاییزه Planting irrigation	160364	70000	110422	180033	33882	124989	102423	7	12000
جفت آبیاری Both irrigation	160364	70000	110422	180033	33882	124989	102423	7	24000

نتایج و بحث

پس از تهیه نقشه شیب اراضی دیم در منطقه کامیاران، آن دسته از اراضی که دارای شیب مناسب برای آبیاری بودند، شناسایی شد (جدول ۲). محدوده انتخابی برای پتانسیل یابی اراضی دیم در آبیاری تکمیلی، اراضی اطراف رودخانه ها در هر زیر حوضه می باشد. مدل بهینه‌سازی با در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به کشت، برای بهینه کردن سطوح زیر کشت در هر زیرحوضه و با هدف افزایش

سود خالص کل در اراضی دیم، اجرا شد. با توجه به جدول (۱) دبی منابع آبی در هر زیرحوضه و در ماه‌های موردنظر متغیر می‌باشد، بنابراین سطوح بهینه برای مدیریت آبیاری تکمیلی اراضی دیم با تغییر زیرحوضه، تغییر می‌یابد. آمار دبی آب در زیرحوضه‌های A، B و C از یک ایستگاه مشترک برداشت شده است، بنابریان سطوح زیر کشت بهینه در این سه زیرحوضه، به صورت مشترک انجام گرفته است. در جدول (۷) مساحت بهینه کشت برای مدیریت‌های مختلف آبیاری اراضی دیم گندم و جو ارائه شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده، به‌ترتیب ۳۸، ۹ و ۸۰ درصد از اراضی زیرحوضه‌های A+B+C، E و D، همچنان به کشت دیم اختصاص یافته است. دلیل این امر محدودیت منابع آب و وسیع بودن این زیرحوضه‌ها است. بنابراین با آب موجود، تمام زیرحوضه را نمی‌توان آبیاری تکمیلی کرده و قسمت‌هایی از زیرحوضه به‌صورت دیم باقی می‌ماند. اما با توجه به کافی بودن دبی رودخانه در سایر زیرحوضه‌ها و بر اساس عملکرد هریک از تیمارها، منابع آبی به تیمارهای آبیاری تکمیلی با عملکرد بیشتر و سپس به تیمارهای آبیاری تکمیلی با عملکرد کمتر، اختصاص یافته است. برای گندم عملکرد زیاد به کم مربوط به جفت آبیاری، آبیاری بهاره، آبیاری پاییزه و دیم است (جدول ۳) اما در اکثر زیرحوضه‌ها (جدول ۷) مساحت اختصاصی به انواع تیمارهای آبیاری تکمیلی، با توجه به حجم منابع آبی موجود تعیین می‌شود. در کل منطقه کامیاران، ترتیب پذیرش مدیریت آبیاری با تکیه بر دسترسی به منابع آب و افزایش عملکرد، برای گندم به ترتیب آبیاری پاییزه، آبیاری بهاره و جفت آبیاری می‌باشد و برای جو، آبیاری پاییزه بهترین گزینه است. برای آبیاری تکمیلی گندم در زیرحوضه‌های A+B+C، E و D آبیاری بهاره و پاییزه، در زیر حوضه F آبیاری پاییزه و جفت آبیاری و در زیرحوضه INT جفت آبیاری و برای کشت جو در زیرحوضه‌های E، F و INT آبیاری پاییزه پیشنهاد شده است.

جدول ۷- سطوح بهینه در هر زیرحوضه با مدیریت‌های مختلف آبیاری تکمیلی

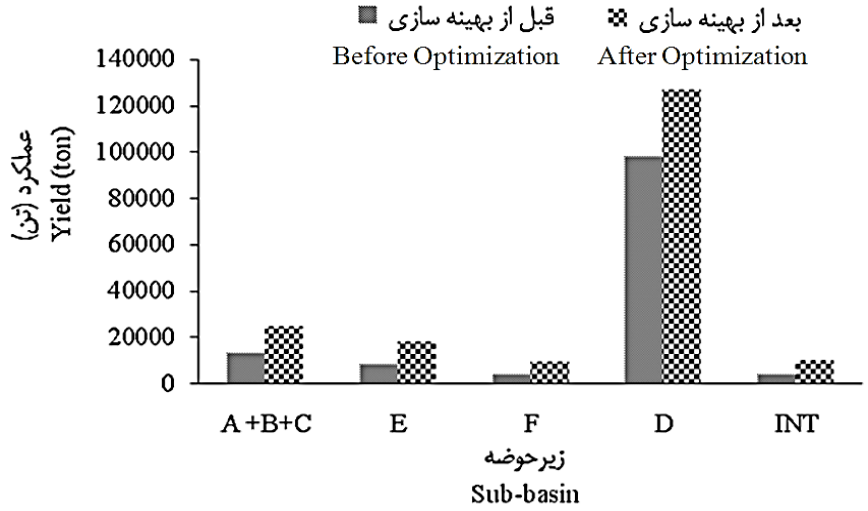
Table7- optimum area in each sub-basin under different supplementary irrigation managements

محصول Crop	مدیریت آبیاری Irrigation Management	عملکرد Yield (Kg/ha)	سطوح زیرکشت در هر زیرحوضه (هکتار) The area under cultivation in each sub-basin (ha)				
			A +B+C	E	F	D	INT
گندم Wheat	دیم Rainfed	1180	2096	0	0	60935.8	0
	آبیاری بهاره Spring irrigation	2560	1223.4	3463	0	5266.95	0
	آبیاری پاییزه Planting irrigation	2430	8000	3775.34	914	17141.76	0
	جفت آبیاری Both irrigation	2770	0	0	2695.7	0	3716.25
جو Barley	دیم Rainfed	1340	3773	881.28	0	27781.5	0
	آبیاری بهاره Spring irrigation	2940	0	0	0	0	0
	آبیاری پاییزه Autumn irrigation	2630	0	1531.46	1203.25	0	1238.75
	جفت آبیاری Pair irrigation	2630	0	0	0	0	0
مجموع Total			15092	9651	4813	111126	4955

با سطوح زیرکشت بهینه هر یک از حوضه‌ها در مدیریت جدید (آبیاری تکمیلی)، عملکرد محصولات و سود خالص حاصل از تولید آنها نسبت به مدیریت سنتی (کشت دیم) تغییر می‌نماید. با توجه به شکل (۳)، مقدار افزایش محصول گندم (با آبیاری تکمیلی) نسبت به کشت سنتی دیم، در زیر حوضه‌های A+B+C، E، F، D و INT به‌ترتیب برابر با ۸۷، ۱۱۲، ۱۲۶، ۲۹، ۱۳۴ بوده است. شکل (۴) افزایش کل محصول جو نسبت به کشت دیم را نشان می‌دهد. این افزایش در زیرحوضه‌های E، ۶۱ درصد، در زیر حوضه F و INT، ۹۶ درصد و در بقیه زیر حوضه ها با کشت دیم برابر بوده است. دلیل افزایش ناچیز محصول در زیر حوضه D نسبت به بقیه زیرحوضه‌ها، انتخاب کشت دیم توسط مدل بهینه سازی برای این اراضی است. علت این انتخاب، مساحت زیاد اراضی در زیر حوضه D و محدودیت منابع آبی می باشد. در تأیید نتایج بدست آمده، مطالعات گذشته (۱۳) نشان داده است که در بالادست حوضه رودخانه کرخه، انجام آبیاری

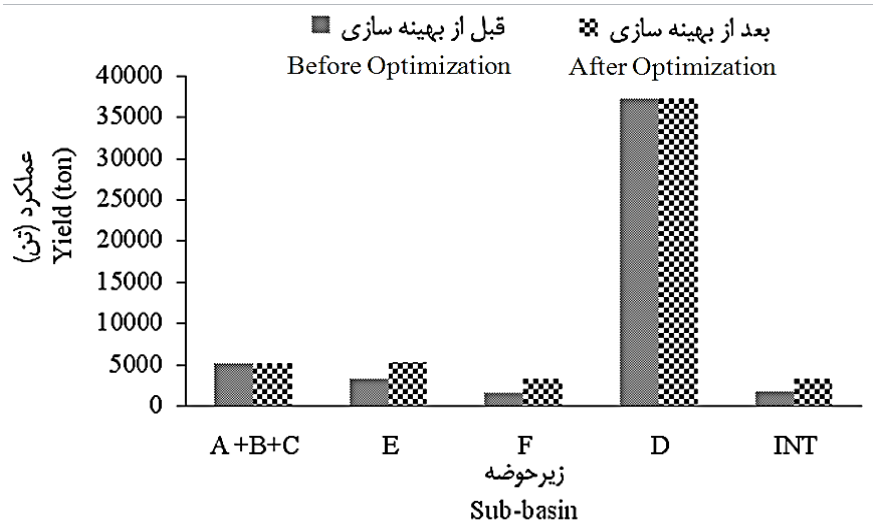
تکمیلی تولید کل گندم و جو را به ترتیب، ۷/۳ و ۱۲/۷ درصد در کرمانشاه و ۱۶/۶ و ۱۹/۳ درصد در لرستان افزایش داده است. بنابراین اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی، تأثیر بسزایی در افزایش تولید محصولات دیم دارد.

اما انتخاب گزینه برتر بین انواع مدیریت آبیاری، بایستی بر اساس شاخص بهره‌وری آب صورت بگیرد. لذا شاخص بهره‌وری آب برای دو محصول گندم و جو در تمام زیرحوضه‌ها، قبل و بعد از اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی، برآورد شده است. نیاز آبی گیاه در شرایط دیم توسط بارندگی‌ها و در مدیریت جدید، توسط مجموع بارندگی و آبیاری تأمین شده است. با توجه به شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که اعمال مدیریت آبیاری بر اساس پیشنهاد مدل بهینه‌سازی، می‌تواند بهره‌وری آب برای محصول گندم و جو را در کل حوضه، به‌ترتیب ۷۴/۸ و ۴۴/۵ درصد افزایش دهد.



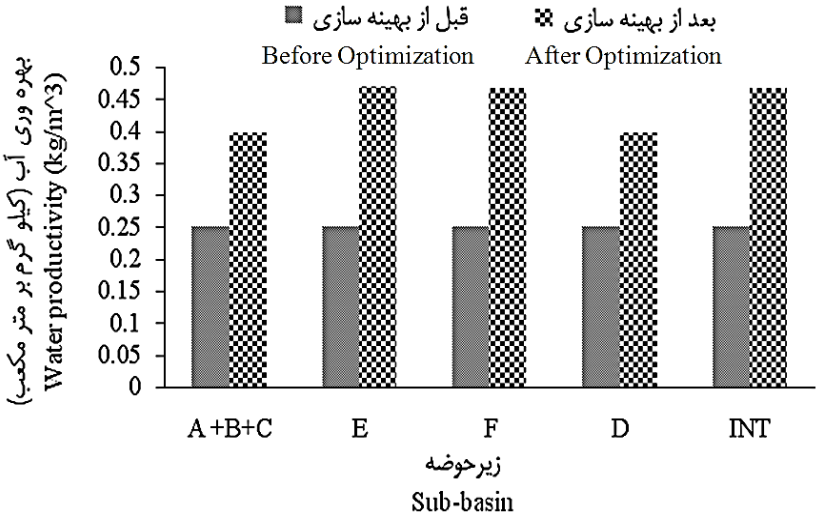
شکل ۳- مقایسه تولید محصول گندم در هر زیرحوضه

Figure 3- Comparison of wheat production in each sub-basin



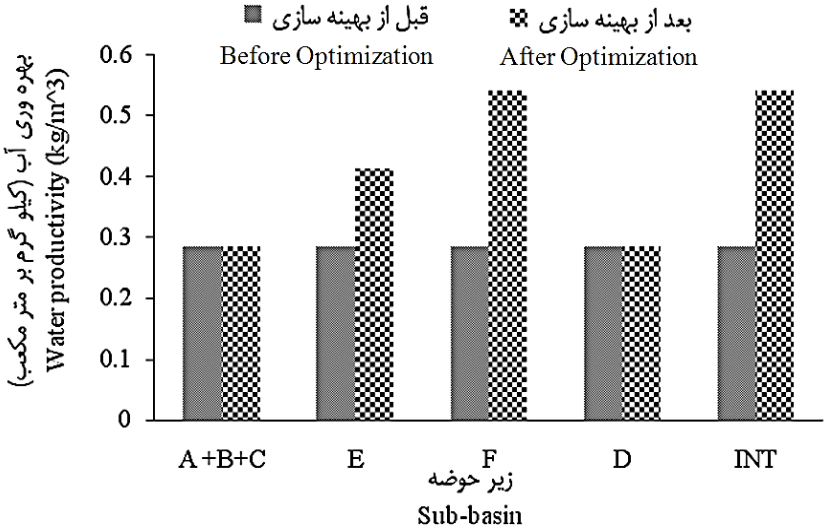
شکل ٤- مقایسه تولید محصول جو در هر زیرحوضه

Figure 4- Comparison of barley production in each sub-basin



شکل ۵- مقایسه بهره‌وری آب برای محصول گندم در هر زیر حوضه

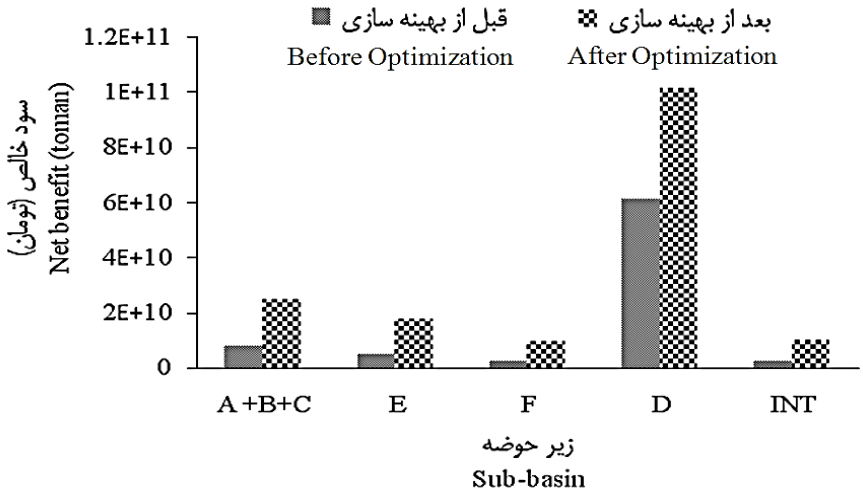
Figure 5- Comparison of wheat water productivity in each sub-basin



شکل ٦- مقایسه بهره وری آب برای محصول جو در هر زیر حوضه

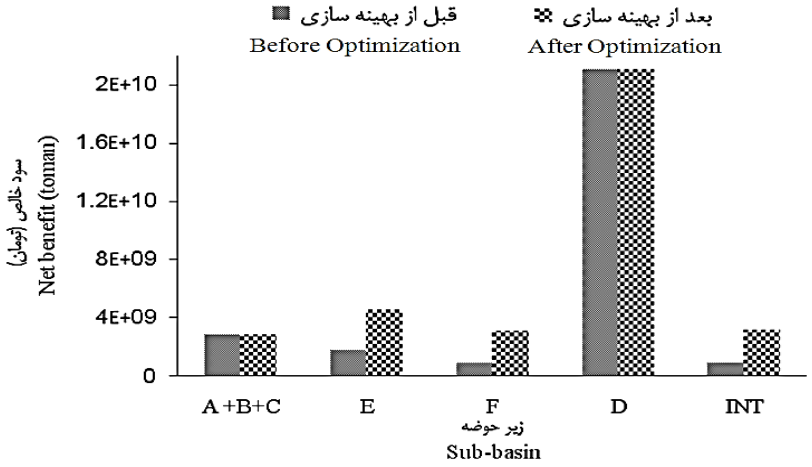
Figure 6- Comparison of barley water productivity in each sub-basin

با توجه به شکل‌های (۷) و (۸) مشاهده می‌شود که درصد افزایش سود حاصل از اعمال مدیریت‌های آبیاری تکمیلی برای کشت گندم در زیرحوضه‌های A+B+C، E، F، D و INT به‌ترتیب برابر با ۲۰۰، ۲۳۷، ۲۷۵، ۶۵ و ۲۷۴ درصد بوده و برای کشت جو در زیر حوضه های E، F و INT به‌ترتیب برابر با ۱۵۲، ۲۴۰ و ۲۴۰ درصد بوده است. همچنین با عنایت به شکل (۹)، افزایش مجموع تولید گندم و جو در کل حوضه، به‌ترتیب ۴۷/۵ و ۱۰/۵ درصد و افزایش مجموع سود خالص گندم و جو ۸۵ درصد بوده است. بنابراین، مدیریت جدید تنها بر اساس اعمال آبیاری تکمیلی در زمان های ذکر شده، تأثیر زیادی در افزایش بهره وری آب، عملکرد محصول و به تبع آن افزایش سود خالص حاصل از کشت محصول، نسبت به مدیریت سنتی (کشت دیم) خواهد داشت. در تأیید مطالب فوق، افزایش سود خالص و تولید در اراضی دیم با مدیریت آبیاری تکمیلی با منابع آب محدود، در بالادست حوضه کرخه و دشت قزوین نیز گزارش شده است (۱۳ و ۱۵). علت افزایش قابل توجه تولید و سودخالص در این مطالعه در قیاس با مطالعات گذشته، دبی مناسب رودخانه‌های منطقه در زمان مناسب آبیاری تکمیلی به خصوص در فصل پاییز و بهار است.



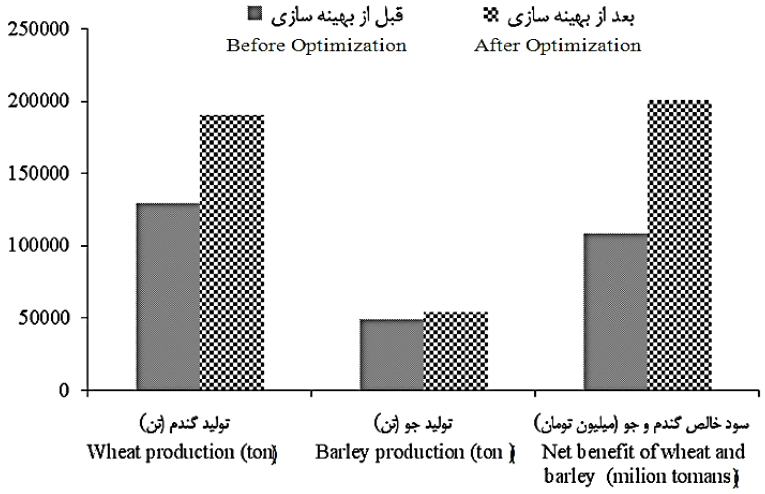
شکل ۷- مقایسه سود خالص محصول گندم در هر زیر حوضه

Figure 7- Comparison of wheat net benefit in each sub-basin



شکل ۸- مقایسه سود خالص محصول جو در هر زیر حوضه

Figure 8- Comparison of barley net benefit in each sub-basin



شکل ۹- مقایسه مجموع تولید و سود در منطقه

Figure 9- Comparison of the total production and net benefit in the region

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به خشکسالی‌های اخیر، مدیریت اراضی دیم برای مقابله با کاهش بارش‌ها ضروری است. این مطالعه افزایش عملکرد و سود خالص محصول، با اجرای مدیریت آبیاری تکمیلی را اثبات می نماید. بر اساس نتایج بدست آمده مشخص شد که به طور متوسط ۳۰ درصد از اراضی تحت کشت در زیر حوضه‌های شهرستان کامیاران، پتانسیل آبیاری تکمیلی را دارند. یعنی در زیر حوضه‌های A، B، C، D، E، F و INT به‌ترتیب ۱۲۵۳۹، ۱۵۵۲، ۱۸۱۱، ۱۱۱۱۲۶، ۹۶۵۱، ۴۸۱۳ و ۴۹۵۵ هکتار از اراضی را می‌توان آبیاری تکمیلی نمود. مدیریت اراضی شامل تک‌آبیاری بهاره، تک‌آبیاری پاییزه و جفت آبیاری به منظور آبیاری تکمیلی دو محصول گندم و جو دیم بوده است. اگر اراضی دارای شیب کمتر از ۸ درصد، به زیر کشت رفته و نتایج این تحقیق به کار گرفته شود، میزان افزایش محصول گندم نسبت به کشت مطلق دیم، در زیر حوضه‌های A+B+C، E، F، D و INT به‌ترتیب برابر با ۸۷، ۱۱۲، ۱۲۶، ۲۹، ۱۳۴ درصد و مقدار افزایش محصول جو نسبت به کشت مطلق دیم در زیر حوضه‌های E، F و INT، به‌ترتیب برابر با ۶۱، ۹۶ و ۹۶ درصد خواهد بود. با به کارگیری این شیوه مدیریتی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳، مجموع سود خالص حاصل از کشت گندم و جو، ۸۵ درصد افزایش را نشان داده است. با اعمال مدیریت آبیاری تکمیلی پیشنهاد شده، انتظار می رود که افزایش بهره وری آب در کل حوضه برای دو محصول گندم و جو، به ترتیب ۷۴/۸ و ۴۴/۵ درصد باشد. افزایش بهره وری آب موجب تخصیص بهینه آب، اصلاح الگوی مصرف و افزایش محصول در واحد سطح می گردد. در نهایت با توجه به محدودیت منابع آب و به منظور افزایش عملکرد گندم و جو و کارایی مصرف آب در شهرستان کامیاران، در زیر حوضه‌های A، B، C آبیاری پاییزه گندم، در زیر حوضه های E، F و INT آبیاری بهاره و پاییزه گندم و آبیاری پاییزه جو و در زیرحوضه D، آبیاری بهاره و پاییزه گندم، توسط مدل بهینه سازی پیشنهاد شده است.

منابع

1. Asana R.D. 1962. Analysis of drought resistance in wheat. Arid Zone Research. 16:183-190.
2. Babazadeh H., Shahrokhi F., Manshoori M., and Davoodi F. 2011. The effect of supplemental irrigation on yield and rainfed wheat yield components of Abhar, Zanjan Province. Journal of Water Resources. The fourth year. 75-83. (in Persian with English abstract)
3. Caliandro A., and Boari F. 1992. Supplementary irrigation in arid and semi-arid regions. In: International conference on supplementary irrigation and drought water management. Bari. Italy.
4. Engineering Advisory company (Abrah Gostar Tadbir). 2014. Studies to determine the privacy and riverbed in organizing of Kamyaran river. (in Persian with English abstract)
5. Economic and Social Commission for Western Asia (ESCWA) and the International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). 2003. Enhancing agricultural productivity through on-farm water use efficiency: An empirical case study of water production in Iraq. United Nation. New York. PP. 34.
6. Ghamarnia H., Farmanifard M., and Sasani, SH. 2012. Review of supplemental irrigation effect on yield and water use efficiency in three new varieties of wheat. Journal of irrigation and water management. Volume 2. (2). 69-83 p. (in Persian with English abstract)
7. Harris H.C. 1991. Implications of climate variability. In: Harris, H.C., Cooper, P.J.M. and Pala, M. Soil and Crop Management for Improved Water Use Efficiency in rainfed areas. Proceedings of an International Workshop, Ankara, Turkey, 1989, ICARDA, Alepo, Syria, 352 p.
8. Hamzei J., and Seyyedi M. 2013. The reaction yield and barley varieties yield with supplemental irrigation in rainfed conditions. Journal of agricultural science and sustainable production. Volume 23. No 4.160-168 p. (in Persian with English abstract)
9. Kocheki A. 1996. Agronomy in arid region. Jahad Daneshgahi press. Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract)
10. Mohammadi M. 1999. The final report of agronomic traits correlated with grain yield in rainfed condition, Agricultural Research Center of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad. No 77.232. 11p. (In Persian with English abstract)
11. Moloodi A., Moradi H., Hamedi F., and Mohammadi, M. 2014. Instructions and issued programs to increase production of autumn crops. Agriculture management. Agricultural Organization of Kurdistan. (in Persian with English abstract)

12. Oweis T.M., Pala M., and Ryan J. 1998. Stabilizing rainfed wheat yield with supplemental irrigation and nitrogen in a Mediterranean climate. Agronomy. 90: 672-681.
13. Ramezani Etedali H., Liaghat A., Parsinejhad M., Tavakkoli A.R., Bozorg haddad O., and Ramezani Etedali M. 2012. Water allocation optimization for supplementary irrigation in rainfed lands to increase total income case study: Upstream Karkheh river basin. J Irrig Drain. 62(1), 74-83.
14. Ramezani Etedali H., 2013. Development of an optimization model for water allocation in irrigated and rainfed lands to increase economical productivity. The degree of ph.D in irrigation and drainage engineering. Irrigation and reclamation engineering department. Faculty of agricultural engineering and technology. University of Tehran.
15. Ramezani Etedali H., Liaghat A., Parsinejhad M., Tavakkoli A.R., and Ababaei, B. 2015. The finding potential of rainfed lands, and optimum allocation of water between irrigated and rainfed lands (case study: Qazvin Plain), Iranian Soil and Water Research, 45(2): 177-186.
16. Roostaei M., Sadeqzadeh D., Hasanpour-Hosni M., Zadhasan I., Rezaei R., Eslami R., Abdiasl G., Soleimani K., Roohi I., Sanjari A., Hesami A., Nadermahmodi K., Haghparast R., Aghaee M., Ahmadi M.M., Daryei A., Afshari F., Torabi M., Dehghan M., and Mardokhi V. 2013. Tak-Ab, a new winter bread wheat cultivar for supplementary irrigation conditions in cold dryland areas of Iran. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 2(3): 177-186. (in Persian with English abstract).
17. Sales prices of products and the cost of agricultural services in rural areas. 2014. Statistical Center of Iran. (in Persian with English abstract).
18. Statistics of farming crops, Ministry of Agriculture, Deputy of Planning, Economy and International, Office of Statistics and Information Technology, Vol. 1, 2009-2010 crop year.
19. Tavakkoli A.R., Belson V., Razavi R., and Feri F. 2004. Reaction of wheat compared to different levels of supplemental irrigation and nitrogen, the final report of rainfed Research Institute, No. 315/82, 114 p.
20. Tavakkoli A.R. 2010. Improvement of water productivity by conjunctive management of limited irrigation and advanced agronomic practices in rainfed cereals farming areas. PhD Thesis. University of Tehran, Iran. (in Persian with English abstract).
21. Zonnoorian H,. Mahdinejhadiani B., and Bayazidi M. 2011. Review of supplementary irrigation effect by sprinkler irrigation systems on rainfed wheat varieties. Quarterly Journal of Plant and Ecosystem. The seventh year. No 26. 15-31. (in Persian with English abstract).

Journal of Water and Soil
Vol. 31, No. 3, Jul.-Agu. 2017, p. 701-714

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۱، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۶، ص. ۷۱۴-۷۰۱

Optimum Water Allocation for Supplementary Irrigation in Wheat and Barley Farms in the Sub-Basins of KamyaranRegion

R. Saeidi[1*]- H. Ramezani Etedali[2]- A. Samadi[3]- A. R. Tavakoli[4]

Received: 04-05-2016
Accepted: 25-12-2016

Introduction: Rainfed agriculture plays an important role in food production. In Iran, 6 million hectares of cultivated landsare rainfed. Moreover, about10% of raw agricultural products are being produced by rainfed agriculture. Yields of rainfed fields are decreased due to drought in recent years in Iran. Supplementary irrigation is a suitable management to improve and enhance the yield of rainfed agriculture. Determination of appropriate time of supplementary irrigation is necessary in each region. But water allocation for this practice is the main challenge, because water resources are restricted. Therefore, water allocation management between irrigated and rainfedfields could be a viable strategy. Water resources for supplementary irrigation in rainfed fields are saved through deficit irrigation in irrigated lands or from rivers. The purpose of this study is optimum water allocation for supplementary irrigation in wheat and barley farms from rivers to around rainfed fields in Kamyaran region. In this study, supplementary irrigation is considered in three management methods of autumn irrigation, spring irrigation and both of them.

Materials and Methods: Kamyaran is located in Kurdistan province in west of Iran. The area of rainfed field is very vast in this region. Usually, rainfed fields are located in high slop lands and far from water resources in Kamyaran region. Supplementary irrigation is possible in rainfed fields around to water resources and with slope of less than 8%. The area of sub-basins with appropriate situations in Kamyaran region was calculated by geographic information system (GIS). Ratio of wheat to barley in rainfed fields is 3 to 1. Rivers in each sub-basin is the only water resources for supplementary irrigation in Kamyarn region. In this study, the objective function is maximizing net benefit. Also, constraints are total available water volumes in rivers at supplementary irrigations times and rainfed fields with appropriate situation for supplementary irrigation. Decision variable is rainfed area with different irrigation managements (autumn supplementary irrigation, spring supplementary irrigation, autumn+spring supplementary irrigations and rainfed managements). The total costs and income of agricultural production are found in statistical books of agriculture jihad in 2008-2009 growing season.

Results and Discussion: The lands around of rivers with suitable slope are about 30% of rainfed land of Kamyaran. The appropriate rainfed fields in sub-basins of A, B, C, D, E, F and INT were 125.39, 15.52, 18.11, 1111.26, 96.51, 48.13 and 49.55 Km^2, respectively. The results of Optimization model showed the supplementary irrigation managements are different in each sub-basin because of different discharge of river in each sub-basin in different months. The optimal supplementary irrigation management for barley rainfed fields is autumnsupplementary irrigation. The yields of barley rainfed fields increase about 90% by autumn supplementary irrigation. The optimal supplementary irrigation managements for wheat are different in each sub-basin, but autumn+spring supplementary irrigations is best managed if water resources will be enough in each sub-basin. Due to restriction of water in rivers at supplementary irrigation time, some of wheat and barley fields remain rainfed in A+B+C and D sub-basin. The results showed minimum and maximum increase of wheat production in D and INT sub-basins are 29 and 134%, respectively. Also production increasing are 87, 112 and 126% in A+B+C, E and F, respectively. Increasing of barley production in the sub-basins of E, F and INT, are 61, 96 and 96%, respectively. Other sub-basins of A+B+C and D remained in rainfed farming**.** Net benefit increase about 65 and 275% for wheat and barley fields respectively, in 2014. Water productivity in all sub-basins for both wheat and barley is 74.8 and 44.5%, respectively.

Conclusions: This study showed supplementary irrigation management increased the yield and net benefit in rainfed fields of Kamyaran sub-basins. Resultsshowed about 30% of rainfed land of Kamyaran, are suitable for supplementary irrigation. The results of optimization models showed total increase of wheat production in

1- Phd candidate of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin-Iran
(*- Corresponding Author Email: saeidi@org.ikiu.ac.ir)
2 and 3- Assistant Professors of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin-Iran
4- Associate Professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

A+B+C,E, F, D and INT sub-basins are 87, 112, 126, 29, 134%, respectively. Also increase of barley production in the sub-basins of E, F and INT, are 61, 96 and 96%, respectively. The result showed production increase about double in Kamayaran region. Also, net benefit increase about 65 and 275% in wheat and barley fields respectively.It has been suggested in A, B, C sub-basin, autumn supplementary irrigation of wheat, in E, F and INT sub-basins, autumn and spring supplementary irrigation for wheat and autumn supplementary irrigation for barley and in D sub-basin, autumn and spring supplementary irrigation for wheat.

Keywords: Kamyaran, Net benefit, Optimization, Supplementary Irrigation.