ارزیابی سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری

محمد هادی نظری فر[1*]، سید محمود رضا بهبهانی[2] و رضوانه مومنی[3]

۱ و ۳- کارشناسان پژوهشی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران

۲* -نویسنده مسئول: دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران nazarifar@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۲۱

چکیده

محدودیت منابع آب، کاربرد موضوع کم آبیاری را به عنوان یک گزینه کارآمد به منظور افزایش بهره‌وری آب ضروری نموده است. در مورد کم آبیاری، تحقیقات زیادی مورد نیاز است. انجام این تحقیقات می‌تواند مدیریت کم آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب را بهبود بخشد. هدف این مطالعه، ارزیابی سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری با رویکرد افزایش بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. به‌منظور بررسی مسأله تنش و عملکرد در پنج محصول باقلا، لوبیا، گندم، سیب زمینی، آفتابگردان در نتیجه اعمال سه سناریوی کم آبیاری ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از مدل رشد گیاهی استفاده گردید. نیاز آبی، شاخص سود خالص بهره‌وری به ازای متر مکعب (NBPD) و هیدرومدول الگوی کشت محاسبه و بر اساس سه معیار، سناریوهای متفاوت کم آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد چون الگوی کشت بهینه با میزان آب مصرفی، تولید و سود بهینه در تعامل بوده از این‌رو انتخاب سطوح بهینه کم آبیاری با هدف بیشتر نمودن شاخص NBPD مناسب می‌باشد. در بین کلیه ترکیب‌های الگوی کشت، الگوی کشتی که در آن برای محصولات لوبیا و باقلا، ۱۰ درصد کم آبیاری، برای محصولات آفتابگردان و سیب زمینی ۲۰ درصد کم آبیاری و برای محصول گندم اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری در نظر گرفته شد دارای حداکثر NBPD بود. برای این الگوی کشت سطح بهینه نسبت به سناریو آبیاری کامل۱۱ درصد افزایش پیدا کرد. در حالی‌که متوسط هیدرومدول بهینه الگوی کشت منتخب نسبت به متوسط هیدرومدول آبیاری کامل حدود ۱۸درصد کاهش نشان داد.

کلید واژه‌ها: *الگوی کشت، بهره‌وری آب، کم آبیاری، مدل رشد گیاهی، هیدرومدول، شاخص* NBPD.

مقدمه

آب عامل اساسی در توسعه پروژه های آبیاری است. مدیریت و برنامه‌ریزی سیستم های آبیاری برای به حداکثر رسانیدن بهره‌وری در شرایط کمبود آب، چالش اساسی و مهم در کشاورزی فاریاب است. در این راستا استفاده از سناریوهای های متفاوت کم آبیاری با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به عنوان یک مدیریت کارآمد آب در مزرعه در جهت افزایش سطح زیرکشت، کارآیی مصرف آب، درآمد اقتصادی و نیز تعیین الگوی کشت بهینه مؤثر باشد. کم آبیاری به عنوان یک استراتژی سودمند اقتصادی در وضعیت محدودیت آبیاری و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی مطرح است(۱۴). کم آبیاری یک روش یا سیستم آبیاری نیست بلکه نوعی مدیریت کارا و پویا در بهره‌برداری به شمار می‌رود که اثر ویژه‌ای بر مدیریت منابع آبی، استحصال، انتقال و مصرف آن و نهایتاً در اقتصاد کشاورزی (افزایش عملکرد و یا سود خالص به ازای واحد آب مصرفی) دارد(۱۹). کم آبیاری یک راهکار بهینه برای به عمل آوردن محصولات تحت شرایط کمبود آب است که همراه با کاهش محصول در واحد سطح و افزایش آن با گسترش سطح می‌باشد(۱). به عنوان مثال گورانتیوار و اسمات[1] اظهار داشته‌اند که کم آبیاری سبب افزایش۳۰ تا ۴۵ درصدی در سطح زیر کشت و افزایش۲۰ تا ۴۰ درصدی تولید محصول شده است(۱۸). همچنین کم آبیاری سبب بهتر شدن کیفیت برخی از محصولات می‌شود، به‌طوری‌که اعمال کم آبیاری موجب افزایش پروتئین و کیفیت بذر گندم و میزان پروتئین محصولات دیگر می‌شود. در ضمن، افزایش طول الیاف کتان، افزایش درصد قند چغندرقند و شیرهٔ انگور، بهبود کیفی (به ویژه بهبود انبارداری و حمل و نقل) و آماده‌سازی گیاه برای خواب زمستانه برخی محصولات از جمله مزایای دیگر کم آبیاری است(۷، ۲، ۴، ۲۵ و ۲۱).

1 - Gorantiwar and Smout

در مورد کم آبیاری، تحقیقات زیادی مورد نیاز است. انجام این تحقیقات می‌تواند مدیریت کم آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب را بهبود بخشد. تاکنون نیز تحقیقات زیادی در زمینه کم آبیاری محصولات مختلف از طریق آزمایش‌های مزرعه‌ای صورت پذیرفته است. در تحقیقی که رستمی و همکاران در دو سال زراعی بر روی عکس العمل ارقام مقاوم یونجه به خشکی در دانشکده کشاورزی شیراز انجام داد مشاهده کرد که با یک یا دو آبیاری به منظور سبز شدن کامل مزرعه بدون آنکه نیازی به آبیاری مجدد باشد، می توان ۹۵۶ کیلوگرم ماده خشک علوفه در هکتار به دست آورد و با دور آبیاری ۳۰ روز یکبار، این مقدار به ۲۰۹۴/۶ کیلوگرم در هکتار و در ۲۰ روز یکبار به ۲۹۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌رسد یعنی با تبدیل دور آبیاری از ۲۰ روز به ۳۰ روز حدود ۳۰ درصد محصول کاهش پیدا خواهد کرد(۶). انگلیش و همکاران[1] تحلیلی روی کم آبیاری به منظور بررسی مفید بودن این استراتژی در سه مکان مختلف روی گندم، پنبه و ذرت اجرا کردند و به این نتیجه رسیدند که کم آبیاری بین ۱۵ تا ۹۵ درصد بسته به شرایط محیطی و مکانی، منجر به حصول سود حداکثر می‌شود (۱۷).

نورجو تأثیر کم آبیاری روی شاخص‌های مصرف آب، کمیت و کیفیت عملکرد چغندر قند را با دو مقدار کم آبیاری(۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) مورد بررسی قرار داد و بیان نمود که تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد ریشه و شکر بسیار معنی‌دار است(۱۰). همچنین داگدلن و همکاران[2] یک آزمایش زراعی در دو سال زراعی در کشور ترکیه و به منظور بررسی اثر کم آبیاری بر روی عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت انجام دادند. آنها نتیجه گرفتند که متوسط دامنه تغییرات کارایی ذرت بین ۱/۶۵ تا ۲/۵ کیلوگرم در متر مکعب است و بیشترین مقدار تغییر آن مربوط به تیمای کم آبیاری می‌باشد(۱۶).

تحلیل مدیریت کم آبیاری و ارزیابی جنبه‌های مختلف آن مستلزم شناسایی پارامترها و میزان اثرگذاری و اثرپذیری برخی از آنها می‌باشد. این اجزا شامل عوامل زراعی (آب، خاک، الگوی کشت)، عوامل اقتصادی، تحلیل ریاضی و اقتصادی و تحلیل‌های آماری است. لذا با توجه به اینکه کم آبیاری به عنوان زیر مجموعه‌ای از مدیریت کم آبیاری نیازمند مدیریتی منسجم، دقیق و کارآمد است که با مدیریت آبیاری کلاسیک کاملاً فرق دارد، بنابراین مدیریت آبیاری باید تعیین نماید که چه درجه‌ای از کم آبیاری و چه نوعی از آن را اعمال نماید. همچنین الگوی بهینه کشت، ارزش اقتصادی، زمان کم آبیاری و فیزیولوژی گیاه و مورفولوژی خاک را کاملاً بررسی و مطالعه کرده باشد.

تکنیک‌هایی که اخیراً ارایه شده اند به شخص تصمیم گیرنده این امکان را می‌دهند که این مسائل و به‌خصوص مسأله تنش و عملکرد را در نظر گرفته و با دقت کم آبیاری را برنامه‌ریزی کند.

1- English et al.
2- Dagdelen et al.

جهت بررسی این تکنیک‌ها نیاز به آزمایش‌های مزرعه‌ای می‌باشد. با توجه به اینکه انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای برای فصل‌ها و موقعیت‌های جغرافیایی مختلف مشکل است استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی از جمله راهکارهایی است که امکان بررسی فرآیندهای اتفاق افتاده در زنجیره خاک- گیاه- اتمسفر، بیلان آبی، شبیه‌سازی فرآیند رشد و مطالعه سناریوهای مختلف مدیریتی را فراهم می‌سازد. مدل‌های رشد گیاهی امکان بررسی مجدد وضعیت گذشته، شبیه‌سازی حال و پیشگویی آینده را می‌دهند و قابلیت تغییر در تمام موقعیت‌ها را دارند. همچنین با اعمال مدیریت مناسب همراه با توانایی پیش‌بینی پارامترهای محیطی، می‌توانند احتمال خطر در آینده را به حداقل برسانند.

تاکنون مدل‌های رشد قابل ملاحظه‌ای ارائه شده است که از مهمترین آنها به ترتیب توسعه می‌توان به مدل‌های SUCROS و دیگر مدل‌های وابسته(۱۵)،CERES (۲۶) و CROPGRO (۳۱)، مدل EPIC و CROPGRO که تحت پوشش DSSAT قرار دارند (۲۰) اشاره نمود اما هر کدام از این مدل‌ها دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. به عنوان نمونه مدل EPIC روشی ساده و در عین حال مؤثر با شبیه‌سازی چند محصول را دارد و برای تحلیل تناوب محصول و سیستم‌های کشت مناسب است ولی با توجه به سادگی توصیف مراحل رشد محصول و فرایندهای بیوفیزیکی وابسته به آن محدودیت‌هایی دارد (۲۸ و ۳۲). تلاش جهت رفع محدودیت‌های قبلی مدل‌ها منجر به توسعه مدل رشد گیاهی دیگری به نام CropSyst گردید. مدل CropSyst با توجه به مفاهیم EPIC طراحی شده است اما از روش جامع‌تری برای شبیه‌سازی رشد گیاه و اثر متقابل آن با مدیریت و محیط اطراف استفاده می‌کند (۲۱). از ویژگی‌های CropSyst می‌توان به موضوع برقراری تعادل بین شناخت کامل مدل‌ها و عملیات طراحی مناسب نرم‌افزار از ابتدای توسعه آن اشاره کرد. در این ارتباط بخشی از اهداف معمول با روش مدل‌سازی APSIM که منابع اساسی را در توسعه کیفیت عملیات مهندسی نرم‌افزار در نظر می‌گیرد، به اشتراک گذاشته شد. این مدل یک مدل شبیه‌سازی سیستم‌های کشت چند ساله، چند محصوله و با گام زمانی روزانه می‌باشد که به عنوان ابزاری جهت تحلیل اثر اقلیم، خاک و مدیریت در بهره‌وری سیستم‌های کشت و محیط، توسعه یافته است (۲۷ و ۲۹).

در حال حاضر کاربرد مدل‌های رشد گیاهی در تحقیقات مربوط به کم آبیاری با توجه به مزایای قابل توجه آن رو به رشد است. منوچی و مکارلی[3] از مدل EPIC جهت برآورد توابع تولید در سطوح مختلف آبیاری الگوی کشت استفاده نمودند. مقایسه نتایج با آزمایش‌های میدانی نشان داد که مدل به خوبی قادر است در ارزیابی سناریوهای مختلف کم آبیاری مورد استفاده قرار گیرد(۲۴). همچنین مدل CropSyst توسط بلهوچتهو همکاران[4]

3-Mannochi and Mecarelli
4- Belhouchette et al.

در سه سطح کم آبیاری برای گندم در تونس مورد ارزیابی قرار گرفت و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های آزمایشی نتایج خوبی را نشان داد(۱۳). بانکوک و همکاران[3] نیز در شرق واشنگتن با استفاده از مدل CropSyst شبیه سازی‌هایی در مورد سطوح مختلف کم آبیاری گندم بهاره و زمستانه با استفاده از عملیات شخم و شیار متفاوت و مدیریت باقیمانده‌های گیاهی در یک دوره شش ساله انجام دادند که نتایج نشان‌PT دهنده تشابه ساختار آماری داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی بود، همچنین داده‌های شبیه‌سازی شده و میدانی، توابع مشابه تولید آب را نتیجه داد(۱۲).

از آن‌جایی‌که الگوی کشت محصولات زراعی به‌عنوان یکی از مهمترین پارامترهای طراحی شبکه‌های آبیاری مطرح بوده که ارتباط مستقیمی با بهره‌وری این سیستم‌ها و دستیابی به بهبود بهره‌برداری منابع آب و خاک ایفا می‌نماید، برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری مناسب در تعیین و تغییر الگوی کشت (به خصوص در شرایط کمبود آب)، بهره‌وری سیستم را ارتقاء بخشیده و زمینه تحقق مدیریت تقاضا مدار با ملحوظ داشتن اثر منبع را فراهم می‌کند. علاوه بر آن الگوی کشت بهینه با میزان آب مصرفی، تولید و سود بهینه در تعامل بوده و از این‌رو می‌تواند از دو جنبه افزایش درآمد و کارایی مصرف آب نقش قابل توجهی در بهبود مدیریت شبکه‌های آبیاری ایفا نماید. در این راستا با توجه به قابلیت‌های مدل رشد گیاهی، امکان بررسی اثر تعاملی و تقابلی پارامترهای متعدد موثر در مدیریت کم آبیاری فراهم و امکان بهینه نمودن عوامل اساسی توسعه پروژه‌های کشاورزی(آب الگوی کشت، و سطح زیر کشت) میسر می‌گردد.

هدف از انجام تحقیق حاضر، ارزیابی سناریوهای متفاوت کم آبیاری و تعیین هیدرومدول و سطح بهینه الگوی کشت در شرایط کم آبیاری با رویکرد افزایش بهره‌وری مصرف آب در سطح شبکه آبیاری و زهکشی شهید چمران می‌باشد. بدین منظور مدل رشد گیاهی CropSyst مورد ارزیابی قرار گرفت و تابع هدف جهت بهینه‌سازی شاخص بهره‌وری سود خالص به واحد حجم آب مصرفی در نظر گرفته شد و بهینه‌سازی با هدف حداکثر نمودن این شاخص صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، اراضی تحت پوشش یک کانال درجه دو آبیاری مربوط به طرح شبکه آبیاری و زهکشی توسعه اراضی شهید چمران اهواز می‌باشد. این طرح در جنوب غربی شهر اهواز و حد فاصل جاده اهواز- خرمشهر تا هور العظیم واقع شده است. سطح کل منطقه طرح در حدود ۵۰۰۰۰ هکتار است. بافت خاک اراضی عمدتاً سنگین تا نیمه سنگین و شوری(EC) اراضی بالای چهار دسی زیمنس بر متر می‌باشد. منبع تأمین آب برای طرح، رودخانه کرخه است که محل آبگیری آن نیز در مجاورت سد انحرافی کرخه قرار دارد. در جدول (۱) آب مورد نیاز طرح و میزان شوری (EC) آب آبیاری در محل برداشت آب نشان داده شده است(۹).

یک کانال درجه دو با نام GC19 از طرح مزبور انتخاب گردید و پارامترهای مورد نیاز مدل برای این کانال تهیه و به مدل اعمال شد. سطح تحت کشت کانال GC19 معادل ۱۰۰۰ هکتار و طول آن ۸۰۰۰ متر است. الگوی کشت مورد بررسی برای کاشت در محدوده این کانال شامل باقلا، لوبیا، سیب زمینی، آفتابگردان و گندم می‌باشد. تخصیص آب برای اراضی این منطقه یک متر مکعب در ثانیه است و با این مقدار آب، با توجه به عدم محدودیت نسبی زمین، ۲۱ درصد اراضی به باقلا، ۳۰ درصد به لوبیا، ۳۱ درصد به سیب زمینی، ۱۸ درصد به آفتابگردان و با آب اضافی گندم کشت می‌گردد.

در این مدل که هدف آن شبیه‌سازی رشد محصول در بخش‌های مختلف اراضی با در نظر گرفتن شرایط یکنواختی خاک، آب و هوا، تناوب محصول و مدیریت می‌باشد، رشد گیاه و اجزای آن توصیف شده است. ترکیب این گزینه‌ها با روش اولر و گام زمانی روزانه صورت می‌گیرد. بیلان آبی در مدل شامل بارش، آبیاری، رواناب، برگاب، نفوذ آب، توزیع مجدد آب در پروفیل خاک، فرونشت عمقی، تعرق محصول و تبخیر می‌باشد. توزیع مجدد آب در خاک می‌تواند با روش آبشاری ساده یا حل عددی معادله جریان خاک ریچارد شبیه‌سازی شود. CropSyst برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع(ET0)، دو گزینه مدل پنمن- مانتیث و مدل پریستلی- تیلور را پیشنهاد می‌کند. شبیه‌سازی عملکرد نیز بستگی به زیست توده تجمعی در بلوغ فیزیولوژیکی (B_{PM}) و شاخص برداشت دارد:

$$HI = \frac{\text{عملکرد قابل برداشت}}{\text{بیوماس روی سطح زمین}} \qquad (۱)$$

$$Y = B_{PM} HI \qquad (۲)$$

Y = عملکرد ($kg\ m^{-2}$)

HI= شاخص برداشت

واحد B_{PM} نیز $kg\ m^{-2}$ می‌باشد. شاخص برداشت بر مبنای شرایط بدون تنشی که با شدت تنش (آب و نیتروژن) و حساسیت محصول به تنش در طول گلدهی و کامل شدن اصلاح می‌شود تعیین شده است.

[3]- Bannkuk et al.

جدول شماره۱- مقادیر آب مورد نیاز طرح و شوری آب آبیاری(سال ۱۳۸۵)

ماه	دبی مورد نیاز (m^3/s)	شوری آب آبیاری(dS/m)
Jan	۱۴/۰۲	۱/۲۳
Feb	۲۰/۶۷	۱/۱۵
Mar	۲۸/۹	۱/۱۲
Apr	۳۳/۲۸	۰/۹۱
May	۲۷/۴۵	۰/۹۰
June	۱۷/۸۲	۱/۴۷
Jul	۱۷/۰۷	۱/۷۶
Agu	۲۷/۷۰	۲/۰۵
Sep	۳۸/۴	۲/۰۵
Oct	۳۳/۳۲	۱/۷۵
Nov	۱۸/۱۳	۱/۵۸
Dec	۶/۶۲	۱/۴۴

رشد بیوماس در CropSyst ابتدا بدون وارد شدن تنش و بر اساس تعرق پتانسیل گیاه و مقدار تابش فعال فتوسنتزی روزانه حایل شده توسط آن، محاسبه می‌گردد. سپس رشد پتانسیل با محدودیت‌های آبی و نیتروژن تصحیح می‌شود تا مقدار واقعی بیوماس روزانه تعیین گردد. گذرگاه معمول برای تبادل بخار و کربن در برگ‌ها قرار گرفته و بین تعرق گیاه و تولید بیوماس رابطه‌ای وجود دارد. بنابراین تولید پتانسیل بیوماس روزانه را می‌توان با فرمول زیر محاسبه کرد (۳۰):

$$B_{PT} = \frac{K_{BT} T_P}{VPD} \qquad (۳)$$

B_{PT} = تولید بیوماس وابسته به تعرق پتانسیل گیاه ($kg\ m^{-2}\ (day^{-1}$)

T_P = تعرق پتانسیل گیاه ($kg\ m^{-2}\ day^{-1}$)

VPD = میانگین روزانه کمبود فشار بخار اشباع (kPa)

K_{BT} = ضریب تعرق بیوماس (kPa)

مقادیر پارامتر اخیر در مطالعات قبلی، موجود است (۳۰ و ۲۳).

رابطه تانر- سینکلایر در مقادیر کم VPDناپایدار می شود و در VPD نزدیک به صفر، رشد نامحدودی را پیش‌بینی می‌کند. برای غلبه بر این مشکل، مانتیث برآورد ثانویه‌ای از تولید بدون تنش بیوماس را محاسبه کرده است:

$$B_{IPAR} = eIPAR \qquad (۴)$$

B_{IPAR} = تولید بیوماس وابسته به PAR حایل شده ($kg\ (m^{-2}\ day^{-1}$)

e = راندمان کاربرد تابش ($kg\ MJ^{-1}$)

$IPAR$ = مقدار تابش فعال فتوسنتزی حایل شده روزانه توسط گیاه ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$).

مقادیر پارامتر e را می‌توان با مراجعه به مطالعات قبلی پیدا کرد (۲۲).

برای استفاده از مدل پارامتردهی، اعتباریابی و کالیبراسیون آن ضروری می‌باشد. کالیبراسیون مدل با توجه به داده‌های آزمایشی جمع‌آوری شده(طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی که برای محصولات منتخب در سال‌های مختلف در مراکز تحقیقاتی منطقه انجام پذیرفته است (۵،۳، ۸ و ۱۱) و زیر برنامه Crop Calibration نسخه ۴/۰۴/۱۳ مدل CropSyst انجام گرفت. از تکنیک‌های رگرسیون خطی، شاخص توافق ویلموت، ریشه میانگین مربعات خطا[1] (RMSE)، انحراف استاندارد کلی[2] (GSD)، میانگین انحراف[3](ME) و میانگین خطای مطلق[4] (MAE) نیز جهت تحلیل کارایی مدل استفاده شد. در این مطالعه داده‌های هواشناسی مربوط به ایستگاه هواشناسی اهواز که در نزدیکی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. از یک مولد هواشناسی جهت پردازش اطلاعات مورد نیاز استفاده شد. به همین منظور داده‌های دما، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و غیره برای تک تک دوره‌های آماری و ایستگاه‌ها در مدل ClimGen که یک مولد هواشناسی و نیز از ضمائم مدل CropSyst می‌باشد وارد و مراحل فرآوری داده‌های هواشناسی و سپس بررسی و اصلاح داده‌های نادرست انجام شد.

مدل CropSyst امکاناتی را برای تعیین نوع عملیات مدیریتی شخم و کاشت، باقیمانده گیاهی، آبیاری، کوددهی نیتروژنی، برداشت و حفاظت خاک در نظر می‌گیرد. به همین جهت از داده‌ها و اطلاعات منطقه ای، گزارش‌ها و تحقیقات انجام پذیرفته(فائو- منطقه‌ای) و راهنمای مدل به عنوان منابع اطلاعاتی استفاده شد. مدل برای سناریوهای مختلف کم آبیاری به دو روش

1- Root Mean Square Error
2- General Standard Deviation
3- Mean Eror
4 -Mean absolute Error

کاهش یکسان و کاهش متغیر میزان آبیاری بر اساس مراحل رشد در دور ثابت اجرا مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به اینکه محدودیت آب، عمده‌ترین عامل منفی و بازدارنده در زراعت آبیاری محسوب می‌شود، در این تحقیق تأثیر کم آبیاری روی هیدرومدول آبیاری الگوی کشت بررسی و در نهایت بر اساس تابع هدف شاخص سود خالص بهره‌وری به ازای متر مکعب (NBPD) هیدرومدول مناسب تعیین گردید. شاخصNBPD یکی از شاخص‌های مفید اندازه‌گیری بهره وری آب درکشاورزی است که از نسبت مقدار سود خالص حاصل از فروش محصول به مقدار آب مصرف شده محاسبه می‌شود. اگر چه محاسبه این شاخص قدری مشکل می‌باشد ولی از دقت بالاتری نسبت به شاخص‌های دیگر برخوردار است. در تحقیق حاضر، به منظور محاسبه شاخص بهره‌وری ارزش افزوده به ازای یک مترمکعب آب مصرفی، نیاز خالص آبی گیاهان از روش پنمن توسط ویرایشگر ClimGen مدل رشد محاسبه گردید. چون روش آبیاری مزارع ثقلی می‌باشد با ملحوظ کردن راندمان آبیاری منطقه، نیاز ناخالص آبیاری تعیین شد.

ستاده در محاسبه شاخص NBPD، ارزش خالص و یا ارزش افزوده محصولات است که برای برآورد آن ریز اقلام هزینه‌های تولید محصولات شامل هزینه‌های نهاده‌ای، هزینه ماشین آلات و هزینه‌های نیروی کار برای گیاهان مورد بررسی قرار می گیرد.

ارزش ناخالص تولید، حاصلضرب قیمت محصول در عملکرد آن است و ارزش افزوده محصولات که از مجموع ارزش خالص محصولات و هزینه کارگری محاسبه می‌شود، علاوه بر ارزش خالص در برگیرنده اشتغال‌زایی نیز می‌باشد.

در این مطالعه تعیین هیدرومدول، سطح و الگوی کشت بهینه، با بیشنه نمودن شاخص NBPD صورت گرفته که به صورت زیر قابل نمایش می‌باشد:

$$Max((B/Vol)_S) = Max\left(\frac{\sum_{j=1}^{n} B_j.A_j}{\sum_{j=1}^{n} A_j.W_{op(j)}}\right) \qquad (۵)$$

که در آن (B/vol)sنسبت سود خالص به حجم آب مصرفی در شبکه آبیاری، B_j سود خالص حاصل از کشت محصول j و A_j سطح زیر کشت محصول و Wop(j)عمق بهینه آب آبیاری محصولj می‌باشد.

سود خالص حاصل از کشت هر محصول از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$B_j = (B_m + B_l)_j - (C_l + C_w)_j \qquad (۶)$$

که در آن، B_m و B_l به ترتیب سود حاصل از تولیدات اصلی و فرعی محصول j به ازای عمق بهینه آب آبیاری، C_l هزینه کارگری و سایر هزینه‌های تولید به‌جز آب و C_w هزینه آب مصرفی (تخصیص یافته) محصول می‌باشد. برای بیشینه نمودن تابع هدف فوق (رابطه ۵)، می‌بایست توابع محدودیت زیر در نظر گرفته شود:

$$A_j \geq 0 \qquad (۷)$$

$$A_{Min(j)} \leq A_j \leq A_{Max(j)} \qquad (۸)$$

$$\sum_{j=1}^{m} W_{op(j)} .A_j \leq W_T .A_T \qquad (۹)$$

در روابط فوق، A_T کل سطح زیر کشت ممکن شبکه آبیاری، Min(j) و Max(j) به ترتیب حداقل و حداکثر سطح زیرکشت ممکن برای محصول j می‌باشد.

در این تحقیق، بهینه‌سازی تابع هدف با استفاده از میکروسافت اکسل سولور[1] انجام گردید.

نتایج و بحث

شکل(۱) نمونه نتایج حاصل از اعتباریابی مدل در مورد محصول گندم با استفاده از داده‌های سال‌های زراعی ۸۳-۱۳۸۰ یک مزرعه آزمایشی در ایستگاه تحقیقاتی را نشان می‌دهد. در مزرعه مذکور دور آبیاری در چهار تیمار، بعد از ۵۰، ۶۵، ۸۰ و ۹۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت کلاس A انجام شده است. در هر نوبت آبیاری به اندازه میزان تبخیر تجمعی از تشت در آن تیمار آبیاری انجام گرفته است.

همچنین در جدول(۲) نتایج ارزیابی عملکرد برآورد شده توسط مدل به کمک شاخص‌های آماری ارائه شده است.ضریب همبستگی مقادیر واقعی برآورد شده توسط مدل برای محصول گندم۰/۷۶ درصد و ریشه میانگین مربعات خطاها ۰/۴۴تن در هکتار است. همچنین شاخص میانگین خطای مطلق و انحراف مدل نشان می‌دهد که مدل با خطای ۳۷۸ و ۱۱۰ کیلوگرم بر هکتار، عملکرد محصول گندم را برآورد نموده و از دقت قابل قبولی برخوردار است. بررسی نتایج صحت‌یابی بیانگر این واقعیت است که مدل در شرایط مورد مطالعه از دقت قابل قبولی برخوردار است. بنابراین می‌توان از آن برای شبیه‌سازی عملکرد محصول در شرایط مختلف کمی و کیفی آب کاربردی و عملیات زراعی استفاده کرد. با انجام عملیات پارامتردهی و اجرای مدل، میزان عملکرد محصولات در سناریوهای مختلف کم آبیاری، پیش‌بینی و در جدول (۳) ارائه گردیده است. همچنین از آن‌جایی‌که کم آبیاری

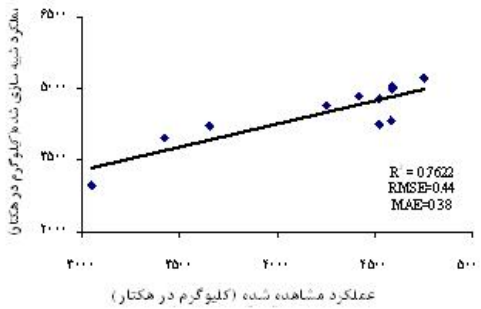
1 -Microsoft excel solver

جدول (۲): شاخص های سازگاری ارزیابی کارایی مدل با استفاده از عملکردهای واقعی و شبیه سازی شده (تن در هکتار)

محصول / شاخص	گندم	باقلا	لوبیا	سیب زمینی	آفتابگردان
GSD	۰/۰۱۸	۰/۰۲۱	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۴۱
d	۱/۰۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۹	۱
R^2	۰/۷۶	۰/۶۸	۰/۷۸	۰/۵۹	۰/۶۲
RMSE	۰/۴۴	۲/۹	۱/۳	۶/۹۷	۳/۴
MAE	۰/۳۷۸	۱/۹۹	۲/۰۵	۵/۹۷	۱/۲
ME	-۰/۱۱	-۰/۹	-۰/۸۲	-۵/۷	۲/۳۵
متوسط عملکرد	۵/۰۸	۳/۲۰	۲/۴۰۰	۳۸/۰۴	۱/۸

جدول۳- مقادیر عملکرد پیش بینی شده محصولات منتخب تحت اعمال سناریوهای مختلف کم آبیاری(کیلوگرم در هکتار)

نام محصول	حساس ترین مرحله واکنش عملکرد به آب	سناریوی آبیاری کامل	سناریوی ۱۰درصد کم آبیاری	سناریوی ۲۰درصد کم آبیاری	سناریوی ۳۰درصد کم آبیاری
باقلا	شکل گیری	۲۰۸۵	۱۸۵۰	۱۸۶۲	۱۵۷۹
لوبیا	گلدهی	۱۸۰۰	۱۶۴۲	۱۴۹۵	۱۳۲۴
گندم	گلدهی	۳۵۸۰	۳۲۴۰	۳۰۲۱	۲۸۹۴
سیب زمینی	شکل گیری	۲۶۰۰۰	۲۵۲۱۰	۲۳۵۹۰	۲۱۵۴۰
آفتابگردان	گلدهی	۱۲۳۰	۱۱۹۸	۱۰۸۴	۹۷۸



شکل۱- مقایسه عملکردهای شبیه‌سازی شده و واقعی محصول گندم (کیلوگرم در هکتار)

انجام شده، از روش کاهش متغیر میزان آبیاری برای مراحل رشد استفاده می‌کند با انجام عملیات سعی و خطا، عملکرد بیشینه برای سناریوهای کم آبیاری با توجه به ضریب واکنش عملکرد به آب هر محصول و تغییرات آن در مراحل مختلف رشد، تعیین شد.

حساس‌ترین مرحله از نظر واکنش عملکرد به آب نیز برای هر محصول در این جدول قابل مشاهده است.

بررسی نتایج محاسبات نشان می‌دهد که وقتی کمبود آب در زمان خاصی از کل دوره رشد یک محصول رخ می‌دهد واکنش عملکرد نسبت به آن عمدتاً مربوط به نحوه حساسیت محصول به کمبود آب در آن دوره خاص است. به طور کلی بر اساس گزارش‌های انتشار یافته از فائو، حساسیت به کمبود آب در دوره‌های جوانه‌زدن، گلدهی و شکل‌گیری محصولات نسبت به دوره‌های اولیه و اواخر رشد بیشتر است. در بین محصولات فوق، حساس‌ترین مرحله نسبت به اعمال کم آبیاری برای محصولات لوبیا، گندم و آفتابگردان، مرحله گلدهی است و برای سایر محصولات مرحله شکل‌گیری می‌باشد. قابلیت این مدل در ارزیابی و تعیین مراحل حساس رشد گیاه نسبت به عوامل تولید یکی دیگر از توانمندی‌های این مدل است که می‌توان از آن جهت مدیریت تخصیص آب سود جست.

چون برای محاسبه هیدرومدول آبیاری، نیاز ناخالص (یعنی لحاظ نمودن راندمان آبیاری و ضریب آبشویی در نیاز خالص آب آبیاری) نیاز است، در جدول(۴)نیاز آبیاری گیاهان الگوی کشت با نگرش آبیاری کامل و کم آبیاری در دو سطح یکسان و متغییر بر حسب میلی متر ارائه شده است. بر اساس جدول (۴) برای کلیه محصولات به‌جز گندم، ماه تیر به عنوان ماه بحرانی است و بیشترین و کمترین مقدار نیاز آبی به ترتیب مربوط به محصولات لوبیا و سیب‌زمینی می‌باشد.همچنین با توجه به نیاز آبی محصولات مختلف، هیدرومدول آبیاری ماهیانه محصولات بر حسب دبی در واحد سطح (لیتر در ثانیه در هکتار) مربوط به چهار راهکار آبیاری در جدول(۵) ارائه شده است. با توجه به جدول(۶) و بر اساس مجموع هیدرومدول‌های محصولات در ماه‌های مختلف مشخص است که ماه تیر به عنوان ماه بحرانی است. گیاه لوبیا دارای حداکثر مقدار هیدرومدول(۰/۳۹) و گیاه آفتابگردان دارای حداقل مقدار هیدرومدول(۰/۱۵) می‌باشد. بر این اساس سطح زیر کشت محصولات در راهکارهای مختلف آبیاری تعیین می‌شود محاسبه سطح زیر کشت محصولات بر اساس کل آب تخصیص یافته، مجموع هیدرومدول آبی محصولات (جدول۶) و ترکیب کشت صورت می‌گیرد(جدول۷). بر مبنای نتایج جدول(۵) و اعمال درصد سطوح کشت پیشنهادی محصولات الگوی کشت (۲۱ درصد باقلا،۳۰ درصد لوبیا، ۳۱ درصد سیب‌زمینی و ۱۸ درصد آفتابگردان)،مقادیر هیدرومدول اصلاح شده به دست می‌آید که در جدول(۶) درج شده است. با توجه به اینکه حداکثر نیاز آبی گندم(جدول۴) در اردیبهشت ماه اتفاق می‌افتد در این ماه محصولات دیگر به آب کمتری نیاز دارند و فقط محصولات آفتابگردان، سیب‌زمینی و باقلا هستند که در اردیبهشت ماه به آب و آبیاری احتیاج دارند و مازاد آب در این ماه به گندم اختصاص می‌یابد. بدین صورت که ابتدا با توجه به سطح زیر کشت محصولات مذکور و هیدورمدول این محصولات در اردیبهشت ماه(جدول۵)، میزان آب تخصیص یافته به آنها محاسبه و در نهایت میزان آب مازاد برای تخصیص دادن به گندم به‌دست می‌آید. همچنین نتایج جدول(۷) به خوبی نشان می‌دهند در حالتی که کم آبیاری بطور یکسان برای کلیه محصولات الگوی کشت اعمال می‌گردد، کاهش ۱۰درصد آب مصرفی باعث افزایش هفت درصدی سطح زیر کشت،کاهش ۲۰ درصد آب مصرفی موجب افزایش ۲۱ درصدی سطح زیر کشت و با اعمال کم آبیاری ۳۰درصد سطح کشت به میزان ۴۸/۶ درصد افزایش می یابد. لازم به ذکر است که حجم آب مصرفی ثابت است. اعمال یکسان کم آبیاری برای کلیه محصولات در ترکیب الگوی کشت و انتخاب سناریوی کم آبیاری بهینه تنها بر اساس معیار افزایش سطح، صحیح و معقول به نظر نمی‌رسد، چرا که ممکن است کاهش عملکرد کل و افزایش هزینه‌ها برای برخی محصولات در نتیجه اعمال کم آبیاری چشمگیر باشد و افزایش سطح موجب شده نتواند عملکرد مطلوبی را با توجه به هزینه‌ها حاصل نماید. بنابراین باید انتخاب سناریوی کم آبیاری بهینه بر اساس شاخص‌های دیگری مورد ارزیابی قرار گیرد.

شکل‌های(۲) و (۳) درصد تغییرات عملکرد و سطح زیر کشت در سناریوهای مختلف کم آبیاری را نشان می‌دهند. بیشترین درصد تغییرات سطح و در نتیجه عملکرد مربوط به گندم برای سناریو ۳۰ درصد کم آبیاری می‌باشد. از آن‌جایی‌که اعمال سناریوی کم آبیاری بالاتر موجب افزایش سطح ولی کاهش عملکرد در واحد سطح می‌گردد به‌منظور ارزیابی بهتر شاخص جدید عملکرد –سطح تعریف می‌گردد تا در سناریوهای مختلف کم آبیاری، تغییرات عملکرد محصول در ازای افزایش سطح بهتر ارزیابی گردد.

بررسی جدول‌ها و شکال‌ها نشان می‌دهد که میزان عملکرد کل باقلا در سناریوی آبیاری کامل در مقایسه با سایر سناریوها به ترتیب ۵۸۴۱، ۶۳۴۸۸ و ۶۹۲۱۲ کیلوگرم تفاوت دارد. اختلاف عملکرد در بین سناریوهای کم آبیاری ناچیز و قابل اغماض است. این اختلاف عملکردهای بسیار کم در مقایسه با مصرف آب اضافی و قیمت تأمین آب و هزینه‌های آبیاری قابل توجیه نمی‌باشد. زیرا تغییر سناریوی آبیاری کامل به سناریوی ۱۰ درصدی موجب می‌شود عملکرد و سطح به ترتیب به میزان ۲۸ درصد و ۲۰ درصد تغییر نمایند. به بیان دیگر در این وضعیت تغییر یک واحد عملکرد محصول نیازمند به تغییر ۰/۷۱ واحد سطح می‌باشد. در حالی‌که انتخاب سناریوی ۲۰ درصدی موجب افزایش مقدار شاخص عملکرد – سطح تا ۰/۷۸ می‌گردد. بنابراین اختلاف عملکرد در سناریوی ۱۰ درصدی با سناریوی آبیاری کامل چشمگیر و قابل توجیه می‌باشد. اعمال این سناریو موجب می‌شود که سطح زیر کشت به میزان ۲۲ هکتار افزایش یابد. بر اساس

شاخص فوق، برای محصولات سیب‌زمینی و لوبیا نیز همانند باقلا انتخاب سناریوی ۱۰ درصدی مناسب است. در محصول آفتابگردان انتخاب سناریوی ۲۰ درصدی نسبت به سایر سناریوها بهتر است. انتخاب این سطح کم آبیاری باعث افزایش ۶۴ هکتار در سطح و ۴۰۹۰۶ کیلوگرم در هکتار در عملکرد می‌شود. انتخاب سناریوی ۳۰ درصد کم آبیاری فقط در مورد گندم مناسب است چرا که باعث افزایش عملکرد به میزان ۱۵۶۲۱۴۵ کیلوگرم در هکتار نسبت به آبیاری کامل می‌گردد. این افزایش عملکرد به علت افزایش در سطح به میزان ۶۹۷ هکتار در مقایسه با سناریوی آبیاری کامل و اعمال تنش در مرحله ای مناسب از رشد محصول می‌باشد

جدول٤- نیاز آبی گیاهان بر حسب میلی متر تحت مدیریت آبیاری کامل و سطوح مختلف کم آبیاری

گیاه		اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	جمع
گندم	۱	۹۹	۲۰۷	۲۷۶	–	–	–	–	۵۸۲,۶
	۲	۸۹	۱۸۶	۲۴۸	–	–	–	–	۵۲۴,۳
	۳	۷۱	۱۴۹	۱۹۹	–	–	–	–	۴۱۹,۴
	۴	۴۹	۱۰۴	۱۳۹	–	–	–	–	۲۹۳,۶
لوبیا	۱	–	–	–	۲۱۵	۳۴۶	۲۱۵	۱۱۵	۸۹۲,۲۰
	۲	–	–	–	۱۹۳	۳۱۱	۱۹۴	۱۰۱	۸۰۰
	۳	–	–	–	۱۵۴	۲۴۹	۱۵۵	۸۱	۶۴۰,۴
	۴	–	–	–	۱۰۸	۱۷۴	۱۰۸	۵۶,۷	۴۴۸,۳
آفتابگردان	۱	–	–	۱۰۹	۲۱۹	۲۹۴	۲۵۵	۱۸۵	۱۰۶۳
	۲	–	–	۹۸,۱	۱۹۷	۲۶۵	۲۲۹	۱۶۶	۹۵۶,۷
	۳	–	–	۸۸,۲	۱۵۷	۲۱۲	۱۸۳	۱۳۳	۷۷۵,۲
	۴	–	–	۷۹,۴	۱۱۰	۱۴۸	۱۲۸	۹۳,۲	۵۶۰,۳
سیب زمینی	۱	–	۸۵	۱۴۱	۱۹۶	۲۳۴	۱۸۰	–	۸۳۸,۰
	۲	–	۱۲۷	۱۷۷	۲۱۰	۲۱۰	۱۶۲	–	۸۸۸,۳
	۳	–	۱۰۱	۱۴۱	۱۶۸	۱۶۸	۱۲۹	–	۷۱۰,۶
	۴	–	۷۱	۹۹	۱۱۸	۱۱۸	۹۰,۸	–	۴۹۷,۴
باقلا	۱	–	–	۱۲۰	۲۳۵	۲۵۷	۱۹۸	–	۸۱۱,۱
	۲	–	–	۱۰۸	۲۱۱	۲۳۱	۱۷۸	–	۷۲۹,۹
	۳	–	–	۹۷,۷	۱۹۰	۲۰۸	۱۶۰	–	۶۵۶,۹
	۴	–	–	۸۷,۹	۱۷۱	۱۸۷	۱۴۴	–	۵۹۱,۲

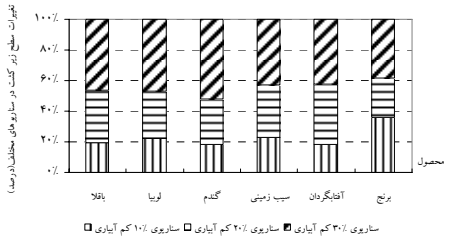
۱: نیاز آبی گیاهان بر حسب میلی متر در ماه‌های مختلف، تحت آبیاری کامل و ۲، ۳ و ۴: نیاز آبی گیاهان با ملحوظ کردن به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به عنوان سطوح کم آبیاری

جدول۵- هیدرومدول محصولات تحت مدیریت آبیاری کامل و سطوح مختلف

گیاه		اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گندم	۱	۰,۳۷	۰,۷۷	۱,۰۳	-	-	-	-
	۲	۰,۳۳	۰,۷۰	۰,۹۳	-	-	-	-
	۳	۰,۲۷	۰,۵۶	۰,۷۴	-	-	-	-
	۴	۰,۱۹	۰,۳۹	۰,۵۲	-	-	-	-
لوبیا	۱	-	-	-	۰,۸۰	۱,۲۹	۰,۸۱	۰,۴۳
	۲	-	-	-	۰,۷۲	۱,۱۶	۰,۷۲	۰,۳۸
	۳	-	-	-	۰,۵۸	۰,۹۳	۰,۵۸	۰,۳۰
	۴	-	-	-	۰,۴۰	۰,۶۵	۰,۴۱	۰,۲۱
آفتابگردان	۱	-	-	۰,۴۱	۰,۸۲	۱,۱۰	۰,۹۵	۰,۶۹
	۲	-	-	۰,۳۷	۰,۷۴	۰,۹۹	۰,۸۶	۰,۶۲
	۳	-	-	۰,۳۳	۰,۵۹	۰,۷۹	۰,۶۹	۰,۵۰
	۴	-	-	۰,۳۰	۰,۴۱	۰,۵۵	۰,۴۸	۰,۳۵
سیب زمینی	۱	-	۰,۳۲	۰,۵۳	۰,۷۳	۰,۸۷	۰,۶۷	-
	۲	-	۰,۴۸	۰,۶۶	۰,۷۹	۰,۷۹	۰,۶۱	-
	۳	-	۰,۳۸	۰,۵۳	۰,۶۳	۰,۶۳	۰,۴۸	-
	۴	-	۰,۲۷	۰,۳۷	۰,۴۴	۰,۴۴	۰,۳۴	-
باقلا	۱	-	-	۰,۴۵	۰,۸۸	۰,۹۶	۰,۷۴	-
	۲	-	-	۰,۴۱	۰,۷۹	۰,۸۶	۰,۶۷	-
	۳	-	-	۰,۳۷	۰,۷۱	۰,۷۸	۰,۶۰	-
	۴	-	-	۰,۳۳	۰,۶۴	۰,۷۰	۰,۵۴	-

*۱- نیاز آبی گیاهان بر حسب میلی متر در ماه های مختلف، تحت آبیاری کامل و ۲، ۳ و ۴: نیاز آبی گیاهان با ملحوظ کردن به ترتیب۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به عنوان سطوح کم آبیاری

شکل۲- مقایسه درصد تغییرات عملکرد در سناریوهای مختلف آبیاری



شکل۳- مقایسه درصد تغییرات سطح زیر کشت در سناریوهای مختلف آبیاری

جدول٦- هیدرومدول اصلاح شده محصولات تحت مدیریت آبیاری کامل و سطوح مختلف کم آبیاری

گیاه		اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
گندم						ماه بحرانی		
لوبیا	۱	–	–	–	۰,۲۴	۰,۳۹	۰,۲۴	۰,۱۳
	۲	–	–	–	۰,۲۲	۰,۳۵	۰,۲۲	۰,۱۱
	۳	–	–	–	۰,۱۷	۰,۲۸	۰,۱۷	۰,۰۹
	۴	–	–	–	۰,۱۲	۰,۲۰	۰,۱۲	۰,۰۶
آفتابگردان	۱	–	–	۰,۰۷	۰,۱۵	۰,۲۰	۰,۱۷	۰,۱۲
	۲	–	–	۰,۰۷	۰,۱۳	۰,۱۸	۰,۱۵	۰,۱۱
	۳	–	–	۰,۰۶	۰,۱۱	۰,۱۴	۰,۱۲	۰,۰۹
	۴	–	–	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۰۶
سیب زمینی	۱	–	۰,۱۰	۰,۱۶	۰,۲۳	۰,۲۷	۰,۲۱	–
	۲	–	۰,۱۵	۰,۲۱	۰,۲۴	۰,۲۴	۰,۱۹	–
	۳	–	۰,۱۲	۰,۱۶	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۱۵	–
	۴	–	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۱	–
باقلا	۱	–	–	۰,۰۹	۰,۱۸	۰,۲۰	۰,۱۶	–
	۲	–	–	۰,۰۹	۰,۱۷	۰,۱۸	۰,۱۴	–
	۳	–	–	۰,۰۸	۰,۱۵	۰,۱۶	۰,۱۳	–
	۴	–	–	۰,۰۷	۰,۱۳	۰,۱۵	۰,۱۱	–
جمع	۱	–	۰,۱۰	۰,۳۳	۰,۸۰	۱,۰۶	۰,۷۸	۰,۲۵
	۲	–	۰,۱۵	۰,۳۶	۰,۷۶	۰,۹۵	۰,۷۰	۰,۲۳
	۳	–	۰,۱۲	۰,۳۰	۰,۶۲	۰,۷۸	۰,۵۷	۰,۱۸
	۴	–	۰,۰۸	۰,۲۴	۰,۴۷	۰,۵۸	۰,۴۳	۰,۱۳

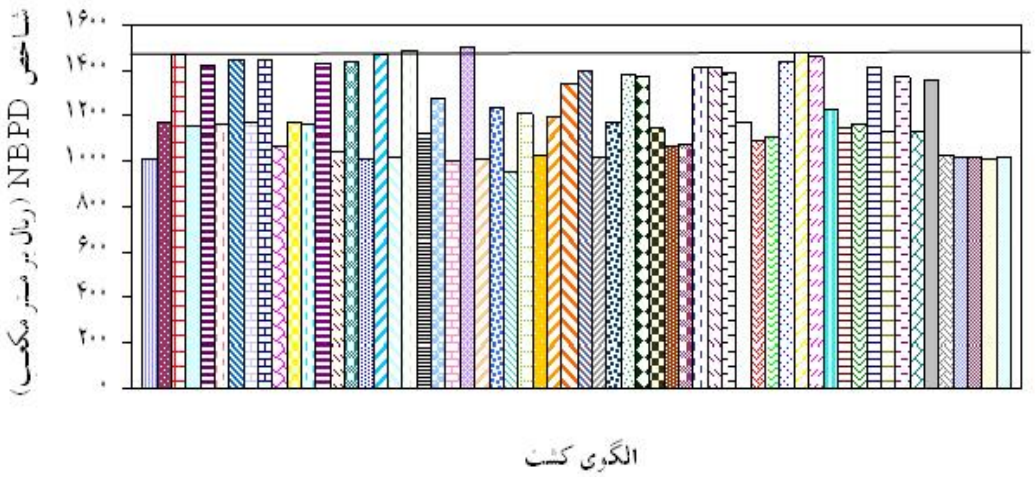
*۱- نیاز آبی گیاهان بر حسب میلی متر در ماه های مختلف، تحت آبیاری کامل و ۲، ۳ و ۴: نیاز آبی گیاهان با ملحوظ کردن به ترتیب۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به عنوان سطوح کم آبیاری

جدول۷- سطح زیر کشت محصولات با مدیریت آبیاری کامل و سطوح کم آبیاری بر حسب هکتار

سناریو کم آبیاری	محصولات	گندم	لوبیا	آفتابگردان	سیب زمینی	باقلا	درصد افزایش سطح زیر کشت
سناریوی آبیاری کامل	سطح زیر کشت	۶۶۵	۲۸۳	۱۷۰	۲۹۳	۱۹۸	
	درصد سطح زیر کشت	۴۱	۱۸	۱۱	۱۸	۱۱	-
	عملکرد کل	۲۳۸۰۹۶۹	۵۹۰۸۹۴	۲۰۹۱۵۱	۷۶۱۴۰۸۳	۴۱۳۶۲۶	
سناریوی ۱۰ درصدی کم آبیاری	سطح زیر کشت	۶۷۴	۳۱۵	۱۸۹	۳۲۵	۲۲۰	
	افزایش سطح زیر کشت	۹	۳۱	۱۹	۳۳	۲۲	
	درصد سطح زیر کشت	۳۹	۱۸	۱۱	۱۹	۱۴	۷
	عملکرد کل	۲۱۸۳۸۰۱	۵۱۷۰۵۲	۲۳۲۳۹۰	۸۲۰۳۰۳۵	۴۰۷۷۸۵	
سناریوی ۲۰ درصدی کم آبیاری	سطح زیر کشت	۶۷۴	۳۱۵	۱۸۹	۳۲۵	۲۲۰	
	افزایش سطح زیر کشت	۲۷۵	۱۰۱	۶۱	۱۰۴	۷۱	
	درصد سطح زیر کشت	۴۲	۱۷	۱۰	۱۸	۱۲	۲۱
	عملکرد کل	۲۸۴۱۰۸۴	۵۷۴۷۷۸	۲۵۰۰۵۷	۹۳۷۱۸۸۷	۴۷۷۱۱۴	
سناریوی ۳۰ درصدی کم آبیاری	سطح زیر کشت	۱۳۶۲,۵۱	۵۱۸	۳۱۱	۵۳۶	۳۶۳	
	افزایش سطح زیر کشت	۶۹۷	۲۳۵	۱۴۱	۲۴۳	۱۶۴	
	درصد سطح زیر کشت	۴۴	۱۷	۱۰	۱۷	۱۲	۴۸/۶
	عملکرد کل	۳۹۴۳۱۱۵	۶۸۶۱۸۳	۳۰۴۱۱۸	۱۱۵۳۵۵۴۴	۴۸۲۸۳۸	

چون ارزش اقتصادی محصولات، هزینه‌های کاشت، داشت و برداشت و هزینه تأمین آب برای هر محصول با توجه به شرایط زمانی و مکانی تغییر می‌نماید بنابراین واضح می‌باشد که تعیین الگوی کشت تنها براساس تغییرات میزان عملکرد و سطح نیز مناسب نمی باشد.

از آن‌جایی‌که الگوی کشت بهینه با میزان آب مصرفی، تولید و سود بهینه در تعامل بوده و می‌تواند از دو جنبه افزایش درآمد و بهره‌وری مصرف آب نقش قابل توجهی در بهبود مدیریت شبکه‌های آبیاری ایفا نماید از این‌رو انتخاب سطوح بهینه کم آبیاری با هدف حداکثر نمودن شاخص NBPD مناسب می‌باشد. در این مطالعه بهینه سازی الگوی کشت براساس سطوح مختلف کم آبیاری و NBPD برای کلیه ترکیب‌های الگوی کشت ممکن انجام شده است. الگوی کشت بهینه دارای حداکثر مقدار شاخص NBPD در بین الگوهای کشت ممکن می‌باشد (شکل ۴). بر اساس شکل(۴)، الگوی کشت شماره ۲۳ دارای حداکثر میزان بهره‌وری می‌باشد. در این الگوی کشت برای محصولات لوبیا و باقلا، اعمال ۱۰ درصد کم آبیاری، برای محصولات آفتابگردان و سیب زمینی اعمال ۲۰ درصد کم آبیاری و برای محصول گندم اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری مناسب می‌باشد. در این الگوی کشت شاخص بهره‌وری کلی شبکه با مدیریت الگوی کشت می‌تواند به ۱۵۷۵۰ریال بر متر مکعب برسد. برای این الگوی کشت سطح بهینه نسبت به سناریوی آبیاری کامل ۱۱ درصد افزایش پیدا نموده است. اما با توجه به اینکه به غیر از الگوی کشت ۲۳ تعدادی دیگر از الگوهای کشت دارای مقادیر قابل توجهی از مقدار NBPD نیز می‌باشند و همچنین به‌منظور انعطاف پذیری در انتخاب الگوی کشت، به‌غیر از الگوی کشت ۲۳، الگوهای کشتی که مقدار NBPD آنها به میزان پنج درصد کمتر از NBPD الگوی کشت شماره ۲۳ می‌باشد نیز بعنوان الگوی کشت مناسب پیشنهاد می‌گردد (جدول ۸). همچنین در این وضعیت چون نسبت‌های پیش‌بینی شده مربوط به درصد سطوح کشت تغییر نموده‌اند، با در نظر گرفتن سطح زیرکشت و درصد آن در ترکیب کشت نهایی (۱۰ درصد باقلا، ۱۶ درصد لوبیا، ۱۹ درصد سیب زمینی، ۴۱ درصد گندم و ۱۴ درصد آفتابگردان)، هیدرومدول بهینه شده محاسبه گردید (جدول ۹). متوسط هیدرومدول بهینه الگوی کشت منتخب نسبت به متوسط هیدرومدول آبیاری کامل حدود ۱۸درصد کاهش نشان می‌دهد



شکل٤- مقادیر NBPD برای کلیه ترکیب‌های الگوی کشت ممکن

جدول۸- مشخصات سناریوهای کم آبیاری برای هر محصول و مقادیر بهینه سطح کشت در الگوهای کشت منتخب

شماره الگوی کشت	محصولات	باقلا	لوبیا	گندم	سیب زمینی	آفتابگردان	بهره وری
۲۳	سناریوی کم آبیاری	٪۱۰	٪۱۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۲۰	۱۵۷۵۰
	سطح بهینه کشت	۱۷۱	۲۷۳	۷۰۲	۳۲۵	۲۳۹	
۱۷	سناریوی کم آبیاری	٪۱۰	٪۱۰	٪۳۰	٪۱۰	٪۲۰	۱۴۷۳۰
	سطح بهینه کشت	۲۵۵	۲۵۵	۷۶۶	۳۱۰	۲۳۷	
۱۹	سناریوی کم آبیاری	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۲۰	٪۱۰	۱۴۸۸۰
	سطح بهینه کشت	۲۲۸	۲۱۱	۶۳۳	۳۶۹	۳۱۶	
۳	سناریوی کم آبیاری	٪۱۰	٪۱۰	٪۳۰	٪۱۰	٪۲۰	۱۴۳۶۰
	سطح بهینه کشت	۲۸۵	۲۳۳	۷۶۰	۳۶۱	۲۰۹	
٤٦	سناریوی کم آبیاری	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۱۰	٪۲۰	۱۴۴۵۰
	سطح بهینه کشت	۲۱۴	۲۹۷	۶۱۱	۲۴۷	۲۸۰	

جدول۹- مقادیر بهینه هیدرومدول برای الگوهای کشت منتخب

الگوی کشت	گیاه	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۳	گندم	۰,۱۳	۰,۲۷	۰,۳۶	–	–	–	–
	لوبیا	–	–	–	۰,۱۳	۰,۲۱	۰,۱۳	۰,۰۷
	آفتابگردان	–	–	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۰۷
	سیب زمینی	–	۰,۰۹	۰,۱۲	۰,۱۵	۰,۱۵	۰,۱۱	–
	باقلا	–	–	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۰۹	–
۷	گندم	۰,۱۴	۰,۲۹	۰,۳۹	–	–	–	–
	لوبیا	–	–	–	۰,۱۰	۰,۱۶	۰,۱۰	۰,۰۵
	آفتابگردان	–	–	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۱۳	۰,۱۱	۰,۰۸
	سیب زمینی	–	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۱۳	۰,۱۳	۰,۱۰	–
	باقلا	–	–	۰,۰۶	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۹	–
۱۹	گندم	۰,۱۲	۰,۲۵	۰,۳۳	–	–	–	–
	لوبیا	–	–	–	۰,۰۹	۰,۱۴	۰,۰۹	۰,۰۵
	آفتابگردان	–	–	۰,۰۷	۰,۱۳	۰,۱۸	۰,۱۵	۰,۱۱
	سیب زمینی	–	۰,۱۰	۰,۱۴	۰,۱۷	۰,۱۷	۰,۱۳	–
	باقلا	–	–	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۰۹	–
۴	گندم	۰,۱۳	۰,۲۸	۰,۳۷	–	–	–	–
	لوبیا	–	–	–	۰,۱۱	۰,۱۷	۰,۱۱	۰,۰۶
	آفتابگردان	–	–	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۹	۰,۰۷
	سیب زمینی	–	۰,۰۹	۰,۱۳	۰,۱۵	۰,۱۵	۰,۱۲	–
	باقلا	–	–	۰,۰۶	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۰	–
۲۵	گندم	۰,۱۲	۰,۲۶	۰,۳۴	–	–	–	–
	لوبیا	–	–	–	۰,۱۳	۰,۲۱	۰,۱۳	۰,۰۷
	آفتابگردان	–	–	۰,۰۶	۰,۱۳	۰,۱۷	۰,۱۵	۰,۱۱
	سیب زمینی	–	۰,۰۷	۰,۱۰	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۰۹	–
	باقلا	–	–	۰,۰۵	۰,۱۰	۰,۱۱	۰,۰۹	–

نتیجه‌گیری

کم آبیاری از استراتژی‌های به کار رفته در سال‌های اخیر جهت کسب محصول با درآمد و سود حداکثر است. در مورد کم آبیاری، تحقیقات زیادی مورد نیاز است. انجام این تحقیقات می‌تواند مدیریت کم آبیاری در شرایط محدودیت منابع آب را بهبود بخشد. چون محصولات مختلف در برابر تنش آبی عکس العمل متفاوتی را نشان می‌دهند بررسی مسأله تنش و عملکرد در تحقیقات کم آبیاری ضروری است. اما تعیین آن از طریق آزمایش‌های صحرایی پرهزینه و وقت گیر است. لذا استفاده از مدل های شبیه سازی مانند مدل CropSyst ضروری می‌باشد. در این تحقیق به کمک مدل این امکان فراهم شد تا بتوان سناریوهای مختلف کم آبیاری را مورد بررسی قرار داد و کاهش عملکرد و افزایش سطح ناشی از آن را تعیین نمود.

همچنین چون هیدرومدول آبیاری یکی از پارامترهای اساسی در طراحی سیستم‌های آبیاری، طراحی کانال، طراحی زهکش‌ها و تحلیل اقتصادی پروژه‌ها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی است که برآورد صحیح و بهینه آن می‌تواند منافع فراوانی را به دنبال داشته باشد و از طرفی با توجه به اینکه محدودیت آب، عمده‌ترین عامل منفی و بازدارنده در زراعت آبیاری محسوب می‌شود، در این تحقیق نیز تأثیر کم آبیاری روی هیدرومدول آبیاری الگوی کشت بررسی و در نهایت بر اساس تابع هدف شاخص سود خالص بهره وری به ازای متر مکعب (NBPD)الگوی کشت مناسب تعیین گردید.

نتایج این مطالعه نشان داد در بین کلیه ترکیب‌های الگوی کشت، الگوی کشتی که در آن برای محصولات لوبیا و باقلا، ۱۰ درصد کم آبیاری، برای محصولات آفتابگردان و سیب زمینی ۲۰

درصد کم آبیاری و برای محصول گندم اعمال ۳۰ درصد کم آبیاری در نظر گرفته شود دارای حداکثر NBPD می‌باشد. برای این الگوی کشت سطح بهینه نسبت به سناریوی آبیاری کامل ۱۱ درصد افزایش پیدا نموده است. در حالی‌که متوسط هیدرومدول بهینه الگوی کشت منتخب نسبت به متوسط هیدرومدول آبیاری کامل حدود ۱۸ درصد کاهش نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق نیز نشان داد که با توجه به توانمندی‌های مدل گیاهی، امکان بررسی و ارزیابی سناریوهای متفاوت درباره کم آبیاری همراه با مدیریت سایر پارامترهای زراعی فراهم می‌باشد. لذا به منظور بهبود بهره‌وری آب مصرفی، ارتقای سطح درآمد بهره‌برداران محلی و فراهم نمودن امکان توسعه مدیریت پایدار منابع آب در شبکه-های آبیاری بررسی و مطالعه بیشتر و جامع‌تر قابل توصیه می-باشد.

منابع

۱- ابراهیمی پاک، ن . ۱۳۷۹ . بهینه سازی کم آبیاری براساس تابع مصرف آب – عملکرد محصول یونجه همدانی در شهرکرد . دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۲۸۸-۲۷۹.

۲- توکلی، ع . ر. و ح . فرداد . ۱۳۷۸. ارزیابی اقتصادی کم آبیاری روی محصول چغندرقند جهت بهینه سازی مصرف آب. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳، شماره ۳، صفحات ۵۸۴-۵۷۵.

۳- حیدری، ن.، اسلامی، ا.، ع.، قدمی فیروز آبادی، ا.، کانونی، م .ا. اسدی و م. ح. خواجه عبداللهی. ۱۳۸۴. گزارش پژوهشی تعیین کارایی مصرف آب محصولات زراعی خوزستان. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۴- خیرابی، ج .، توکلی، ع . ر، انتصاری، م . ر. و ع . ر. سلامت. ۱۳۷۵. دستورالعمل های کم آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۲۱۸ صفحه.

۵- دارابی، ع. و ع. قنواتی مقدم. ۱۳۸۳. بررسی اثرات تراکم بوته و تاریخ برداشت بر عملکرد کولتیوارهای سیب زمینی در کشت زمستانه. مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان.

۶- رستمی، م. ۱۳۶۸. ارزیابی مقاومت به خشکی و عکس العمل ارقام یونجه در شرایط عادی و تنش رطوبت، مجله علوم کشاورزی ایران، جلد۲۳ شماره ۳و۴، صفحات ۱۳-۱۰.

۷-سپاسخواه، ع . ر. ۱۳۷۵ . کم آبیاری به روش جویچه ای یک در میان . هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، صفحات ۳۰۱-۲۹۶.

۸- کجباف، ع. ۱۳۸۳. گزارش پژوهشی بررسی اثرات تاریخ های کاشت و میزان های متفاوت بذر بر روی عملکرد گندم تیپ دوررم رقم Cr"S"/stk"S"L92-6ap-Lap-oap ، مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان.

۹- مهندسین مشاور آب و خاک تهران. ۱۳۸۵.گزارش طبقه بندی و قابلیت اراضی توسعه اراضی شهید چمران اهواز. سازمان آب و برق خوزستان، وزارت نیرو.

۱۰- نورجو، ا. ۱۳۸۷. تاثیر کم آبیاری روی عملکرد و اجزاء عملکرد چغندر قند و بهره وری مصرف آب . مجله آبیاری و زهکشی ایران جلد۱ سال دوم صفحه ۴۲-۳۱.

۱۱- نوری، ع. و ح. کمالی. ۱۳۸۱. گزارش پژوهشی بررسی اثرات تراکم بوته بر عملکرد برنج. مرکز تحقیقات کشاورزی خوزستان.

12. Bannkuk, C. D, Stöckle, C.O. and R. I. Papendick. 1998. Validation of CropSyst for winter and spring wheat under different tillage and residue management practices in a wheat-fallow region. Agric. Syst, 57:121-134

13. Belhouchette, H., Donatelli, M, Braudeau, E. Wery. 2001. Test of the cropping systems model CropSyst in Tunisian conditions. Proceedings Second International Symposium Modelling Cropping Systems, 16–18 July, Florence, Italy, pp. 47–48

14. Bouman, B. A. M. and T. P. Tuong. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated rice. Agricultural Water Management, 49(1): 11-30.

15. Bouman, B. A. M., H., van Keulen, van Laar, H. H. and R. Rabbinge. 1996. The school of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. Agric. Syst. 52:171–198.

16. Dagdelen, N., E. Yilmaz, Sezgin F. and T. Gurbuz. 2005.Water yield relation and water use efficiency of cotton and second crop corn in western Turkey. Agric.Water Manage, 82(1-2):63-85.

17. English, M., James, L. and C. F.Chen. 1990. Deficit irrigation. II: observation in Columbia. Journal of Irrigation and Drainage, 16(2):413-426.

18. Gorantiwar, S. D. and I. K. Smout. 2003. Allocation of scarce water resources using deficit irrigation in rotational systems. ASCE, J. Irrig. And Drain. Eng, 129(3): 155-163.

19. Haouari, M. and M. N. Azaiez. 2001. Optimal cropping pattern under water deficits. Europen Journal of Operation Research, 130:133-146.

20. Jones, J.W., Tsuji, G.Y., G., Hoogenboom, L. A. Hunt, Thornton, P. K., Wilkens, P.W., Imamura, D.T. Bowen, W.T. and U. Singh. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer DSSAT v3. In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P.K. Thornton, Editors, understanding options for agricultural production, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p.p 157–177.

21. Kijne, J.W., Barker, R. and D. Molden., Water productivity in agriculture, limits and opportunities for improvement. International Water Management Institute (IWMI), Colombo, Sri Lanka.

22. Kiniry, J. R., Jones, C. A. O'Toole, J. C. Blanchet, R. M. Cabelguenne. And D. A. Spanel. 1989. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain crop species. Field Crop Research,20:51-640. 20:51–64.

23. Loomis, R. and D. Connors. 1992. Crop ecology: productivity and management in agricultural systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

24. Mannochi, F. Mecarelli. 1994. Optimization analysis of deficit irrigation systems. Journal of Irrigation and Drainage,Engineering Division, ASCE 120(3):484-503.

25. Musick, J. T and J.D. Walker. 1987. Irrigation practices for reduced water application. Texas High Plains. Appl. Eng. Agric,3(2): 190-195.

26. Ritchie, J. T., Singh, U. Godwin D. C. and W. T. Bowen. 1998. Cereal growth, development and yield. In: G.Y. Tsuji, G. Hoogenboom and P.K. Thornton, Editors, understanding options for agricultural production, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 79–98.

27. Stöckle, C. O. and R. L. Nelson. 1999. Cropsyst user's manual. Biological systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA, USA.

28. Stöckle, C.O., Williams, J. R. Rosenberg N. J. and C. A. Jones. 1992. A method for estimating the direct and climatic effects of rising atmospheric carbon dioxide on growth and yield of crops: part I. modification of the EPIC model for climate change analysis. Agric. Syst.:225–238.

29. Stöckle, C. O., Donatelli M. and R. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. European Journal of Agronomy, 18(3-4):289-3070.

30. Tanner, C. B. and T. R. Sinclair. 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search. In: H.M. Taylor, W.R. Jordan and T.R. Sinclair, Editors, limitations to efficient water use in crop production, Amer. Soc. Agron, Madison, WI.

31. Williams, J. R., Jones C. A. and P.T. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Trans. ASAE: 129–144.