نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره ششم، ۱۳۹۵
http://jwsc.gau.ac.ir

بهینه‌سازی مصرف آب بخش کشاورزی با استفاده از نتایج یک مدل شبیه‌سازی‌رشد گیاه (WOFOST) (مطالعه موردی: ماهیدشت– کوزران استان کرمانشاه)

*علی بافکار[۱]، بهمن فرهادی‌بانسوله[۱] و سعید برومندنسب[۲]
[۱]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، [۲]استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز
تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: ایران با میانگین بارش سالانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر یکی از کشورهای جهان است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان قرار گرفته است. توزیع نامناسب زمانی و مکانی نزولات جوی با توجه به نیازهای کشاورزی یکی دیگر از مشکلات بخش کشاورزی می‌باشد. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول راهکاری است که از طریق آن می‌توان بیلان آبی را مورد بررسی قرار داده، فرایند رشد را شبیه‌سازی‌کرده و به مطالعه سناریوهای مختلف مدیریتی پرداخت. در این راستا، ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد گیاهی با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های بهینه‌سازی نیز ضرورت پیدا کرده است. یکی از عوامل محدودکننده استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول واسنجی پارامترهای گیاهی این مدل‌ها می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی خارج از محدوده اغلب منجر به نتایج مأیوس‌کننده‌ای می‌شود. تعدادی از این پارامترها بستگی به رقم دارند، بنابراین برای کاربرد این مدل‌ها ابتدا باید آن‌ها را با توجه به رقم محلی واسنجی نمود. در دهه‌های گذشته مدل‌های مختلفی برای برنامه‌ریزی اراضی کشاورزی در مقیاس‌های مختلف توسعه‌یافته است. هدف از مطالعه کنونی تعیین سطح زیر کشت محصولات عمده کشاورزی در دشت ماهیدشت استان کرمانشاه بر اساس ترکیب نتایج مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد گیاهی و برنامه‌ریزی خطی می‌باشد. در این پژوهش برای شبیه‌سازی‌رشد گیاه از مدل WOFOST و برای برنامه‌ریزی خطی از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌های مزرعه‌ای در سال‌های زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ برای واسنجی و اعتبارسنجی پارامترهای گیاهی مدل WOFOST برای محصولات عمده (گندم، جو و ذرت) با مدیریت‌های کم‌آبیاری انجام گردید. آزمایش‌های مذکور در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه رژیم آبیاری (آبیاری کامل، ۲۰ و ۴۰ درصد کم آبیاری) و در چهار تکرار انجام شد. اراضی کشاورزی دشت با توجه به خصوصیات خاک و تقسیمات اداری به ۴۴۰ واحد همگن طبقه‌بندی گردید. به حداکثر رساندن درآمد کشاورزان به‌عنوان تابع هدف در مدل برنامه‌ریزی خطی مدنظر قرار گرفت. محدودیت‌های فصلی و ماهانه آب، کارگر، زمین و ماشین‌های کشاورزی نیز در سطح منطقه در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن منابع آب موجود با استفاده از مدل تهیه شده الگوی کشت بهینه تحت ۸ سناریوی محتلف تامین منابع آب و نوع سامانه آبیاری مشخص گردید.

* مسئول مکاتبه: alibafkar@yahoo.com

یافته‌ها: با استفاده از واسنجی مقدار پارامترهای حساس مدل WOFOST برای محصولات مورد مطالعه در دشت ماهیدشت تعیین گردید. نیاز آبی و مقدار عملکرد محصولات مذکور در شرایط پتانسیل و کم‌آبی با توجه به میانگین طولانی‌مدت عوامل هواشناسی در منطقه برآورد گردید. تحلیل سناریوهای مورد مطالعه بیانگر این بود که درآمد سناریو ٦ (دو برابر شدن قیمت آب و سیستم آبیاری بارانی) با درآمد کل کشاورزان به‌میزان ۱٤۰ میلیارد ریال بیش‌ترین درآمد را در بین این سناریوها دارا می باشد. سطح زیر کشت محصولات در این سناریو ۷۵۲٦۲ هکتار به‌دست آمد که نسبت به سناریو پایه افزایش نشان داد.

نتیجه‌گیری: ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد گیاهی و برنامه‌ریزی خطی می‌تواند در تعیین الگوی کشت مناسب تحت شرایط مختلف تامین منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. بیش‌ترین درآمد کشاورزان در این مطالعه در سناریوی شماره ٦ اتفاق افتد که در آن قیمت آب دو برابر و سیستم آبیاری بارانی به‌کار رفته بود.

واژه‌های کلیدی: کم‌آبیاری، ارزیابی اراضی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، برنامه‌ریزی خطی، الگوی کشت

مقدمه

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول راهکاری است که از طریق آن می‌توان بیلان آبی را مورد بررسی قرار داده، فرایند رشد را شبیه‌سازی‌کرده و به مطالعه سناریوهای مختلف مدیریتی پرداخت. در این راستا، ترکیب مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد گیاهی با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل‌های بهینه‌سازی نیز ضرورت پیدا کرده است. یکی از عوامل محدودکننده استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول واسنجی پارامترهای گیاهی این مدل‌ها می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده است که کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی خارج از محدوده اغلب منجر به نتایج مأیوس‌کننده‌ای می‌شود (۸). تعدادی از این پارامترها بستگی به رقم دارند. بنابراین برای کاربرد این مدل‌ها ابتدا باید آن‌ها را با توجه به رقم محلی واسنجی نمود. در دهه‌های گذشته مدل‌های مختلفی راجع به استفاده از زمین برای برنامه‌ریزان منابع طبیعی در مقیاس‌های مختلف توسعه یافته است (۹، ۳، ۱۰).

از طریق مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول که به مدل‌های شبیه‌سازی اگرو- اکولوژیکی نیز معروف هستند در کشور مالی میزان آب مورد نیاز و عملکرد محصولات استراتژیک را محاسبه کردند. با استفاده از ترکیب یک مدل شبیه‌سازی‌رشد محصول (EPIC) با یک مدل برنامه‌ریزی خطی تأثیر تغییر قیمت محصولات کشاورزی در جنوب و جنوب‌شرقی کشور انگلستان و جنوب‌شرقی فرانسه مورد مطالعه قرار گرفت (۵). قهرمان و سپاسخواه (۲۰۰۲) یک الگوریتم ترکیبی از برنامه‌ریزی خطی، غیرخطی و برنامه‌ریزی پویای استوکاستی جهت تخصیص بهینه آب از یک سد یک‌منظوره برای یک الگوی کشت (گندم، جو، چغندرقند و ذرت) در ناحیه ارداک واقع در استان خراسان ارائه کردند (۷). ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی با مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد گیاهی برای تحلیل‌های مکانی منابع بیوفیزیکی و برآورد عملکرد گیاه ضروری است (۱٤). مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول به‌طور فزاینده‌ای در برنامه‌ریزی‌ها و سیاستگذاری‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱۱، ۱۲). با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد محصول امکان تجزیه و تحلیل‌های کمی منابع بیوفیزیکی در مقیاس‌های مکانی مختلف مانند کرت، مزرعه، منطقه و در سطح جهانی فراهم می‌گردد (۱۳).

مدل WOFOST یکی از این مدل‌های شبیه‌سازی‌رشد گیاه می‌باشد که در مطالعه کنونی مورد استفاده قرار گرفته است. احمدی و فرهادی‌بانسوله (۲۰۱۰) با استفاده از مدل WOFOST تاریخ کشت بهینه محصول جو را در منطقه ماهیدشت تعیین کردند (۱). سیستم پایش رشد محصول (CGMS) که ترکیبی از مدل شبیه‌سازی رشد گیاه WOFOST و سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS می‌باشد توسط مؤسسه تحقیقاتی JRC جهت نظارت بر رشد گیاه و پیش‌بینی مقدار عملکرد گیاهان مختلف در سطح اروپا ارایه شده است (٦). داده‌های به‌دست آمده از مدل WOFOST در سامانه پایش رشد گیاهی (CGMS) برای تخمین عملکرد گیاهان مختلفی نظیر گندم، جو، پنبه، آفتابگردان، برنج، سویا، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی در اتحادیه اروپا مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعات قابلیت اتصال مدل WOFOST به سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به اثبات رسیده است (٤). در پژوهشی دیگر در کرمانشاه بر روی گیاه کلزا در سال ۲۰۱۰-۲۰۰۹ مدل WOFOST واسنجی گردید. نتایج حاصل از واسنجی اولیه نشان داد که مدل قادر است عملکرد بیولوژیک گیاه را به‌میزان قابل‌قبولی شبیه‌سازی نماید. در این پژوهش روابطی بین سطح برگ و وزن خشک برگ در مراحل مختلف رشد گیاه نیز به‌دست آمد (۲).

یکی از اهداف مطالعه فعلی واسنجی پارامترهای گیاهی محصولات غالب در منطقه ماهیدشت- کوزران کرمانشاه بوده است. از آن‌جایی‌که عمل شبیه‌سازی در این مدل‌ها به‌صورت نقطه‌ای صورت می‌گیرد، بنابراین برای نشان دادن نتایج آن در سطح منطقه‌ای سعی بر این بوده که با استفاده از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS برای تصمیم‌گیری‌ها و سیاستگذاری‌ها، تغییرات نتایج به‌صورت مکانی نیز آورده شوند. بنابراین سامانه پایش رشد محصولات کشاورزی (CGMS) مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت حصول به نتایج زیر از اهداف این پژوهش بوده است.

۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل شبیه‌سازی‌رشد گیاه (WOFOST) در شرایط اقلیمی استان کرمانشاه

۲- بررسی تغییرات زمانی و مکانی عملکرد و آب مصرفی محصولات غالب با مدیریت‌های مختلف آبیاری در منطقه ماهیدشت با استفاده از سامانه CGMS و سامانه اطلاعات جغرافیایی GIS

۳- به‌کارگیری یک مدل برنامه‌ریزی خطی به‌منظور دست‌یابی به الگوی کشت بهینه براساس حداکثر نمودن درآمد خالص در مزارع دشت ماهیدشت- کوزران کرمانشاه

مواد و روش‌ها

روش‌های به‌کار گرفته شده در این پژوهش با توجه به اهداف مورد نظر در طی سه مرحله صورت گرفته است. در بخش اول واسنجی و اعتبارسنجی مدل (WOFOST) به‌صورت نقطه‌ای انجام گرفته است. در این بخش ابتدا سه طرح در قالب بلوک‌های کامل تصادفی برای محصولات ذرت، گندم و جو در استان کرمانشاه اجرا گردید. به‌منظور تعمیم نتایج در سطح منطقه مورد مطالعه در مرحله بعدی از سامانه پایش رشد محصول (CGMS) استفاده شده است. این مدل به‌نحوی عمل می‌کند که می‌تواند نتایج نقطه‌ای را با استفاده از GIS به سطح منطقه تعمیم دهد. به‌منظور تعیین الگوی کشت بهینه یک مدل برنامه‌ریزی خطی در محیط نرم‌افزاری GAMS تهیه گردید. برخی از ضرایب فنی این مدل از نتایج سامانه CGMS استخراج گردید. مدل مذکور تابع هدف

(درآمد کشاورزان منطقه) را با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در منطقه از قبیل آب، کارگر، زمین و ماشین‌های کشاورزی به حداکثر می‌رساند.

منطقه مورد مطالعه در غرب شهرستان کرمانشاه، در ناحیه‌ای بین عرض‌های جغرافیایی ″۴۲ ′۹ °۳٤ تا ″۱ ′۲۹ °۳٤ شمالی و طول‌های جغرافیایی ″۲ ′۳٦ °٤٦ تا ″۳۲ ′۵۸ °٤٦ شرقی واقع شده است. داده‌های روزانه هواشناسی (بارندگی، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل، تشعشع روزانه، ساعات آفتابی، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، رطوبت نسبی و فشار بخار صبحگاهی هوا) ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه از اداره هواشناسی استان کرمانشاه اخذ گردید. منطقه مورد مطالعه با توجه به کاربری اراضی و وضعیت خاک به ٦۵ واحد همگن از نظر خاک و آب و هوا تقسیم گردید. سپس با روی هم قرار دادن نقشه روستاها (۲۲۲ روستا) با نقشه خاک (٦۵ واحد خاک)، نقشه دیگری تحت عنوان نقشه واحدهای همگن یا نقشه EMU تهیه گردید که تعداد آن‌ها به ٤٤۰ واحد همگن رسید (شکل ۱). مدل CGMS برای ۲۰ سال (۲۰۱۰-۱۹۹۱) و در ٤٤۰ واحد اجرا شد. در هر کدام از این واحدها آب مورد نیاز و عملکرد محصولات به‌دست آمد. پس از اخذ این اطلاعات با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی که در محیط نرم‌افزاری GAMS نوشته شد الگوی مناسب کشت و متعاقب آن مقدار بهینه آب مصرفی برای گیاهان منطقه با توجه به منابع آب موجود تعیین گردید.

تاریخ کشت و زمان عبور ۵۰ درصد بوته‌های گیاهی از هر کدام از مراحل فنولوژیکی محصولات کشت شده در مزرعه آزمایشی برای سال مورد مطالعه در جدول ۱ ارایه شده است. با توجه به این‌که مدل بر اساس سال میلادی طراحی شده است شروع داده‌ها بر اساس ماه میلادی از اول ماه ژانویه منظور شده است.

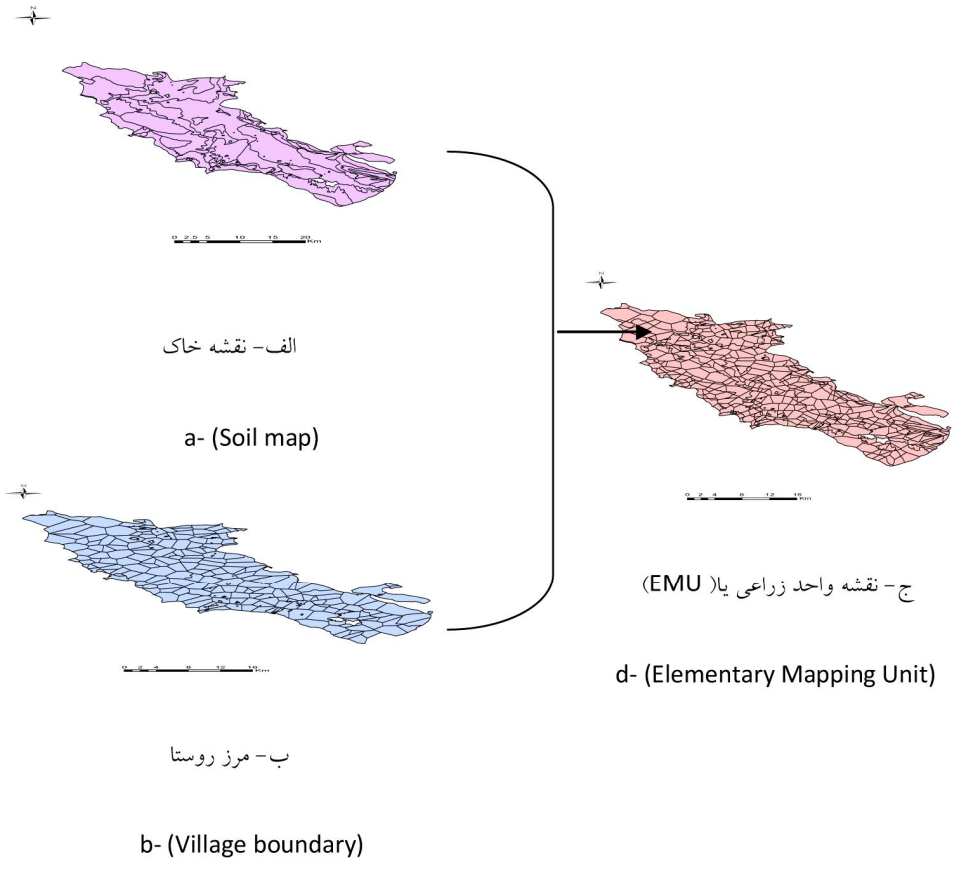
خصوصیات فیزیکی خاک (رطوبت خاک در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم، رطوبت اشباع، مجموع آب قابل دسترس و هدایت هیدرولیکی اشباع) از نتایج آزمایش‌های خاکشناسی انجام شده در مزرعه آزمایشی استخراج و وارد فایل خاک گردید. پارامترهای اندازه‌گیری شده خاک که برای مدل WOFOST مورد نیاز می‌باشد در جدول ۲ ارایه شده است.

فایل گیاهی مدل از تعدادی زیادی پارامتر تشکیل گردیده است که برخی از آن‌ها در طول دوره رشد نیز متغیر می‌باشند. یکی از اهداف مطالعه کنونی تعیین پارامترهای گیاهی برای گیاهان مورد نظر در منطقه مورد مطالعه بوده است. در این مطالعه برخی از این پارامترها از قبیل مجموع درجه حرارت روزانه از جوانه‌زنی تا گلدهی (TSUM1)، مجموع درجه حرارت روزانه از گلدهی تا رسیدن (TSUM2) و سطح برگ ویژه (SLA) مستقیماً براساس آزمایش‌های صورت گرفته اندازه‌گیری و وارد مدل گردید. با سعی و خطا و تغییر پارامترهای حساس مدل که قابل اندازه‌گیری نبود مقدار این پارامترها به‌گونه‌ای واسنجی شد که نتایج مدل در برآورد وزن خشک اندام‌های مختلف گیاه در دوره رشد با مقادیر اندازه‌گیری شده این اندام‌ها در مزرعه تطابق قابل‌قبولی داشته باشد.

جدول ۱- مراحل فنولوژیکی براساس شماره روز از ابتدای سال میلادی (**Julian day**).

Table 1. Phenological stages based on the number of days from the beginning of the year (Julian day).

کلزا (Canola)	گندم (Wheat)	جو (Barley)	ذرت (Maize)		
320	290	303	140	کاشت (Planting)	مراحل فنولوژیکی (Phenological stage)
330	305	315	150	جوانه‌زنی (Germination)	
115	120	105	218	گلدهی (Flowering)	
155	180	165	280	رسیدن (Maturation)	
-	4000000	4000000	80000	تراکم بوته در هکتار (The density of plants per hectare)	



شکل ۱- تهیه نقشه واحدهای زراعی (EMU) با استفاده از نقشه‌های خاک و روستا.

Figure 1. Drawing of Elementary Mapping Units (EMU) using soil and village maps.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

Table 2. Physical and chemical properties of the soil in the research farm.

خصوصیات خاک (Soil characteristics)	پارامتر (Parameter)	واحد (Unit)	مقدار (Value)
شیمیایی (Chemical)	اسیدیته (Acidity)	-	7.8 - 8.2
	کربن آلی (Organic carbon)	(g/kg)	1.2 - 1.3
	نیتروژن (Nitrogen)	$g\ kg^{-1}$	0.5 - 1
	فسفر (Phosphor)	mg/kg	-
	پتاسیم (Potassium)	cmol/k	26.5 - 28
فیزیکی (Physical)	شن (Sand)	درصد (%)	25
	سیلت (Silt)	درصد (%)	35
	رس (Clay)	درصد (%)	40
	ظرفیت زراعی (Field capacity)	درصد حجمی (volumetric percentage)	41
	نقطه پژمردگی دایمی (Permanent wilting point)	درصد حجمی (volumetric percentage)	23
	چگالی ظاهری (Bulk density)	گرم بر سانتی‌مترمکعب g/cm^3	1.23

در هر منطقه همگن تاریخ جوانه‌زنی به‌عنوان نقطه شروع شبیه‌سازی‌رشد گیاه در نظر گرفته شد و با استفاده از سیستم CGMS رشد گیاه در شرایط پتانسیل و کم‌آبیاری شبیه‌سازی‌گردید. همه اطلاعات این سیستم در جداولی در محیط Microsoft Office Access تحت عنوان یک بانک اطلاعاتی ذخیره می‌شود. از آن‌جا که CGMS قادر به در نظر گرفتن آبیاری به‌طور مستقیم نبود، بنابراین برنامه جداگانه‌ای در محیط Access نوشته و بر اساس آن زمان و عمق آبیاری محاسبه و وارد سیستم گردید. از طریق این برنامه مقدار آب خالص جهت آبیاری در رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری محاسبه و در زمانی که آبیاری انجام گرفته بود به بارندگی اضافه گردید. این سامانه همچنین به‌طور مستقیم قادر به محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل گیاهی نمی‌باشد، بنابراین در این پژوهش با اضافه نمودن یک برنامه کامپیوتری میزان تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه گیاه براساس شاخص سطح برگ و میزان تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک محاسبه گردید. قسمتی از خروجی این سامانه عملکرد محصول و میزان آب مورد نیاز آبیاری در دوره‌های یک‌روزه، ده روزه و سی روزه در واحد همگن بود که به‌عنوان ضرایب توابع هدف و محدودیت آب در بهینه‌سازی آب مصرفی در گیاهان در نظر گرفته شد.

برای تعیین الگوی کشت بهینه از برنامه‌ریزی خطی استفاده شد. تابع هدف در نظر گرفته شده در این برنامه به حداکثر رساندن درآمد خالص کشاورزان منطقه می‌باشد که بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید:

$$TNI = Z = \sum X_{C,I,P} \times NI_{C,I,P} \qquad (۱)$$

که در آن، TNI=Z حداکثر درآمد خالص کشاورزان بر حسب ریال، $X_{C,I,P}$ سطح زیر کشت هر محصول با هر مدیریت آبیاری در هر واحد زراعی بر حسب هکتار، $NI_{C,I,P}$ درآمد خالص هر محصول با هر مدیریت آبیاری در هر واحد زراعی در هکتار بر حسب ریال می باشد.

محدودیت‌های فصلی و ماهانه آب، کارگر، ماشین‌های کشاورزی و زمین نیز در این مدل در نظر گرفته شد که روابط مربوط به آن‌ها به‌علت محدودیت در تعداد صفحات ارایه نشده‌اند.

برنامه تهیه شده در محیط نرم‌افزاری GAMS برنامه‌نویسی و برای شرایط جاری اجرا گردید. به‌منظور بررسی سناریوهای مدیریتی هفت سناریو مدیریتی به شرح جدول ۳ در نظر گرفته شد. از آن جائی که در این منطقه برای استفاده کشاورزی منبع آب سطحی وجود نداشته است، بنابراین برای مصارف کشاورزی آب‌های زیرزمینی مد نظر بوده و با توجه به این‌که سامانه آبیاری قطره‌ای نیز در منطقه برای آبیاری این محصولات به‌کار نرفته است، بنابراین آمار قابل‌قبولی از به‌کارگیری این سامانه نیز در دست نبوده و در این مطالعه هم از آن استفاده نشده است. همچنین اضافه می‌گردد که دو نوع سامانه آبیاری در این مطالعه به‌کار گرفته شده است. سناریوهای مورد بررسی بر اساس دوبرابر شدن قیمت آب، تغییرسامانه آبیاری از سطحی به بارانی و تغییر ساعات کارکرد پمپ در شبانه روز از ۲۰ به ۲۲ ساعت در نظر گرفته شدند. لازم به ذکر است که این مدل قادر است سناریوهای دیگری را نیز بررسی نماید و در اینجا صرفاً چند سناریوی محدود مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برای هر سناریو تغییرات لازم در برنامه اعمال و سپس برنامه تحت سناریو مورد نظر اجرا شد. در نهایت میزان درآمد خالص کشاورزان، سطح زیر کشت تک‌تک محصولات و سطح زیر کشت کل تحت هر سناریو برآورد و با مقادیر سناریو پایه (شرایط جاری) مقایسه گردید.

جدول ۳- مشخصات سناریوهای مورد مطالعه.

Table 3. Characteristics of the studied scenarios.

ردیف No.	سناریو Scenario	قیمت آب (ریال) water Price (Rial)	کارکرد پمپ (ساعت) (hr) Pump operation	سامانه آبیاری Irrigation system
۱	پایه Base	200	20	سطحی (Surface)
۲	اول First	400	20	سطحی (Surface)
۳	دوم Second	200	22	سطحی (Surface)
٤	سوم Third	400	22	سطحی (Surface)
٥	چهارم Fourth	200	20	بارانی (sprinkler)
٦	پنجم Fifth	400	20	بارانی (sprinkler)
۷	ششم Sixth	200	22	بارانی (sprinkler)
۸	هفتم Seventh	400	22	بارانی (sprinkler)

نتایج و بحث

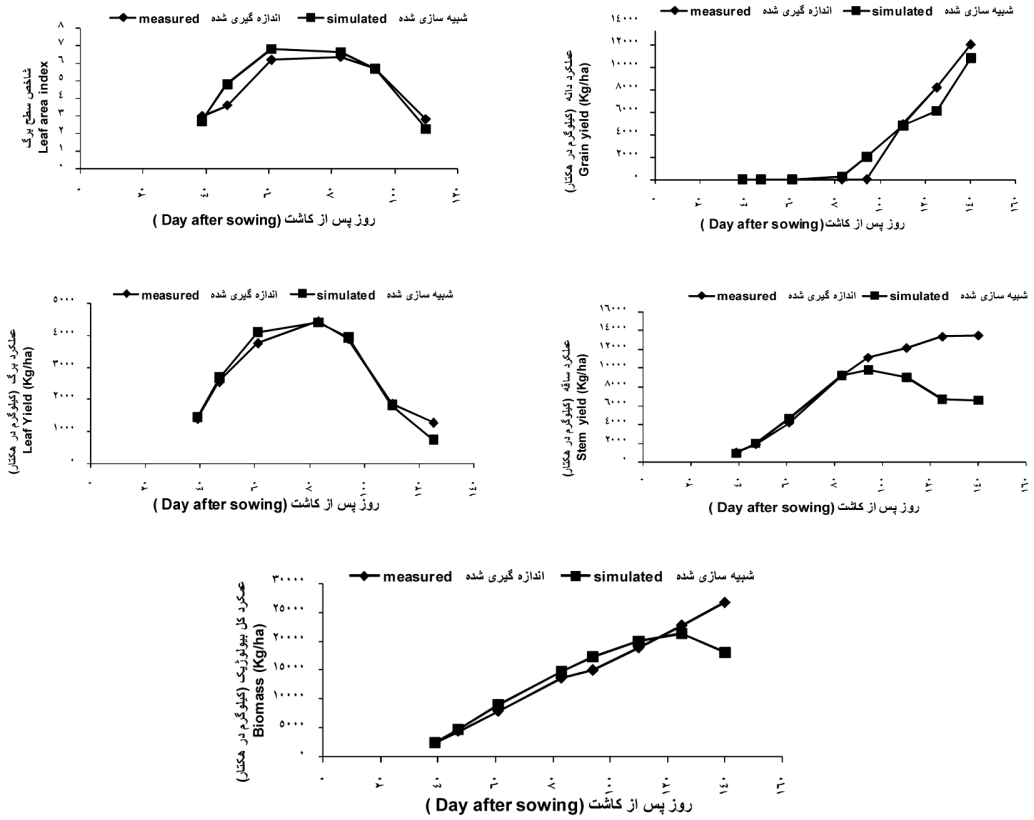
با توجه به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای پارامترهای گیاهی مدل WOFOST مورد واسنجی قرار گرفت. به‌علت محدودیت در تعداد صفحات فقط نتایج اخذ شده از یک گیاه بهاره (ذرت دانه‌ای) و یک گیاه پاییزه (جو) ارائه گردیده است. نتایج مربوط به واسنجی پارامترهای گیاهی برای گیاهان ذرت و جو در جدول ٤ ارائه شده است. نتایج حاصل از مقایسه داده‌های شبیه‌سازی‌شده از طریق مدل با داده‌های اندازه‌گیری‌شده در مزرعه در تاریخ‌هایی که عمل نمونه‌گیری در مراحل مختلف فیزولوژیکی رشد ذرت و جو در شرایط آب و هوایی کرمانشاه صورت گرفته در شکل‌های ۲ و ۳ ارایه شده‌اند. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌گردد که مدل به‌طور نسبی و با دقت خوبی عملکرد اندام‌های مختلف گیاهی را در مراحل مذکور شبیه‌سازی نموده است.

مدل برنامه‌ریزی خطی تهیه شده تحت سناریوهای پایه و سایر سناریوهای مدیریتی مورد نظر اجرا گردید. نتایج بیانگر این است که به‌جز در سناریوهای اول و سوم در بقیه سناریوها درآمد کشاورزان افزایش می‌یابد (جدول ۵). بیش‌ترین میزان درآمد کشاورزان تحت سناریو شماره ٦ به‌دست آمد که در آن قیمت آب دو برابر و سیستم آبیاری بارانی و ساعات کار سیستم ۲۲ ساعت در شبانه‌روز می‌باشد. درآمد کل کشاورزان در این سناریو ٥٤ درصد نسبت به سناریو پایه افزایش را نشان می‌دهد که رقم قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشد.

جدول ٤- پارامترهای گیاهی مورد نیاز در واسنجی مدل WOFOST.

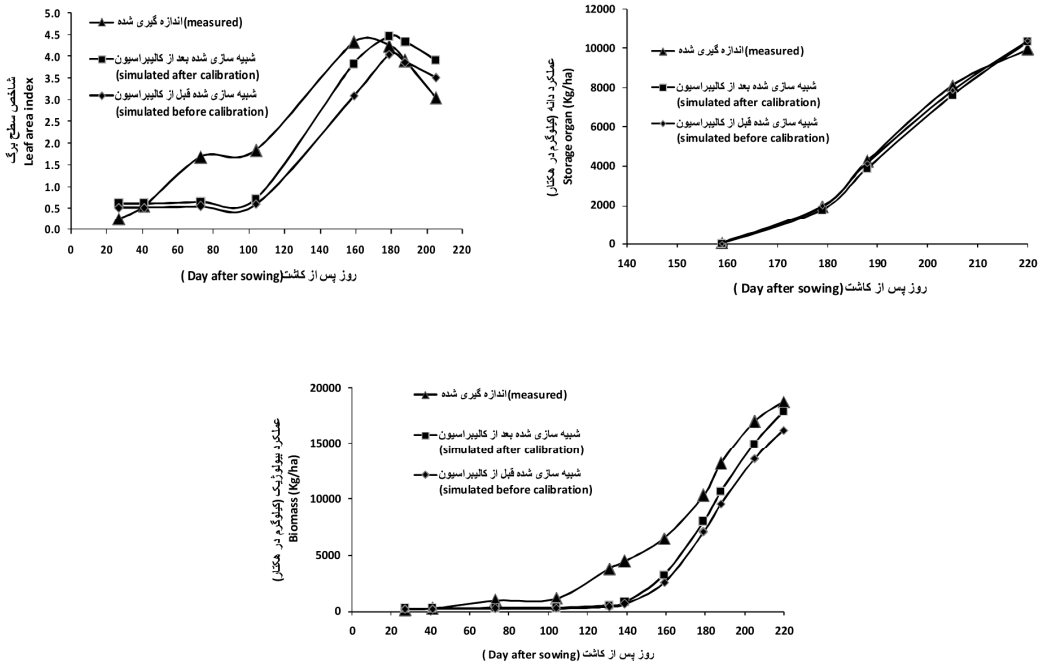
Table 4. The crop parameters required for calibration of WFOST model.

جو (Barley)	ذرت (Maize)	واحد (Unit)	پارامتر* (Parameter)
1123	1300	ºC	مجموع درجه روز از جوانه‌زنی تا گلدهی (Thermal time from emergence to anthesis)
893	1010	ºC	مجموع درجه روز از گلدهی تا رسیدن (Thermal time from anthesis to maturity)
0.0023	0.0023	$ha.\ kg^{-1}$	سطح ویژه برگ (Specific leaf area)
0.0075	0.0294	$m^2.\ m^{-2}.\ d^{-1}$	حداکثر افزایش نسبی در شاخص سطح برگ (Maximum relative increase in LAI)
0.55	0.6	-	ضریب روشنایی نور (KDIF) (Extinction coefficient for diffuse visible light)
0.45	0.45	$kg.\ ha^{-1}.\ hr^{-1}.\ j^{-1}.m^2.\ s$	راندمان مصرف نور (EFF) (Light-use efficiency of CO_2 assimilation)
70	70	$Kg.\ ha^{-1}.\ hr^{-1}$	حداکثر نسبت جذب CO_2 برگ (Maximum leaf CO_2 assimilation rate)



شکل ۲- مقایسه داده‌های شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با داده‌های مزرعه‌ای در گیاه ذرت.

Figure 2. Comparison of simulated and measured data (maize).



شکل ۳- مقایسه داده‌های شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با داده‌های مزرعه‌ای در گیاه جو.

Figure 3. Comparison of simulated and measured data (barley).

جدول ۵- درآمد خالص و سطح زیر کشت محصولات کشاورزی برآورد شده تحت سناریوهای مورد بررسی.

Table 5. The estimated values of net income and cropping area in the studied scenarios.

ردیف No.	سناریو Scenario	درآمد خالص (میلیون ریال) Net income (Million Rials)	سطح زیر کشت (هکتار) Area under cultivation (ha)
۱	پایه Base	85865	74363
۲	اول First	51254	73479
۳	دوم Second	89111	74476
٤	سوم Third	52107	73282
٥	چهارم Fourth	127158	75194
٦	پنجم Fifth	93905	75403
۷	ششم Sixth	132275	75262
۸	هفتم Seventh	96993	75347

سطح زیر کشت محصولات بعد از اجرای مدل برنامه‌ریزی تحت سناریوهای مختلف در جدول ٦ آورده شده است. در این جدول سناریوی پایه بر اساس آمار اعلام شده از سوی سازمان جهاد کشاورزی صورت گرفته است، در بقیه سناریوها قیمت آب و ساعت کارکرد پمپ سطح زیر کشت را تحت‌تأثیر قرار داده است. چهار سناریوی اول برای سامانه آبیاری سطحی و چهار سناریوی دیگر برای آبیاری بارانی است. در آبیاری بارانی محصولاتی که آبی هستند غیر از هندوانه و گوجه‌فرنگی سطح زیر کشت آن‌ها افزایش نشان داده است.

میزان تولید محصولات مختلف تحت سنایوهای مختلف در جدول ۷ آورده شده است. در این جدول نیز هر جا سطح زیر کشت افزایش یافته است مقدار تولید نیز از خود افزایش نشان داده است.

جدول ٦- سطح زیر کشت (هکتار) برآورد شده گیاهان غالب در منطقه ماهیدشت- کوزران.

Table 6. Estimated area of dominant crops in Mahidasht-Kuzaran (ha).

سناریو هفتم (Scenario 7)	سناریو ششم (Scenario 6)	سناریو پنجم (Scenario 5)	سناریو چهارم (Scenario 4)	سناریو سوم (Scenario 3)	سناریو دوم (Scenario 2)	سناریو اول (Scenario 1)	سناریو پایه (Base scenario)	گیاه (crop)
4654	3309	4297	3114	1702	2952	1575	2556	جو آبی Irrigated barley
3681	3704	3656	3661	4114	3713	4062	3707	جو دیم Rainfed barley
106	176	106	3	0	167	0	156	کلزا Canola
7872	7814	7425	7397	419	1638	382	1397	ذرت Maize grain
14299	13032	14372	13259	15572	14704	15577	14751	نخود دیم Rainfed pea
111	363	91	302	0	83	0	59	چغندر Sugar beet
0	154	2	91	105	231	84	158	گوجه Tomato
0	25	0	8	4671	3566	4411	3472	هندوانه Watermelon
12757	14956	12223	14368	2099	9120	2048	8741	گندم آبی Irrigated wheat
31867	31729	33231	32991	44600	38302	45340	39366	گندم دیم Rainfed wheat

جدول ٧- تولید محصولات منطقه تحت سناریوهای مختلف (میلیون کیلوگرم).

Table 7. Total production of the crops in the various scenarios (million Kg).

سناریو هفتم (Scenario 7)	سناریو ششم (Scenario 6)	سناریو پنجم (Scenario 5)	سناریو چهارم (Scenario 4)	سناریو سوم (Scenario 3)	سناریو دوم (Scenario 2)	سناریو اول (Scenario 1	سناریو پایه Base scenario	گیاه crop
18	13.1	16.9	12.3	6.7	11.6	6.2	10.1	جو آبی Irrigated barley
4.4	4.4	4.4	4.4	4.9	4.5	4.9	4.4	جو دیم Rainfed barley
0.3	0.5	0.3	0.008	0	0.5	0	0.5	کلزا Canola
60	60	57	56.7	3.4	12.4	3	10.6	ذرت Maize grain
5	4.6	5	4.6	5.4	5.1	5.5	5.2	نخود دیم Rainfed pea
5.7	17.8	4.6	14.9	0	3.9	0	2.8	چغندر Sugar beet
0	4.7	0.05	2.8	3.4	7.3	2.7	5.1	گوجه Tomato
0	1	0	0.3	182	139	171	135	هندوانه Watermelon
45.4	53	43.6	51	7.6	32.5	7.4	31.2	گندم آبی Irrigated wheat
31	31.7	32	33	44.6	38.3	45.3	39.4	گندم دیم Rainfed wheat

با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌گردد که در همه سناریوها سطح زیر کشت همه محصولات دیم در آبیاری بارانی کاهش یافته است که انتظار چنین عملی نیز از پیش می‌رفت. این عمل به‌خاطر این است که تا جایی که محدودیت‌های دیگر از قبیل محدودیت کارگر، محدودیت ماشین‌ها، محدودیت زمین و محدودیت آب اجازه دهد مدل به‌نحوی عمل می‌کند که درآمد حداکثر گردد. بر این اساس زمین‌هایی که به محصولات دیم اختصاص داده شده زیر کشت برده و سطح زیر کشت محصولات آبی و در نهایت مقادیر تولید را افزایش داده است.

جدول ۸- مقایسه سطح زیر کشت قبل و بعد از برنامه‌ریزی در منطقه (سناریو ٦).

Table 8. Comparison of cultivated area before and after programming in the region (scenario 6).

گیاه (Crop)	سطح زیر کشت قبل از برنامه‌ریزی (هکتار) Cultivation before planning (ha)	سطح زیر کشت بعد از برنامه‌ریزی (هکتار) Cultivation after planning (ha)
جو آبی Irrigated barley	2395	3309
جو دیم Rainfed barley	5123	3704
کلزا Canola	701	176
ذرت Maize grain	6705	7814
نخود دیم Rainfed pea	16296	13032
چغندر Sugar beet	499	363
گوجه Tomato	482	154
هندوانه Watermelon	740	25
گندم آبی Irrigated wheat	14800	14956
گندم دیم Rainfed wheat	42200	31729
مجموع (total)	89941	75262

بر اساس این نتایج می‌توان بعضی از محصولات که در آن‌ها مقدار تولید کم بوده و درآمد پایینی نصیب کشاورز می‌نمایند را از الگوی کشت حذف نمود. در این الگو می‌توان هندوانه را حذف و به‌جای آن محصول دیگری مانند ذرت دانه‌ای کشت نمود. این موضوع در جدول ۸ نشان داده شده است. در رابطه با تولید محصولات در دو سامانه آبیاری بارانی و آبیاری سطحی برای سناریوهای اجرا شده تحت آبیاری سطحی تولید بالا رفته است. در این میان تنها سطح زیر کشت هندوانه است که به‌شدت در آبیاری بارانی پائین آمده است. در منطقه نیز با توجه به اجرای سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت کشاورزان تمایل کم‌تری به کشت هندوانه پیدا کرده‌اند. سطح زیر کشت و میزان درآمد در سناریوهای مختلف در

جدول ۵ ارایه شده است. در مجموع در سناریوی شماره ٦ که در آن تولید بالا رفته است درآمد نیز حداکثر می‌باشد. در این سناریو مقدار درآمد ۱۳۲۲۷۵ میلیون ریال و سطح زیر کشت ۷۵۲٦۲ هکتار به‌دست آمده است. سطح زیر کشت در این سناریو حداکثر نیست، اما از آن‌جائی‌که هدف حداکثر نمودن درآمد بوده بنابراین این سناریو انتخاب شده است.

سپاسگزاری

این مطالعه بر اساس نتایج مستخرج از پایان‌نامه دکترای نویسنده اول در دانشگاه شهید چمران اهواز بوده است. نویسندگان ضمن تشکر از راهنمایی‌های مرحوم دکتر مجید بهزاد استاد گروه آبیاری و زهکشی این دانشگاه مقاله را به روح ایشان تقدیم می‌نمایند.

منابع

1.Ahmady, M., and Farhadi Bansouleh, B. 2010. Effects of emergence date on barley crop yield using crop growth simulation model of WOFOST in Mahidasht, Kermanshah. The First International Conference on Plant, Water, Soil & Weather Modeling. International Center for Science, High Technology & Environmental Sciences, 14 and 15 November, Kerman. (In Persian)

2.Bafkar, A., Farhadi Bansouleh, B., Boroomandnasab, S., and Behzad, M. 2010. Estimation of biological crop yield of Colza using crop growth simulation model (WOFOST). The First International Conference on Plant, Water, Soil & Weather Modeling. International Center for Science, High Technology & Environmental Sciences, 14 and 15 November, Kerman. (In Persian)

3.Bazzani, G.M. 2005. A decision support for an integrated multi-scale analysis of irrigation: DSIRR. J. Environ. Model. Soft. 20: 2. 153-163.

4.Boogaard, H.L., Diepen, C.A., van Eerens, H., Kempeneers, P., Piccard, I., Verheijen, Y., and Supit, I. 2002. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). METAMP (Methodology Assessment of MARS Predictions) Report 1/3, Alterra, Vlaamse Instellingvoor Technologisch Onderzoek (VITO), Supit Consultancy, Wageningen, Mol, Houten.

5.Donaldson, A.B., Flichman, G., and Webster, J.P.G. 1995. Integrating agronomic and economic models for policy analysis at the farm level: The impact of CAP reform in two European regions. Agricultural Systems. 48: 2. 163-178.

6.Farhadi Bansouleh, B. 2009. Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar & Meymeh district, Iran. Ph.D. Thesis, ITC/Wageningen University, Enschede/Wageningen, The Netherlands, 267p.

7.Ghahraman, B., and Sepaskhah, A.R. 2002. Optimal allocation of water from single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping pattern. Irrigation Science. 21: 3. 127-137.

8.Kabat, P., Marshall, B., Van den Broek, B.J., Vos, J., and Van Keulen, H. 1995. Modelling and parameterization of the soil-plant-atmosphere system. A comparison of potato growth models. Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands, 513p.

9.Laborte, A.G. 2006. Multi-scale land use analysis for agricultural policy assessment: A model-based study in Ilocos Norte province, Philippines. Ph.D. Thesis. Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 206p.

10.Mohamed, A.A., Sharifi, M.A., and Van Keulen, H. 2000. An integrated agroeconomic and agro-ecological methodology for land use planning and policy analysis. Inter. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 2: 2. 87-103.

11.Park, S.J., Hwang, C.S., and Vlek, P.L.G. 2005. Comparison of adaptive techniques to predict crop yield response under varying soil and land management condition. Agricultural Systems. 85: 1. 59-81.

12. Van Ittersum, M.K., Leelaar, P.A., Van Keulen, H., Krop, M.J., Bastiaans, L., and Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. Europ. J. Agron. 18: 3-4. 201-234.
13. Van Keulen, H. 1986. The collection and treatment of basic data. P 235-247, In: Van Keulen and Wolf (Eds.), Plant data.
14. Wu, D., Yu, Q., Lu, C., and Hengsdijk, H. 2006. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. Europ. J. Agron. 24: 3. 226-235.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(6), 2017
http://jwsc.gau.ac.ir

Optimization of water use in agriculture using the results of a crop growth simulation model (WOFOST) (Case study: Mahidasht-Kuzaran, Kermanshah Province)

***A. Bafkar[1], B. Farhadi Bansouleh[1] and S. Boroomandnasab[2]**
[1]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Razi University,
[2]Professor, Dept. of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University of Ahvaz
Received: 08/17/2015; Accepted: 09/14/2016

Abstract

Background and Objectives: Iran with the average of annual precipitation about 230 mm is one of the countries in the world which is located in the semi-arid and arid regions. Improper spatial and temporal distribution of rainfall regarding to the time of required water for agriculture is another problem for agricultural sector. Using crop growth simulation models is a strategy which can be used to assess water balance, to simulate the growth process and to study different managerial scenarios. In this regard, the combination of crop growth simulation models with geographic information system (GIS) and optimization models is also necessary. Calibration of crop parameters is one of the limiting factors of the use of crop growth simulation models. Results of previous researches have shown that the use of simulation models out of range, often leading to disappointing results. Some of these parameters are crop (variety) specific, so to use of these models, they must first be calibrated according to the local varieties. In the past decades several models have been developed for agricultural land use planning in different scales. The aim of the present study was to determine the cropping area of major agricultural crops based on the combined results of the Crop growth simulation model and is linear programming in the Mahidasht plain, Kermanshah province. In this study, WOFOST model is used to simulate crop growth and GAMS software is used for linear programming.

Materials and Methods: Field experiments was carried out in the cropping year 2010-2011 for calibration and validation of crop parameters of WOFOST model for major crops (wheat, barley and maize) under deficit irrigation managements. Experiments were implemented as randomized complete block design with three irrigation regimes (Full irrigation, 20 and 40 percent deficit irrigation) and four replications. Agricultural lands in the plain were classified into 440 equal units according to soil characteristics and administrative divisions. Maximization of farmers' income was considered as the objective function in the linear programming model. The constraints of monthly water, seasonal water, labor, land and agricultural machinery were considered at the study area. Considering the available water in the study area the best cropping pattern in 8 studied scenarios of water supply and irrigation system were determined using developed model.

Results: The value of most sensitive parameters of WOFOST model for major crops in the Mahidasht plain was determined by model calibration. Yield and water requirement of mentioned crops in the potential and water-limited situations were estimated in the region regarding to long-term average climatic parameters. Analysis of the scenarios showed that the scenario 6 (doubled water price and sprinkler irrigation system) with the total farmers' income of 140 billion IRR has the highest income among studied scenarios. The area under cultivation in this scenario would be 75,262 hectares which shows increasing compared to the base scenario.

Conclusion: The combination of crop growth simulation models and linear programming can be used for determination of the appropriate cropping patterns under different conditions of water resources. The maximum farmers' income in this study would be occurred in the scenario 6 which water price will be doubled and irrigation system is sprinkler.

Keywords: Water deficit, Land use, GIS, Linear programming, Cropping pattern

* Corresponding Author; Email: alibafkar@yahoo.com