

الحمد لله الذي
خلقنا من
الحمم



دانشکده کشاورزی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی

تعیین الگوی کشت بهینه تحت سناریوهای تغییر اقلیم

(مطالعه موردی: دشت شاهرود)

نگارنده: نصراله امامی

استاد راهنما:

دکتر زهرا گنجی نوروزی

دکتر مهدی دلقندی

استاد مشاور:

مهندس سجاد قوش کرپی

دکتر هادی جعفری

مهر ۱۳۹۹

شماره: ۱۵۸
تاریخ: ۱۳۹۹/۹/۲۵

باسمه تعالی



فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای نصراله امامی با شماره دانشجویی ۹۵۳۳۸۴۴ رشته مهندسی کشاورزی گرایش سازه های آبی تحت عنوان تعیین الگوی کشت بهینه تحت سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت شاهرود) که در تاریخ ۱۳۹۹/۷/۲۱ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۷ ☒
ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷/۹۹ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: نظری ☐ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	زهره گنجی نوروژی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	مهدی دلقندی	استادیار	
۳- استاد مشاور اول	سجاد قوش کربیی	کارشناس ارشد	از طرف
۴- استاد مشاور دوم	هادی جعفری	دانشیار	از طرف
۵- نماینده تحصیلات تکمیلی	سید حسین حبیبی	استادیار	
۶- استاد ممتحن اول	خلیل ازدری	دانشیار	
۷- استاد ممتحن دوم	روزبه مودن	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

REDMI NOTE 8
AI QUAD CAMERA

تقدیم بہ

مقدس ترین واثرہ مادر لغت نامہ دلم، مادر می کہ تار مویی از او بپای من سیاه نمادہ
وزند کیم را دیون مهر و عطفوت آن می دانم

و

پدر، مہربانی مشفق، بردبار و حامی

تشکر و قدردانی

از اساتید گرامی و فرزانه ام سرکار خانم دکتر زهره کنجی نوروزی و جناب آقای دکتر مهدی دلقندی که راهنمایی‌هایشان ضمن آموختن درس زندگی، انگیزه‌ای برای حرکت و تلاش شد؛

از اساتید مشاور عزیزم جناب آقای مهندس سجاد قوش‌کرپی و جناب آقای دکتر مهدی جعفری به خاطر راهنمایی‌های بی‌منتشان که بدون مساعدتشان، این پروژه به نتیجه مطلوب نمی‌رسید؛

و در پایان از تمامی از تمامی اساتید بزرگوار و دوستان عزیزم که مراد انجام این رساله یاری کردند صمیمانه قدردانی می‌کنم و بهترین‌ها را برای آنان آرزو دارم.

نصراله امامی

پاییز ۹۹

تعهد نامه

اینجانب **نصراله امامی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **سازه‌های آبی** دانشکده **مهندسی کشاورزی** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **تعیین الگوی کشت بهینه تحت سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت شاهرود)** تحت راهنمایی دکتر **زهرا گنجی‌نوروزی** و دکتر **مهدی دل‌قندی** متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوضه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده:

مدیریت آب در قرن اخیر به دلیل افزایش روز افزون جمعیت، تأمین غذایی مردم جهان و تغییر اقلیم به یک بحران مدیریتی برای کشورها علی‌الخصوص کشورهای جهان سوم تبدیل شده است. یکی از روش‌های کاهش مصرف آب، استفاده از الگوی بهینه کشت می‌باشد. در این راستا این تحقیق به بررسی تعیین الگوی کشت بهینه تحت سناریوهای تغییر اقلیم در منطقه شاهرود با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداخته است. جهت تعیین الگوی کشت بهینه از برنامه نویسی در محیط متلب استفاده گردید. سطح زیر کشت هر محصول به عنوان متغیر تصمیم و کمینه کردن آب مصرفی و بیشینه کردن سود کشاورز بعنوان تابع هدف در نظر گرفته شد. در برنامه الگوریتم ژنتیک ۱۳ سناریو تعریف شده است. سطح زیر کشت هر محصول در سناریوی یک از صفر تا صد درصد سطح زیر کشت منطقه، در سناریوهای ۲ تا ۱۰ از ۱۰ تا ۹۰ درصد سطح زیر کشت فعلی هر محصول و در سناریوهای ۱۱ تا ۱۳ از ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد سطح زیر کشت کل منطقه تغییر می‌کند. در بخش تغییر اقلیم، دما و بارش ۲۵ مدل AOGCM تحت دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره آتی ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ تعیین گردید. سپس تبخیر و تعرق تحت ریسک ۲۵٪ و ۵۰٪ و ۷۵٪ برای دو سناریوی مذکور محاسبه شده و مجدداً برنامه الگوی کشت بهینه در این ۱۲ حالت اجرا گردید. نتایج نشان داد که در تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط فعلی سناریو شماره ۱۲ بهترین سناریو می‌باشد این سناریو حدود ۷٪ کاهش مصرف آب و ۱۲۲٪ افزایش سود نشان می‌دهد. این سناریو بیشترین سطح زیر کشت را به گندم و جو و کمترین سطح زیر کشت را به یونجه و خربزه اختصاص داده است. نتایج ترکیب شرایط تغییر اقلیم با الگوریتم ژنتیک برای سناریوی ۱۲ نشان می‌دهد در شرایط تغییر اقلیم سطح زیر کشت باید ۲۰٪ کاهش یابد. نتایج نشان می‌دهد که در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 در هر دو دوره، پس از گندم روند تغییرات سطح زیر کشت در تمامی سناریوها تقریباً یکسان می‌باشد. در تمامی سناریوهای تغییر اقلیم پیاز بیشترین سطح زیر کشت و چغندر قند کم‌ترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است.

کلید واژه: الگوریتم ژنتیک، نیاز آبی، الگوی بهینه کشت، تغییر اقلیم، دشت شاهرود

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

"محاسبه نیاز آبی محصولات عمده زراعی دشت شاهرود". هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب
ایران. یزد ۲ و ۳ آبان ۱۳۹۷

فهرست مطالب

شماره صفحه

عنوان

۱.....	فصل اول: مقدمه.....
۲.....	۱-۱- مقدمه.....
۳.....	۲-۱- ضرورت اهمیت موضوع.....
۳.....	۳-۱- فرضیات تحقیق.....
۴.....	۴-۱- اهداف تحقیق.....
۴.....	۵-۱- روند تدوین پایان نامه.....
۵.....	فصل دوم: کلیات و بررسی منابع پیشین.....
۶.....	۱-۲- مقدمه.....
۶.....	۱-۱-۲- بهینه سازی.....
۲۰.....	۲-۱-۲- مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم.....
۲۷.....	۲-۲- جمع بندی.....
۲۹.....	فصل سوم: مواد و روش‌ها.....
۳۰.....	۱-۳- مقدمه.....
۳۰.....	۲-۳- موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه.....
۳۱.....	۳-۳- اطلاعات و داده‌های مورد نیاز.....
۳۲.....	۴-۳- تعیین محاسبه نیاز آبی محصولات.....
۳۳.....	۵-۳- معرفی نرم افزارهای بکار رفته.....
۳۳.....	۱-۵-۳- نرم افزار CROPWAT.....
۳۴.....	۶-۳- بهینه سازی الگوی کشت.....
۳۴.....	۱-۶-۳- الگوریتم ژنتیک.....
۳۵.....	۱-۱-۶-۳- عملگرهای الگوریتم ژنتیک.....
۳۶.....	۲-۱-۶-۳- ارائه ساختار مناسب برای هر فرد.....
۳۶.....	۳-۱-۶-۳- انتخاب متغیرهای تصمیم.....
۳۸.....	۴-۱-۶-۳- تابع شایستگی یا تابع ارزیابی.....
۳۸.....	۵-۱-۶-۳- جمعیت آغازین.....
۳۸.....	۶-۱-۶-۳- انتخاب.....

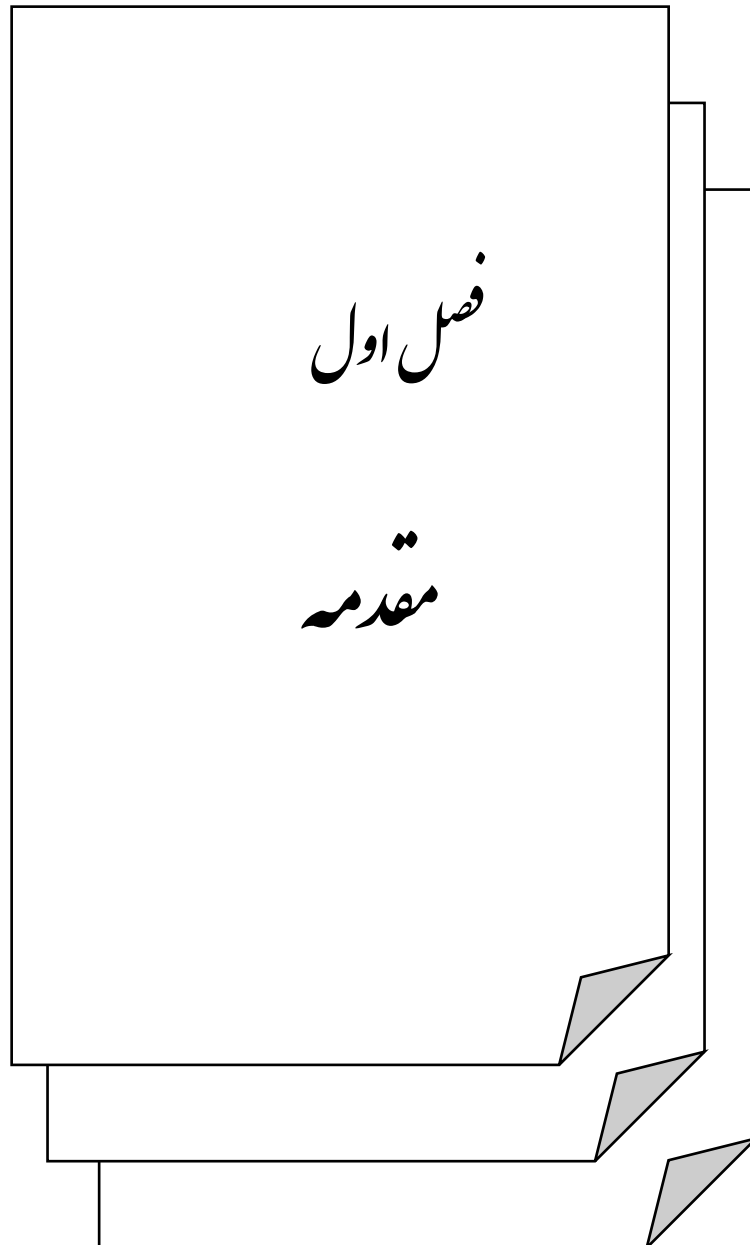
۴۰	۳-۶-۱-۷- ترکیب یا تزویج
۴۱	۳-۶-۱-۸- ترکیب مقادیر دودویی (تلفیق)
۴۱	۳-۶-۱-۹- ترکیب گسسته
۴۱	۳-۶-۱-۱۰- ترکیب مقادیر حقیقی
۴۲	۳-۶-۱-۱۱- جهش
۴۴	۳-۶-۱-۱۲- جایگزینی مجدد
۴۵	۳-۶-۱-۱۳- معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک
۴۶	۳-۷- تغییر اقلیم
۴۶	۳-۷-۱- تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه برای دوره های آتی
۴۹	۳-۷-۲- ریز مقیاس کردن و تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش
۵۳	فصل چهارم: نتایج و بحث
۵۴	۴-۱- مقدمه
۵۴	۴-۲- محاسبه نیاز آبی محصولات در شرایط کنونی
۵۷	۴-۳- تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک
۵۹	۴-۳-۱- تعریف سناریوهای نحوه تغییر سطح زیر کشت هر محصول جهت تعیین الگوی کشت بهینه
۶۸	۴-۴- تغییر اقلیم
۶۹	۴-۴-۱- تعیین مقادیر ΔT و ΔP به صورت احتمالاتی
۷۱	۴-۴-۲- محاسبه نیاز آبی با سناریوهای تغییر اقلیم
۷۵	۴-۴-۳- تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم
۷۵	۴-۴-۴- اثرات تغییر اقلیم بر سطح زیر کشت بهینه
	۴-۴-۵- اثرات تغییر اقلیم بر درصد تغییرات سطح زیر کشت، آب مصرفی و سود کشاورز در سناریوی بهینه
۷۸	
۸۳	فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۴	۵-۱- مقدمه
۸۴	۵-۲- خلاصه نتایج
۸۷	۵-۳- پیشنهادات
۹۱	پیوست ها
۹۹	منابع و مآخذ

فهرست اشکال

عنوان	شماره صفحه
شکل (۱-۳) نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی دشت شهرستان شاهرود.....	۳۰
شکل (۲-۳) نمایی از نرم افزار CROPWAT	۳۴
شکل (۳-۳) نمایش نحوه اعمال ترکیب یک نقطه (هالند، ۱۹۹۲).....	۴۱
شکل (۴-۳) نمایش نحوه‌ی اعمال جهش بر روی یک کروموزوم (من و همکاران، ۱۹۹۶).....	۴۳
شکل (۱-۴): بخشی از مراحل و نتایج محاسبه نیاز آبی توسط نرم افزار cropwate برای گیاه گندم.....	۵۴
شکل (۲-۴): نمودار سطح زیر کشت، میزان عملکرد، نیاز آبی و سود خالص محصولات منطقه شاهرود....	۵۶
شکل (۳-۴): فلوچارت برنامه جهت تعیین الگوی کشت بهینه توسط الگوریتم ژنتیک	۵۸
شکل (۴-۴): نمودار آب مصرفی برای هر سناریو.....	۶۵
شکل (۵-۴): نمودار سود خالص برای هر سناریو.....	۶۷
شکل (۶-۴) نمودار سطح زیر کشت برای سناریوی ۱۲	۶۸
تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر	
کشت کل برای هر محصول (۷-۴) شکل	۷۷
شکل (۸-۴) نمودار درصد تغییرات سود کل و درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی	۸۲

فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول (۱-۳) داده های ایستگاه سینوپتیک شاهرود (۲۰۰۰-۱۹۷۱).....	۳۱
جدول (۲-۳) آمار و اطلاعات جهاد کشاورزی شاهرود سال زراعی (۹۳-۹۴).....	۳۲
جدول (۳-۳) فهرست واژه های معمول در الگوریتم ژنتیک (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳).....	۳۶
جدول (۴-۳) مشخصات مدل های AOGCM منتخب.....	۴۷
جدول (۱-۴): سطح زیرکشت، میزان عملکرد، نیاز آبی و سود خالص محصولات منطقه شاهرود.....	۵۵
جدول (۲-۴) سطح زیر کشت محصولات برای هر سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....	۶۲
جدول (۳-۴) آب مصرفی محصولات برای هر سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....	۶۴
جدول (۴-۴) سود خالص محصولات برای هر سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک.....	۶۶
جدول (۵-۴) مقادیر ΔT (درجه سانتیگراد) برای ماه های مختلف و مدل های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp8.5 دوره آتی اول.....	۶۹
جدول (۶-۴) مقادیر Δp در سه سطح احتمالاتی، تحت دو سناریوی انتشار در دوره های آتی (میلیمتر) ..	۷۰
جدول (۷-۴) مقادیر ΔT در سه سطح احتمالاتی، تحت دو سناریوی انتشار در دوره های آتی (درجه سانتیگراد).....	۷۱
جدول (۸-۴) نیاز آبیاری محصولات در شرایط تغییر اقلیم برای دو دوره آتی rcp 4.5.....	۷۲
جدول (۹-۴) نیاز آبیاری محصولات در شرایط تغییر اقلیم برای دو دوره آتی rcp 8.5.....	۷۳
جدول (۱۰-۴) درصد افزایش نیاز آبیاری برای هر سناریو با شرایط فعلی.....	۷۴
جدول (۱۱-۴) تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول.....	۷۶
جدول (۱۲-۴) درصد تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول.....	۷۹
جدول (۱۳-۴) درصد تغییرات آب مصرفی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول.....	۸۰
جدول (۱۴-۴) درصد تغییرات سود در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول.....	۸۱



فصل اول

مقدمه

مصرف جهانی آب در چهل سال گذشته تقریباً ۲ برابر شده است به گونه‌ای که کمبود آب در بخش‌های زیادی از کره زمین، مشکلات زیادی را برای تأمین آب شرب سالم، تولید محصولات کشاورزی و در کل روند عمومی زندگی انسان‌ها بوجود آورده است. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد تا سال ۲۰۲۵ میلادی، در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد مردم جهان با تنش آبی و مشکلات ناشی از کم آبی مواجه شدند (گلیک، ۲۰۰۳). کمبود آب با کیفیت خوب، یکی از عوامل مهم بازدارنده‌ی توسعه کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی در بیشتر کشورهای در حال توسعه می‌باشد (بوستانی و محمدی، ۱۳۸۶). محدودیت منابع آب شیرین در بسیاری از کشورها چالشی جدی برای آن‌ها محسوب می‌شود به طوری که این محدودیت توانسته رشد این کشورها را تحت تأثیر قرار دهد. به رغم سرمایه گذاری‌های قابل ملاحظه انجام شده در بخش آب، به دلایلی همچون بالا رفتن هزینه‌ی استحصال هر متر مکعب آب از منابع آبی جدید در کشور، برداشت بی‌رویه از برخی منابع آب موجود، عدم تغذیه مناسب سفره‌های آب سطحی و زیرزمینی، رعایت نشدن اصول مربوط به نگهداری و حفاظت از منابع آبی و خاک، رشد بخش صنعت و توسعه شهرنشینی و سرانجام بروز پدیده‌ی خشکسالی در سال‌های اخیر، آلودگی و نابودی بسیاری از منابع آبی ایران همچنان ادامه دارد در نتیجه، عرضه‌ی آب در برخی از مناطق نتوانسته است پاسخگوی تقاضای فزاینده‌ی آن باشد، به گونه‌ای که آب به کالای رقابتی برای مصارف مختلف تبدیل شده است که این محدودیت با توجه به مصرف ۹۰ درصدی بخش کشاورزی بیشتر جلوه می‌کند (اسدپور و همکاران، ۱۳۸۴). یکی از راهکارهای مناسب برای افزایش بهره‌وری در بخش کشاورزی، اصلاح الگوی کشت محصولات با توجه به معیارهای اقتصادی در مناطق مختلف و همچنین در نظر گرفتن محدودیت‌های فنی و عوامل تولید است. از طرفی گرم شدن روز افزون کره زمین، خشکسالی سال‌های اخیر و صدمات سنگین ناشی از آن، بیش از پیش لزوم توجه به پدیده تغییر اقلیم را مشخص می‌کند. آمارهای موجود نشان می‌دهد که ذخایر منابع آب در بسیاری از مناطق کشور از جمله دشت شاهرود به دلیل بهره‌برداری غیر بهینه در معرض تهدید جدی قرار گرفته و ادامه این روند پیامدهای جبران ناپذیر اقتصادی و زیست محیطی را در منطقه به جای خواهد گذاشت. یکی از ارکان مدیریت آب و افزایش بهره‌وری آن استفاده بهینه از منابع موجود

می‌باشد. عدم بهره‌برداری بهینه منابع آبی از موضوعات مهمی است که امروزه طراحان با آن مواجه هستند. هدف اصلی هر کشاورز دستیابی به میزان سود بیش‌تر به ازای تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. در این تحقیق سعی می‌شود با یکی از روش‌های هوشمند، الگوی بهینه کشت برای دشت شاهرود تحت شرایط تغییر اقلیم تعیین گردد.

۱-۲- ضرورت اهمیت موضوع

افزایش روزافزون جمعیت در جهان، گرم شدن کره زمین، تغییر اقلیم و خشکسالی‌های اخیر بشر را با کمبود منابع آب مواجه ساخته است. از طرفی تأمین غذای جمعیت دنیا روز به روز با افزایش روزافزون جمعیت مشکل‌تر می‌گردد. ایران با متوسط بارش یک سوم بارش جهانی و نرخ افزایش جمعیت بیشتر از متوسط جهان، در معرض تنش آبی بیشتری می‌باشد. تشدید دخالت‌های انسان در محیط زیست و چرخه آب از یک سو و محدودیت منابع آب در مقابل نیازهای روزافزون از طرف دیگر و نیز کشت محصولات با نیاز آبی بالا توسط کشاورزان برای درآمد بیشتر، منابع آب شیرین (سطحی و زیرزمینی) را به خطر انداخته، و همچنین به دلیل کمبود بارش در مناطق خشک و نیمه خشک نظیر محدوده مطالعاتی شاهرود، مدیریت منابع آب وابستگی شدیدی به آبهای زیرزمینی پیدا کرده است. با توجه به اهمیت این مسئله، پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده با استفاده از مدل AOGCM و استفاده از الگوی بهینه کشت با استفاده از شبکه‌های هوشمند می‌تواند تا حد زیادی از اتلاف این منابع گران بهاء جلوگیری گردد.

۱-۳- فرضیات تحقیق

- دما در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت.
- بارش در دوره‌های آتی کاهش خواهد یافت.
- با کاهش طول دوره‌های رشد در دوره‌های آتی عملکرد رخ خواهد دهد.
- نیاز آبی گیاهان در دوره‌های آتی افزایش خواهد یافت.
- سطح زیر کشت گیاهان در دوره‌های آتی کاهش خواهد یافت.

- سود کشاورزان در دوره‌های آتی کاهش خواهد یافت.

۴-۱- اهداف تحقیق

این تحقیق با اهداف زیر شکل گرفت:

۱. برآورد نیاز آبی محصولات عمده کشاورزی دشت شاهرود در زمان حال.
۲. محاسبه سود خالص هر یک از محصولات بر اساس عملکرد و سطح زیر کشت فعلی محصولات در منطقه مورد نظر.
۳. تعریف سناریوهایی با هدف کم کردن میزان آب مصرفی و در عین حال افزایش سود کشاورزان منطقه.
۴. تهیه الگوی بهینه کشت با هدف کمینه کردن آب مصرفی و بیشینه کردن سود کشاورزان در شرایط فعلی با یکی از روش‌های هوشمند.
۵. تولید سناریوهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت شرایط تغییر اقلیم.
۶. برآورد نیاز آبی محصولات عمده کشاورزی دشت شاهرود تحت سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های آتی.
۷. تهیه الگوی بهینه کشت با هدف کمینه کردن آب مصرفی و بیشینه کردن سود کشاورزان تحت سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های آتی با یکی از روش‌های هوشمند.
۸. انتخاب بهترین سناریو از میان سناریوهای تعریف شده.

۵-۱- روند تدوین پایان‌نامه

این تحقیق در ۵ فصل ارائه شده است که هر یک از فصول به ترتیب به مباحث زیر می‌پردازد. فصل اول به کلیاتی در مورد موضوع و ضرورت انجام آن می‌پردازد، فصل دوم سابقه تحقیق و مرور بر مطالعات گذشته موضوع مورد نظر را در بر می‌گیرد، فصل سوم منطقه مطالعاتی، نرم افزارهای بکار رفته، مبانی و روش‌های مورد استفاده تحقیق را معرفی می‌کند، فصل چهارم نتایج و محاسبات و فصل پنجم خلاصه‌ای از نتایج مطالعه حاضر و پیشنهاداتی برای ادامه تحقیق را در بر می‌گیرد

فصل دوم

کلیات و بررسی منابع

پیشین

هدف از این تحقیق بهینه کردن الگوی کشت در شرایط تغییر اقلیم می باشد. تحقیقات زیادی در زمینه تعیین الگوی بهینه کشت صورت نگرفته است. از طرفی تحقیقات اندکی نیز که در این زمینه وجود دارد از روش های بهینه سازی هوشمند استفاده نکرده اند و تنها به بررسی چند سناریو اکتفا نموده اند. در این بخش مرور به مطالعات گذشته در دو بخش بهینه سازی و تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱-۱- بهینه سازی

بهینه سازی از دیرباز در رشته های مختلف مهندسی مورد استفاده قرار می گرفت. قبل از گسترش کامپیوتر روش های کلاسیک اساسی ترین روش بهینه سازی بود. روش های کلاسیک متعددی (روش ساده ، روش های ریاضی مانند ضرایب لاگرانژ) تاکنون در زمینه بهینه یابی ارائه شده است. اشکال عمده روش های کلاسیک این می باشد که به محض رسیدن به اولین نقطه بهینه موضعی متوقف شده و توانایی خروج از این نقطه و حرکت به سوی نقطه بهینه بهتری را ندارند. بدین منظور در چند سال اخیر محققین زیادی برای رفع این مشکل رو به روش های هوش مصنوعی آورده اند (گلد برگ و کیو (۱۹۹۳)، کومار و همکاران (۲۰۰۰) و راجو و کومار (۲۰۰۴)، ریتزل و همکاران (۱۹۹۴) و یون و شیمارکر (۱۹۹۹)) از جمله این روش ها میتوان به شبکه های عصبی ، منطق فازی و نیز الگوریتم های تصادفی مانند الگوریتم شبیه سازی آنیل و الگوریتم ژنتیک اشاره نمود. روش های مذکور مجموعه ای از نقاط را در فضای طرح در نظر گرفته و در جهات مختلف برای پیدا کردن جواب بهینه مدل را سوق می دهند. الگوریتم ژنتیک ابتدا توسط جان هلند در دانشگاه میشیگان ارایه شد. سپس به صورت یک روش بهینه سازی قوی توسط گلدبرگ توسعه یافت. بنا به بررسی های صورت گرفته، تا کنون این روش در علم آبیاری و زهکشی در مباحث بهینه سازی آرایش، ترکیب و اندازه شبکه آبرسانی لوله ای در آبیاری تحت فشار ، حل کردن تابع هدف چندگانه در آلودگی آب های زیرزمینی ، مدل مدیریتی آب های زیرزمینی و برنامه ریزی آبیاری برای تخصیص بهینه الگوی کشت و آب آبیاری (کومار و همکاران (۲۰۰۰) و

راجو و کومار (۲۰۰۴)) مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به برخی از تحقیقاتی که از روش‌های هوشمند بهینه‌سازی در مسائل مهندسی استفاده شده است اشاره می‌شود.

شعبانی و همکاران (۱۳۸۶) الگوی کشت غالب (گندم، جو، برنج، چغندر قند، ذرت دانه‌ای و علوفه‌ای) در منطقه درودزن استان فارس را با استفاده از برنامه ریزی خطی (LP) مورد بررسی قرار دادند. مدل تهیه شده نشان داد که الگوی بهینه کشت در فصل اول گندم و در فصل دوم ذرت دانه‌ای و برنج باشد. همچنین نتیجه گرفتند که محدود کردن کشت گیاهان پر مصرف در فصل دوم بهترین و کارآمدترین سیاست جهت تعدیل تقاضای آب می‌باشد.

بوستانی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی رابطه‌ای استفاده از روش کم آبیاری با انتخاب الگوی بهینه فرآورده‌های کشاورزی شهرستان فسا (استان فارس) پرداختند. آنها جهت بهینه کردن الگوی کشت از روش برنامه ریزی غیر خطی استفاده کردند. نتایج نشان داد که با اعمال آبیاری در الگوی جاری، کاهش سطح زیر کشت تا سطح استفاده از موجودی آب، امکان افزایش درآمد مزرعه نماینده وجود دارد.

ایوانس و همکاران (۲۰۰۳) در منطقه‌ای از کشور اکوادور مسئله ناکارایی و نابرابری تخصیص آب را مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. آنها با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی، پیامدهای مسئله مزمن کم آبی با انتقال آب به چهار منطقه را مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که در قانون توزیع آب در منطقه مورد مطالعه شرایط کاری و برابری ایجاد نمی‌گردد.

یوان و همکاران (۱۹۹۶) مدلی برای تعیین استراتژی‌های بهینه‌ی آبیاری در طول یک فصل زراعی ارائه کردند. هدف اصلی از تبیین مدل آنان، روشی بود که با استفاده از آن زارعین بتوانند به رژیم‌های انتظاری آب در سال آتی جهت بهینه کردن الگوی کشت، تولید زراعی، درآمد مزرعه و استفاده کارا از منابع به ویژه آب آبیاری دست یابند.

علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) الگوی کشت بهینه در یک دوره برنامه‌ریزی ۱۰ ساله را با تاکید بر عدم بیلان منفی ذخایر آب زیرزمینی در سال آخر دوره برنامه‌ریزی، مورد بررسی قرار دادند. همچنین از روش‌های حل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی غیر خطی و برنامه‌ریزی غیر خطی چندهدفه آرمانی استفاده کردند. نتایج نشان داد

به کارگیری الگوی مشخص شده در دوره ده ساله علاوه بر دستیابی به اهداف چندگانه، سبب کاهش ذخایر آب زیرزمینی منطقه از 38×10^7 متر مکعب در سال مبداء به صفر در سال آخر دوره برنامه می‌گردد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۰) الگوی کشت بهینه را با استفاده از الگوی برنامه ریزی چند هدفه غیر خطی فازی، امکان تحقق آرمان‌های حداکثر کردن بازده برنامه‌ای در مصالحه با کاهش مصرف آب، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی و ریسک تولید و افزایش منافع اجتماعی از طریق افزایش سطح اشتغال نیروی کار در الگوی کشت شهرستان مرودشت استان فارس مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که الگوی چند هدفه نسبت به الگوهای تک هدفه برتری دارد و با اجرای آن علاوه بر کاهش مصرف آب و کود شیمیایی، افزایش بازده برنامه‌ای و کاهش ریسک را نیز در بر دارد.

موسوی و اکبری (۱۳۹۳) به بررسی الگوی کشت بهینه و تاثیر آن بر مدیریت منابع آبی مرو دشت- کربال پرداختند. نتایج نشان داد در الگوی برنامه‌ریزی خطی فازی، سطح زیر کشت جو، چغندر قند نسبت به وضعیت موجود بایستی کاهش یابد. در مورد الگوی برنامه‌ریزی آرمانی فازی در مقایسه با وضعیت موجود، سطح زیر کشت گندم و جو افزایش و سطح زیر کشت دیگر فرآورده‌ها کاهش یابد. همچنین بازده برنامه‌ای در دو الگو کاهش داشته‌اند، اما این کاهش در الگوی برنامه ریزی خطی فازی نسبت به الگوی دیگر کمتر بوده است.

مقدسی و همکاران (۱۳۸۷) تکنیک‌های مختلف بهینه سازی برنامه ریزی خطی (NLP)، هوش جمعی (PSO) و الگوریتم ژنتیک (GA) در مدیریت تخصیص آب کشاورزی در شرایط خشکسالی با حداکثر سازی درآمد، مورد مقایسه قرار دادند. آنها دریافتند روش NLP و سپس PSO نسبت به GA برتری دارند. همچنین این رویکرد تا ۳۶ درصد امکان افزایش درآمد را نسبت به مدیریت‌های سنتی دارد.

جعفر زاده و همکاران (۱۳۹۵) به منظور تعیین الگوی کشت بهینه در افق سال ۱۴۱۸ شمسی، افزایش درآمد کشاورزان و همچنین کاهش افت سطح آبخوان دشت بیرجند تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم به عنوان تابع هدف در روش PSO انتخاب کردند. آنان نتیجه گرفتند که افزایش سطح زیر کشت محصولات نظیر

زعفران، زرشک و عناب به عنوان ظرفیت های بخش کشاورزی در الگوی کشت بهینه می تواند ضمن کاهش افت سطح آبخوان موجبات توسعه اقتصادی را نیز فراهم نماید.

نوذری و محسنی (۱۳۹۴) توسط روش پویایی سیستم، استفاده تلفیقی از منابع آب شبکه آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار اصفهان، را شبیه سازی کردند. سپس الگوی کشت توسط تابع سود به هزینه بهینه گردید. نتایج نشان داد در صورت حفظ و عدم حفظ محدودیت مجموع مساحت زیر کشت در سال مبنای بیشترین مقدار درآمد به هزینه، به ترتیب برابر ۳/۰۲۵ و ۱۴۴ و مربوط به نحوه برداشت از آب زیرزمینی براساس نیاز آبی با اجازه ۵۰ درصد تغییر در سطح زیر کشت هر یک از محصولات است.

میرزایی و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از مدل MMAS (سیستم مورچه-کمینه) به بررسی الگوی بهینه کشت شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان با هدف ایجاد سود حداکثری برای کشاورزان پرداختند. نتایج ایشان نشان داد الگوی فعلی منطقه بهینه نبوده و با اجرای الگوی پیشنهادی سود حاصل به ازای هر هکتار زمین کشت شده در کشت پاییزه و تابستانه افزایش می یابد. همچنین در کشت پاییزه با استفاده از الگوی پیشنهادی تا ۷۵ درصد در مصرف آب صرفه جویی خواهد شد.

حسینی و همکاران (۱۳۹۵) تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با تاکید بر بیشینه کردن منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی را در دشت بهار همدان بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان دادند که در الگوی کشت بهینه در سطح دشت تنها محصول گندم به مقدار ۷۱ هزار هکتار دارای اهمیت است. در ادامه به منظور افزایش کارایی مصرف بهینه آب، محصولات از نظر زمان کشت دسته بندی شدند. بدین ترتیب مشخص شد با پایان یافتن زمان کشت گندم محصول سیب زمینی که دارای بهره وری آب بالایی است، باید جایگزین آن شود. در پایان نیز با توجه به مدل HSS مشخص گردید که الگوی بهینه با کمینه کردن سطح زیر کشت محصولات صادراتی یونجه، سیب زمینی و چغندر قند و حداقل کردن سطح زیر کشت جو بیشترین آب مجازی را وارد منطقه کرده است و در این الگو نیز تنها محصول گندم به زیر کشت خواهد رفت.

فردین و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تاثیر کم آبیاری بر گزینش الگوی کشت بهینه ی فرآورده های کشاورزی در شرایط بحران آب، استان فارس پرداختند. نتایج نشان دادند که با اعمال آبیاری کامل به جای

کم آبیاری در الگوی جاری و کاهش سطح زیر کشت تا سطح استفاده از موجودی آب امکان افزایش درآمد مزرعه نماینده وجود دارد.

اسدی و یزدان پناه (۱۳۹۱) به بررسی تعیین الگوی بهینه کشت در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی در شهرستان ارزوئیه پرداختند. آنان دریافتند در طول دو سال تحقیق حداکثر و حداقل بهره‌وری آب کاربردی در بین چهار محصول مورد بررسی، به ترتیب در زراعت چغندر قند، ذرت دانه‌ای و پنبه طول دو سال کشت در هر چهار مزرعه بررسی شد و به ترتیب بین ۱۱۹۶-۲۵۰۶، ۱۷۲۵-۳۲۹۴، ۲۶۹۴-۴۶۳۵، ۲۷۴۷-۱۷۳۴ ریال بر متر مکعب متغیر است که با استفاده از مقادیر بهره‌وری اقتصادی آب کاربردی کشت محصولات مختلف در مزارع ۱ تا ۴ اولین انتخاب ذرت دانه‌ای و در تمامی مزارع آخرین انتخاب گندم تعیین می‌گردد.

مجیدی و همکاران (۱۳۹۰) تعیین الگوی کشت بهینه همسو با مدیریت منابع آب را در دشت مشهد - چناران مورد بررسی قرار داده و با استفاده از برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی نتیجه گرفتند برنامه‌ریزی خطی در الگوی کشت بهینه، علیرغم به کارگیری تمام سطح زیر کشت موجود و کسب بازده برنامه‌ای مشابه الگوی فعلی، میزان مصرف آب کاهش یافته که ناشی از ترکیب جدید محصولات در نظام تولید می باشد. همچنین در حالت بهینه سطح زیر کشت محصولاتی نظیر چغندر قند، حبوبات و آفتابگردان به دلیل مصرف بالای آب و داشتن بازده برنامه‌ای کمتر، از الگوی کشت حذف شدند.

سکوتی اسکوتی (۱۳۹۴) بهینه‌سازی الگوی کشت به منظور کاهش فرسایش خاک را در آبخیز قوشچی مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند سطح کاربری‌های فعلی جهت کاهش میزان فرسایش و افزایش درآمد ساکنین حوزه مناسب نبوده و در شرایط بهینه باید تغییر کند. در شرایط بهینه سطح اراضی باغی از ۴۰۸ هکتار به ۵۰۷ هکتار، سطح اراضی مرتعی بدون تغییر، سطح اراضی کشت آبی از ۱۶۹ هکتار به ۱۳۶ هکتار و سطح اراضی دیم نیز از ۶۳۶ به ۵۷۰ هکتار تغییر می‌یابد.

علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) بهینه سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیر زمینی را در دشت مشهد- چناران مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از روش‌های حل بهینه سازی برنامه‌ریزی غیر خطی

و برنامه ریزی غیر خطی چند هدفه‌ی آرمانی در قالب ساختارهای مختلف اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی به این نتیجه رسیدند که با به کارگیری الگوی مشخص شده در دوره برنامه ریزی ده ساله علاوه بر دستیابی به اهداف چندگانه: ماکزیمم کردن بازده برنامه‌ای، حداقل کردن مصرف آب و هزینه‌های سرمایه‌ای و مصرف کودها و سموم شیمیایی و ثابت ماندن سطح اشتغال نیروی کار، سبب کاهش کسری دخیل آب زیرزمینی منطقه از 38×10^7 مترمکعب در سال مبدا به صفر در سال آخر دوره برنامه می‌گردد.

میرزایی و همکاران (۱۳۹۴) تعیین الگوی کشت بهینه با روش بیشینه - کمینه (MMAS) سیستم مورچه‌گان را در شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان با هدف ایجاد سود حداکثر برای کشاورزان مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که این مدل نشان می‌دهد الگوی فعلی منطقه بهینه نبوده و با اجرای الگوی پیشنهادی سود حاصل به ازای هر هکتار زمین کشت شده در کشت پاییزه و تابستانه افزایش می‌یابد. همچنین نتایج این مدل نشان می‌دهد در کشت پاییزه با توجه به نیاز آبی تعیین شده برای محصولات مورد کشت میزان بارندگی موجود مقدار عمده نیاز گیاه را تعیین می‌کند و با استفاده از الگوی پیشنهادی تا ۷۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد شد که شامل $24/5$ میلیون متر مکعب آب می‌شود.

فتوکیان و همکاران (۱۳۹۶) مدل سازی پویایی سیستم سد مخزنی یامچی با اعمال الگوی بهینه کشت جهت تدوین سیاست بهره‌برداری را مورد بررسی قرار دادند. آنان به کمک مدل پویایی سیستم‌ها در محیط نرم افزار Vensim و همچنین بر مبنای معیاری مختلف از جمله آب مجازی، نقش محصول در تامین نیازهای عمومی، سود مالی، قابلیت انبار (از لحاظ زمانی) و نیاز آبی محصولات نتیجه گرفتند که اعمال سیاست الگوی کشت بهینه پیشنهادی سبب کاهش مصرف آب بخش کشاورزی در منطقه مورد مطالعه می‌گردد و در نتیجه موجب کاهش کمبود کلی آب، در حدود ۴۳ درصد در مقایسه با کمبود آب با ادامه روند بهره‌برداری کنونی در بازه زمانی ۱۳۸۸-۱۴۱۰ خواهد شد.

کریم زاده و همکاران (۱۳۹۵) به بهینه‌سازی بهره‌وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت پرداختند. آنان با استفاده از مدل های برنامه ریزی خطی و چند هدفه با هدف حداکثر سازی سه شاخص سود ناخالص، بهره‌وری آب و کارایی انرژی به تعیین الگوی کشت مزارع کوچک مقیاس در محدوده مشهد - چناران

پرداختند که نتایج نشان داد تعیین الگوی کشت با استفاده از برنامه‌ریزی خطی با هدف بهره‌وری آب باعث کاهش ۲۷ درصدی تقاضای آب کشاورزی در محدوده مطالعاتی می‌شود.

اسعدی و همکاران (۱۳۹۷) مدل برنامه‌ریزی خطی فازی برای بهینه‌سازی الگوی کشت در حوضه‌ی زرینه رود را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نیل با هدف حداکثر سازی سود خالص کشاورزی و با در نظر گیری عدم قطعیت‌های موجود، از برنامه‌ریزی خطی تماماً فازی با دو روش حل متفاوت استفاده کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که از اجرای بهینه‌سازی قطعی و افزایشی معادل ۳۶/۳۴ درصد نسبت به الگوی کشت فعلی از طریق کاهش سطوح زیر کشت محصولات با سود خالص کم و افزایش سطح زیر کشت محصولات با درآمد بالا می‌باشد.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه غیر خطی فازی را مورد مطالعه قرار دادند. آنان با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی چند هدفه غیر خطی فازی امکان تحقق آرمان‌های حداکثرکردن بازده برنامه‌ای در مطالعه با اهداف کاهش مصرف آب، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی، حداقل کردن ریسک تولید و افزایش منافع اجتماعی از طریق افزایش سطح اشتغال نیروی کار درالگوی کشت شهرستان مرو دشت استان فارس، به این نتیجه رسیدند که الگوی چند هدفه نسبت به الگوی جاری و حتی الگوهای تک هدفه با انجام مصالحه بین آرمان‌های چندگانه برتری دارد.

نوذری و همکاران (۱۳۹۴) کاربرد روش پویایی سیستم در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی الگوی کشت شبکه، آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار اصفهان را مورد بررسی قرار دادند. آنان به منظور تعیین الگوی کشت بهینه، از تابع نسبت درآمد به هزینه برای دو حالت توجه و عدم توجه به قید حفظ مجموع مساحت محصولات کشت شده در سال مبنا (سال زراعی ۱۳۸۵-۱۳۸۶) با روش‌های مختلف مدیریت آب آبیاری و با اعمال محدودیت درصدهای مختلف تغییر در سطح زیر کشت هریک از محصولات شبکه به این نتیجه رسیدند که در صورت حفظ و عدم حفظ محدودیت مجموع مساحت زیر کشت در سال مبنا، بیشترین مقدار درآمد به

هزینه به ترتیب برابر ۳/۰۲۵ و ۳/۱۴۴ و مربوط به نحوه‌ی برداشت از آب زیرزمینی براساس نیاز آبی با اجازه ۵۰ درصد تغییر در سطح زیر کشت هر یک از محصولات است.

هاتف و همکاران (۱۳۹۵) مطالعات خود را بر روی الگوی بهینه کشت محصولات منتخب زراعی استان خراسان رضوی براساس مزیت نسبی تولید با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی فازی چند هدفه و با در نظر گرفتن بیشترین سود برای کشاورزان آغاز کردند. نتایج بدست آمده از داده‌های وزارت بازرگانی و (FAO) در تعیین مزیت نسبی و داده‌های الگوی کشت (۴۲۰ پرسشنامه توسط کشاورزان در سال ۱۳۹۱) نشان داد که حذف شدن محصولات عدس آبی، لوبیا قرمز آبی و ذرت دانه‌ای آبی به دلیل نداشتن مزیت نسبی و محصولات زراعی گندم دیم و آبی، جو آبی، پنبه آبی، جو دیم، نخود دیم، شلتوک، نخود آبی، عدس دیم و آفتابگردان آبی به دلیل پایین بودن رتبه مزیت نسبی در کمترین سطح زیر کشت قرار گرفتند و محصولات زراعی چغندر قند، گوجه فرنگی آبی، هندوانه آبی، سیب زمینی آبی، کلزا آبی، خیار آبی، پیاز آبی، هندوانه دیم دارای افزایش سطح زیر کشت نسبت به الگوی موجود هستند. بنابراین پیشنهاد کردند که با توجه به کمیاب بودن آب در تولید محصولات زراعی علاوه بر در نظر گرفتن هدف‌های سنتی در الگوهای کشت باید هدف مزیت نسبی را هم که منجر به تولید محصولات با توجه به نیاز بازار و افزایش درآمد کشاورزان می شود در نظر گرفت.

این مقاله تعیین الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی فازی در استان خراسان رضوی ارائه گردید و سه نوع الگوی بهینه کشت با وزن‌های متفاوت را مورد مطالعه قرار دادند. محصولات مورد مطالعه شامل جو، گندم، ذرت دانه‌ای، چغندر قند، پنبه و گوجه فرنگی می‌باشد. نتایج نشان داد که بین این سه نوع الگوی بهینه کشت تفاوتی وجود ندارد. محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و گوجه فرنگی در تمام الگوهای بهینه کشت وجود داشتند و فقط دو محصول چغندر قند و پنبه حذف شدند. بنابراین پیشنهاد شد که برای جلوگیری از حذف شدن این دو محصول از الگوی حقیقی کشت و سیاست‌های ترویجی و حمایتی کشاورزی در آینده استفاده شود (مردانی و همکاران، ۱۳۹۱).

فلاحی و همکاران (۱۳۹۲) به منظور حفاظت از منابع حیاتی آب با ارائه دو هدف حداکثر سازی بازده ناخالص و حداقل سازی مصرف آب مطالعات خود را با داده های مربوط به سال (۸۹-۹۰) و تکمیل ۱۰۶ پرسشنامه توسط کشاورزان که به روش نمونه گیری خوشه ای دو مرحله ای انجام می گرفت. در دشت سیدان - فاروق شهرستان مرودشت انجام دادند و با مقایسه ی الگوهای کشت فعلی و بهینه متوجه شدند که در هر دو گروه مزارع بزرگ نسبت به مزارع کوچک به گونه ی موفق تری تامین شده است که نتیجه ی یک مدیریت کار آمد مصرف آب در آن است و به این نتیجه رسیدند که با تبادل میان دو هدف و با اندکی چشم پوشی از بازده ناخالص به خصوص در مزارع کوچک می توانند شاهد کاهش قابل ملاحظه ای آب مصرفی باشند که از این طریق گزینه های مختلفی جهت کاهش مصرف آب در اختیار کشاورزان قرار می گیرد.

عرفانی فر و همکاران (۱۳۹۲) بهینه سازی الگوی کشت با تاکید بر روش های خاک ورزی حفاظتی از روش برنامه ریزی چند هدفه آرمانی - فازی در منطقه ی داراب را مورد مطالعه قرار دادند. برخی اهداف نشان داد که شاخص های بازده برنامه ای و امنیت غذایی به ترتیب به میزان ۲۳/۵ درصد و ۶/۱ درصد نسبت به الگوی فعلی افزایش و شاخص های مصرف انرژی و آب به ترتیب ۵/۲ درصد و ۴ درصد کاهش می یابند. بنابراین جایگزینی الگوی کشت چند هدفه با الگوی جاری می تواند نتایج مطلوبی از نظر اقتصادی و زیست محیطی به دنبال داشته باشد.

باولی و همکاران (۱۳۹۳) از الگوی برنامه ریزی خطی متعارف، برنامه ریزی آرمانی قطبی و آرمانی فازی در جهت امکان تحقق اهداف حداکثر کردن بازده برنامه ای، حداقل کردن هزینه های سرمایه گذاری نقدی، حداقل کردن مصرف آب، حداقل کردن مصرف کودهای شیمیایی، حداقل کردن مصرف سموم شیمیایی با در نظر گرفتن محدودیت های زمین در دسترس، ماشین آلات در دسترس، نیروی کار موجود، آب ماهانه در دسترس و تامین نیاز علوفه ای دام در الگوی کشت دشت ماهدشت استان کرمانشاه تحقیقات خود را انجام دادند. نتایج بدست آمده از اطلاعات و داده هایی که با استفاده از روش نمونه گیری خوشه ای دو مرحله ای با تکمیل ۲۷۷ پرسشنامه و مقایسه ی مدل های برنامه ریزی نشان داد که فازی کردن مدل ها باعث تحقق مطلوب تر اهداف می شود به

طوری که در مدل برنامه‌ریزی آرمانی فازی، بازده برنامه‌ریزی ۱/۷۲ درصد افزایش و هزینه‌های جاری، آب مصرفی، کودهای شیمیایی و سموم شیمیایی به ترتیب ۵، ۳/۸۷، ۲۳/۶۵، ۱۱/۵۱، درصد کاهش خواهند یافت. جولایی و همکاران (۱۳۹۴) از روش برنامه‌ریزی آرمانی به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت استان مازندران در ۵ الگو استفاده کردند. برخی از اهداف شامل بیشینه سازی بازده برنامه‌ای، حفاظت از محیط زیست، افزایش اشتغال، توسعه پایدار منابع آب و دستیابی به آنها می‌باشد. نتایج بدست آمده از نمونه گیری طبقه بندی دو مرحله ای و ۴۹۳ پرسشنامه از سطح ۱۹ شهرستان استان مازندران سال (۹۰-۹۱) نشان داد که دستیابی به همه‌ی اهداف با ایجاد مصالحه و توازن بین اهداف یک توصیه جامع نگر برای الگوی کشت استان ارائه می شود. با ۴ درصد افزایش بازده برنامه‌ای فعلی و با ۲/۸۵ درصد کاهش مصرف کودهای شیمیایی، ۰/۳۸ درصد کاهش مصرف سموم دفع آفات، ۸/۴۸ درصد افزایش اشتغال و ۰/۹۹۸۷ درصد کاهش مصرف آب به طور نسبی تمام اهداف را به تحقق می‌رساند.

نادری مهدی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی الگوی کشت بهینه در شهرستان بهار به عنوان قطب اصلی کشت سیب‌زمینی در استان همدان است. جامعه آماری سیب‌زمینی کاران شهرستان بهار (۹۲-۹۳) می‌باشند که حجم نمونه با استفاده از نرم افزار Lingo 10 در قالب الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مورد بررسی قرار گرفتند. تحقیقات نشان داد که ۸/۴۴ درصد بازده برنامه‌ای، به میزان ۲/۹۴ درصد مصرف آب کاهش یافته است و بازده برنامه‌ای و مصرف آب در جهت مطلوب قرار گرفته و این یافته‌های تحقیق مورد استفاده‌ی برنامه‌ریزان و متولیان کشاورزی در شهرستان بهار قرار می‌گیرد.

پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۴) به بهینه‌سازی الگوی کشت در جهت حفظ و پایداری محیط زیست در منطقه‌ی الموت غربی استان قزوین و کاهش آلودگی آب‌های رودخانه شاهرود که ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی است توسط مدل برنامه‌ریزی آرمانی پرداختند. داده‌های این تحقیق با همکاری کشاورزان و پرسشنامه‌ها و سالنامه‌های آماری سال ۱۳۸۹ و تجزیه و تحلیل آنها با استفاده از نرم افزار EXCLE صورت گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که الگوی کشت در این بخش بهینه نیست و نهادهای تولیدی به صورت

غیر کار آمد استفاده می شود. بنابراین با به کار گرفتن این مدل می توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفاده ی بهینه از منابع منطقه می توان گام های موثری در جهت افزایش درآمد کشاورزان و کاهش تخریب محیط زیست برداشت.

میرزایی و همکاران (۱۳۹۶) به تعیین الگوهای کشت بهینه محصولات کشاورزی بخش مرکزی شهرستان سیرجان با توجه به پایداری منابع آب و محیط زیست و استفاده از برنامه ریزی خطی ساده و چند هدفه، روش تعمیم یافته، روش Topsis پرداختند. نتایج بدست آمده از داده های مربوط به پرسشنامه از ۱۹۰ نفر از بهره برداران منطقه سال ۱۳۹۲ اینگونه بود که برای مزارع کوچکتر از پنج هکتار، محصول یونجه سطح زیر کشت کمتر و محصول جو با هدف کمینه سازی مصرف آب و کود شیمیایی، سطح زیر کشت بیش تری را نسبت به الگوی کنونی دارد اما در الگوی بهینه با وزن بیشتر که هدف بیشینه سازی بازده ناخالص و وزن یکسان است محصول پیاز جایگزین آن می شود و همچنین نشان داد که برای مزارع بزرگتر از پنج هکتار محصول یونجه کمتر و محصولات جو و پیاز بیش تر از الگوی کنونی کشت می شوند و به این نتیجه رسیدند که مزارع بزرگتر سوددهی بهتری نسبت به مزارع کوچکتر دارند ولی از لحاظ مصرف آب کارا عمل نکردند.

سخداری و صبوچی (۱۳۹۱) از برنامه ریزی فرا آرمانی و آرمانی در تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی در منطقه نیشابور در سال (۸۶-۸۷) استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که کل سطح زیر کشت در برنامه ریزی آرمانی ۶۹۰۱۶ هکتار و در برنامه ریزی فرا آرمانی ۷۲۰۹۲ هکتار است و در تمام الگوهای بهینه کشت محصول گندم بیشترین سطح زیر کشت را دارد. بنابراین پیشنهاد می شود که از الگوهای بهینه کشت که انحراف از آرمان ها در آن کمتر است استفاده شود.

دشتی و قادری نژاد (۱۳۹۲) الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با در نظر گرفتن مزیت نسبی در سه شهرستان دره شهر، ایوان و شیروان چردوال استان ایلام را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بدست آمده از داده های سال ۱۳۹۰ و محاسبه شاخص های مزیت نسبی این بود که در تمامی شهرستان ها محصولات فاقد مزیت نسبی نیز تولید می شوند و با مقایسه ترکیب کشت محصولات زراعی در وضعیت فعلی با نتایج بدست

آمده تولید ۵۰ درصد از محصولات کنونی توصیه می‌شود بنابراین توجه به تولید محصولات مزیت دار هر شهرستان با در نظر گرفتن مقادیر محدود عوامل توصیه می‌شود.

بهرامی نسب و همکاران (۱۳۹۲) مدل برنامه‌ریزی فازی را با استفاده از رهیافت بازه‌ای در تعیین الگوی بهینه کشت در شهرستان اسفراین به کار بردند و با جمع‌آوری اطلاعات از ۱۲۸ پرسشنامه و مصاحبه حضوری با کشاورزان منطقه در سال ۱۳۹۲ به این نتیجه رسیدند که مدل‌ها در شرایط خوشبینانه و بدبینانه و تحت برش‌های آلفای متفاوت، با افزایش میزان عدم قطعیت و بزرگتر شدن بازه‌ی نوسانات که در اثر برش‌های آلفای کوچک‌تر حاصل می‌شود، سود حاصل در شرایط خوشبینانه افزایش و در شرایط محافظه کارانه کاهش می‌یابد. محصولات ذرت علوفه‌ای، لوبیا قرمز و گندم محصولات اقتصادی به شمار می‌آیند و پیشنهاد می‌شود که در جهت بهبود وضعیت سود آوری کشاورزان و استفاده بهینه از منابع تولید، سیاست‌های تشویقی و حمایتی جهت گسترش تولید این محصول توسط سازمان‌های مربوطه به اجرا گذاشته شود.

نخعی و همکاران (۱۳۹۴) بهینه‌سازی الگوی کشت توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه ریزی خطی در دشت بیرجند انجام دادند. نتایج نشان داد که گیاهان زعفران، زیره، جو، گندم، صیفی‌جات، سبزیجات، چغندر قند، نباتات علوفه‌ای و پنبه به ترتیب بیشترین اولویت را برای کشت دارند و همچنین نتایج تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که الگوهای هشت، دو و چهار به عنوان الگوهای مناسب شناخته شدند که در این الگوها به ترتیب نباتات علوفه‌ای ۲۱/۱۲ درصد، گندم ۳۶/۷۴ درصد و گندم ۴۶/۷۶ درصد بیشترین سطح زیر کشت را دارند و با بهینه‌یابی در مدل LINGO مدل ۸ به علت دارا بودن پایین‌ترین ضریب تعیین (R^2) نامناسب شناخته شد و در الگوهای ۲ و ۴ سطح زیر کشت گندم و سبزیجات نسبت به الگوی کشت رایج در منطقه افزایش یافت. گیاهان جالیزی، زیره، زعفران، پنبه و جو در الگوی دو نسبت به الگوی رایج منطقه افزایش و در الگوی چهار کاهش یافت و سطح زیر کشت نباتات علوفه‌ای و چغندر قند در هر دو الگوی کشت نسبت به وضعیت فعلی منطقه از خود کاهش نشان داد.

رستگاری پور و همکاران (۱۳۹۴) به تعیین الگوی بهینه کشت در بخش مرکزی شهرستان تربت حیدریه با استفاده از برنامه ریزی خطی تک هدفه و چند هدفه پرداختند و نتایج بدست آمده از جمع آوری داده های ۱۸۸ پرسشنامه (سال ۱۳۹۴) از کشاورزان آن منطقه که به روش نمونه گیری خوشه ای دو مرحله ای انجام گرفت، نشان داد که میزان سطح زیر کشت محصول گندم نسبت به سطح اولیه افزایش و محصول یونجه کاهش یافته است و اینکه محصول جو در مزارع کوچک و متوسط مقیاس بدون تغییر و در مزارع بزرگ افزایش یافته و چغندر قند در مزارع کوچک مقیاس افزایش و در مزارع متوسط و بزرگ مقیاس بدون تغییر است که باعث حذف شدن آن می شود و همچنین دریافتند که محصول پنبه در مزارع کوچک بدون تغییر و مزارع متوسط و بزرگ مقیاس نسبت به سطح اولیه کاهش یافته است.

پژوهنده و همکاران (۱۳۹۰) از مدل برنامه ریزی آرمانی چند هدفه به منظور تعیین الگوی بهینه کشت در شرکت زراعی دشت ناز ساری استفاده کردند و این الگو را با دو الگوی بهینه که یکی منطبق با مقادیر مصرف فعلی و دیگری باتوجه به میزان بحران مصرف کود و سم است مقایسه کردند. نتایج نشان داد که الگوی فعلی با الگوی بهینه تفاوت دارد و مدل دوم نسبت به مدل اول هم سویی بیشتری با اهداف زیست محیطی دارد و با اجرای الگوی بهینه بازده ناخالص ۱۲۳۰ میلیون ریال افزایش و میزان مصرف سم و کود به حداقل می رسد. بنابراین پیشنهاد می شود در راستای اهداف دولت مبتنی بر خودکفایی دانه های روغنی، سطح زیر کشت کلزا افزایش و مصرف سم و کود کاهش یابد.

یارن و دینار (۱۹۸۲) نشان دادند که استفاده از برنامه ریزی غیرخطی و پویا (DP-NLP) میتواند راه حلی برای تخصیص منابع آب، در الگوی کشت های مختلف باشد.

شعبانی و هنر (۱۳۸۷) با استفاده از برنامه ریزی خطی و الگوریتم ژنتیک به عنوان یک روش بهینه یابی تصادفی، جهت حداکثر نمودن سود، تخمین آب مورد نیاز گیاه در دوره های زمانی مختلف، به بهینه کردن الگوی کشت و مدیریت آبیاری در کانال اردیبهشت در سطح زیر کشت ۷۰۰۰ هکتار از شبکه اصلی سد درودزن (استان

فارسی) پرداختند. نتایج نشان داد که در کشت اول سال زراعی گندم و در کشت دوم ذرت دانه‌ای به علت داشتن بازده برنامه‌ای بیشتر به عنوان الگوی بهینه می‌باشند.

ساتی آسایی و ویس وانتان (۱۹۹۷) نیز استراتژی‌های متفاوت مدیریت آب در مناطق کم آب، تغییرات میزان مصرف آب، اشتغال و کارایی مصرف آب را مورد بررسی قرار دادند. آنها استراتژی‌های تغییر الگوی کشت از گیاهان با مصرف آب بالا مانند نیشکر، برنج به گیاهان کم مصرف، کاربرد عملیات زراعی و زیربنایی مثل مالچ و مواد افزودنی به خاک برای کاهش تبخیر و تعرق و استفاده از تکنولوژی‌های جدید آبیاری مثل قطره‌ای و بارانی را پیشنهاد کردند.

کیو و همکاران (۲۰۰۰) در تحقیقی از الگوریتم ژنتیک برای برنامه‌ریزی آبیاری در سطح مزرعه استفاده کردند. طرح آنها در دو منطقه Delta و Utah به وسعت ۳۹۴/۶ هکتار به این ترتیب انجام شده با استفاده از داده‌های آب و هوا، نیاز آبی روزانه گیاهان را شبیه‌سازی کردند و در نهایت عملکرد نسبی را برای هفت گیاه در دو منطقه به دست آوردند. در این تحقیق با استفاده از عملکرد نسبی و نیاز آبی در الگوریتم ژنتیک، تابع هدف را بر اساس حداکثر درآمد طرح بهینه و الگوی بهینه کشت را برای مناطق مورد مطالعه به دست آوردند.

راجو و کومار (۲۰۰۴) تحقیقی در مورد استفاده از الگوریتم ژنتیک در برنامه‌ریزی آبیاری و توسعه الگوی کشت موثر و بهینه در راستای افزایش سود یک پروژه انجام دادند. محدودیت‌های در نظر گرفته شده در این مدل بهینه‌سازی، معادله پیوستگی، نیاز آب، تنوع محصول و محدودیت ذخیره بود و تابع جریمه‌ای نیز برای انحراف مسئله از حالت منطقی به غیر منطقی در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک با حل برنامه‌ریزی خطی مقایسه و بسیار نزدیک مشاهده شد. به طوری که می‌توان از الگوریتم ژنتیک به عنوان یک مدل بهینه‌سازی موثر برای برنامه‌ریزی هر سیستم آبیاری استفاده کرد.

کومار و همکاران (۲۰۰۶) در تحقیقی جهت بهینه کردن عملکرد مخزن سد یک منطقه Malaprabha برای آبیاری گیاهان زراعی از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. تابع هدف ارائه شده شامل مجموع حداکثر عملکرد نسبی برای کل گیاهان در مناطق تحت آبیاری بود. در مدل آنان جریان ورودی به مخزن، بارندگی بر روی

سطوح آبیاری شده، رقابت درون فصلی برای آب گیاهان مختلف زراعی، میزان رطوبت موجود در خاک، غیر یکنواختی خاک‌ها و ضریب حساسیت گیاه به کار گرفته شده بود. نتایج آنها نشان داد عملکرد بهینه به دست آمده با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) شبیه عملکرد بهینه به دست آمده با استفاده از برنامه‌ریزی خطی (LP) می‌باشد.

کومار وردی (۲۰۰۷) روش‌های الگوریتم ژنتیک و هوش جمعی (PSO) را برای استخراج سیاست‌های بهره برداری در مخازن چند منظوره در هندوستان به کار بردند. نتایج نشان داد که استفاده از الگوریتم ژنتیک نسبت به PSO نتایج در استخراج سیاست‌های بهره‌برداری از مخازن دارد.

با توجه به مزایای الگوریتم ژنتیک نسبت به سایر روش‌های هوشمند در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

۲-۱-۲- مطالعات صورت گرفته در زمینه تغییر اقلیم

رشد سریع فعالیت‌های صنعتی و در نتیجه افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر باعث برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین شده است که به آن تغییر اقلیم^۱ اطلاق می‌شود (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۴). تغییر اقلیم در مدیریت بسیاری از فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی تاثیر بسزایی دارد. از جمله اثرات تغییر اقلیم افزایش دما، کاهش بارش، تغییر نوع بارش، تغییر مدت زمان و میزان و شدت خشکسالی‌ها و سیل می‌باشد. همچنین این پدیده می‌تواند در میزان تبخیر و تعرق گیاهان تاثیر بگذارد. بنابراین تعیین الگوی کشت بهینه در آینده بدون در نظر گرفتن پدیده تغییر اقلیم نمی‌تواند راهکار مناسب مدیریتی به همراه داشته باشد. در بررسی پدیده تغییر اقلیم استفاده از سناریوهای مختلف انتشار می‌تواند نتایج متعددی ارائه دهد.

هیات بین الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (Assessment Report AR5 (Fifth از سناریوهای جدید RCP(Representative Concentration Pathways به عنوان نماینده های خطوط سیر غلظت های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. سناریوهای جدید انتشار دارای چهار خط سیر

¹ Climate Change

کلیدی با نام های RCP3، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی آنها در سال ۲۱۰۰ نام گذاری شده اند (پارک و همکاران، ۲۰۱۷).

الف-سناریوی RCP8.5

بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP 8.5 پیش خواهد رفت. به طوریکه ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸.۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می گردد. در این هنگام غلظت دی اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل سازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین المللی آنالیز سیستم های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه ای است.

ب-سناریوی RCP6

در سناریوهای RCP6، RCP4.5 و RCP3 با کاهش واداشت های تابشی، میزان افزایش دی اکسیدکربن نیز کاهش می یابد. سناریوی انتشار RCP6 توسط گروه مدل سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری های جدید و سیاست های کاهش گازهای گلخانه ای ثابت می ماند.

ج-سناریوی RCP4.5

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴.۵ وات بر مترمربع ثابت می ماند.

د-سناریوی RCP2.6

این سناریو توسط تیم مدل سازی IMAGE از موسسه ارزیابی های محیطی هلند طراحی شده است. این سناریو در برگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳.۱ رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲.۶ وات بر مترمربع در سال

۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند.

تحقیقات زیادی در زمینه تغییر اقلیم و اثر آن در مدیریت منابع آب صورت گرفته است. در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره می‌شود.

یانگ و همکاران (۲۰۱۷) پاسخ عملکرد ذرت آبی به سناریوهای تغییر اقلیم را در پرتقال مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از مدل تغییر اقلیم M-MPI-ESM-LR/SMHI-RCA4 تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۸۰-۲۰۲۱ استفاده نمودند. جهت ارزیابی عملکرد ذرت و شاخص های مورد بررسی دیگر، از مدل‌های Aqua crop و STICS استفاده شد. نتایج این پژوهش کاهش ۱۷ درصدی عملکرد ذرت را نشان داد.

آبابایی و همکاران (۱۳۸۹) سری زمانی پارامترهای اقلیمی منطقه رود دشت اصفهان را تحت سناریوهای A2 و B2 با استفاده از نتایج مدل گردش عمومی HADCM3 (GCM) برای دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ تولید کردند. نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، عملکرد محصول گندم تحت هر دو سناریو کاهش می‌یابد. میانگین بارش سالانه، مجموع بارش سالانه در طول دوره رشد گیاه و متوسط دمای روزانه تحت هر دو سناریوی تغییر اقلیم افزایش خواهند یافت.

پیرسون و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از نتایج ۵ مدل تغییر اقلیم، اثر آن را بر مقدار تولید و بهره‌وری در ۱۰۱ منطقه از کانادا بررسی کردند. نتیجه این تحقیق نشان داد که تغییر اقلیم به احتمال فراوان باعث افزایش مقدار تولید و بهره‌وری می‌شود، اما این افزایش عمدتاً به دلیل تنش‌های رطوبتی خنثی می‌گردد.

لوبل و همکاران (۲۰۰۶) اثر تغییر اقلیم بر روی عملکرد گیاهان چندساله انگور، بادام، پرتغال، گردو و آووکادو را در کالیفرنای آمریکا در دوره ۲۰۵۰ بررسی کردند. آنها دریافتند که اثر منفی تغییر اقلیم بر عملکرد این محصولات حتمی است و کاهش محصول تا بیش از ۴۰ درصد قابل پیش‌بینی می‌باشد.

ملکانیان (۲۰۱۵) با استفاده از مدل‌های GCM به بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر منابع آب و عملکرد گیاهان در ارمنستان پرداخت. نتایج وی نشان داد نیاز آبی گیاهان زراعی تا سال ۲۰۴۰ نزدیک به دو برار مقدار کنونی خود می‌رسد.

غریب دوست و همکاران (۱۳۹۴) تاثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه آبریز صوفی چای را مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 با بکارگیری مدل LARS-WG طبق دو سناریوی A₂ و A₁B، ریز مقیاس شده و پارامترهای روزانه بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر حوضه آبریز صوفی چای برای سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶، ۲۰۹۹-۲۰۸۰ تولید گردید. برای ارزیابی تغییر اقلیم بر رواناب حوضه از مدل‌های هوشمند عصبی مصنوعی و برنامه‌ریزی ژنتیک استفاده شد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که افزایش مقطعی بارش دو دوره (۲۰۳۰-۲۰۱۱) و کاهش آن در آینده‌های دورتر نسبت به اقلیم کنونی، افزایش تدریجی دمای حداقل حداکثر در هر سه دوره و کاهش میزان رواناب در آینده نسبت به حال حاضر است.

خورانی و همکاران (۱۳۹۳) تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق گیاه مرجع در اقلیم‌های مختلف را با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریوی A₂، B₁ برای سه دوره آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، آینده میانی (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۰) مورد بررسی قرار دادند. آنها در این مطالعه با روش کوچک مقیاس کردن مکانی تناسبی و روش کوچک مقیاس کردن زمانی عامل تغییر ریز مقیاس شده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره آتی با افزایش ۱۲ درصدی تبخیر و تعرق در فصل زمستان و کاهش ۳۵ درصدی تبخیر و تعرق برای فصل تابستان روبه رو خواهند شد.

فرهنگ فر و همکاران (۱۳۹۵) بررسی تولید کلزا در شرایط خشکی و تغییر اقلیم را مورد مطالعه قرار دادند. اثرات تغییر اقلیم توسط مدل‌های HadCM3 و IPCM4 تحت سه سناریو (A₂، A₁B، B₁) براساس سه دوره زمانی ۲۰۳۰-۳۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ توسط مولد آب و هوایی LARS شبیه سازی شدند. نتایج نشان داد که در تمامی مناطق مورد مطالعه تولید کلزا طی دوره پایه نسبت به خشکی بسیار حساس

بوده و مقادیر تخمین زده شده بیشتر از ۲۰۰ بودند همچنین پیش بینی شد که کلزا در دوره‌های آینده همانند دوره‌ی پایه نسبت به خشکی بسیار آسیب پذیرتر بوده و مقادیر آسیب پذیری بالاتر از ۲۰ تخمین زده شد. بهمنش و همکاران (۱۳۹۳) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار هوا در ارومیه را مورد مطالعه قرار دادند. برای این منظور با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 پارامترهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارندگی برای دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ شبیه سازی شد. سپس کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار محاسبه شد و با مقادیر نظیر دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۷۱) مقایسه گردید. نتایج نشان داد که بارندگی در فصل بهار در هر سه دوره (در مقایسه با دوره پایه) کاهش و پارامتر مذکور در فصل پاییز افزایش خواهد یافت. علاوه بر این تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار همانند درجه حرارت هوا تا سال ۲۰۹۰ افزایش خواهند یافت و این افزایش در ماه‌های گرم سال بیشتر از ماه‌های سرد سال خواهد شد.

فلسفی‌زاده و صابونی (۱۳۹۱) به بررسی پدیده تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی شهرستان شیراز پرداختند. در آن مطالعه ۳ حلقه چاه واقع در دشت شیراز انتخاب گردید. آمار میانگین سطح آب این چاه‌ها طی سال‌های ۱۳۵۷-۱۳۸۷ بر روی متغیر سال رگرس شد. سپس احتمال وقوع سال خشک در شهرستان شیراز تعیین و با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی تصادفی دو مرحله‌ای و آمار زراعی شهرستان شیراز طی سال‌های ۱۳۵۷-۱۳۸۷، آثار اعمال ۵ سناریو پمپاژ با احتمال وقوع سال خشک بررسی شد. نتایج نشان داد که سطح آب چاه‌های کشاورزی مورد نظر کاهش معناداری یافته‌اند و احتمال وقوع سال خشک ۰/۲ است.

مومنی و زیبایی (۱۳۹۲) اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه ابتدا داده‌های سری زمانی مربوط به عملکرد محصولات، متغیرهای اقلیمی و غیر اقلیمی، طی دوره زمانی ۲۱ ساله (۸۴-۱۳۶۷) برای تخمین توابع پاسخ عملکرد، استفاده شدند. در بخش دوم به منظور بررسی اثر فیزیکی سناریوهای گوناگون از معادلات عملکرد استفاده شد. در بخش آخر، به منظور شبیه‌سازی تغییرات عملکرد تحت سناریوهای گوناگون تغییر اقلیم از یک مدل برنامه ریزی قیمت درون‌زا استفاده شد. نتایج نشان داد که درجه حرارت و بارندگی اثری معنی‌دار و غیر یکنواخت بر عملکرد محصولات بر جای می‌گذارند.

روستایی و همکاران (۱۳۹۰) بررسی عملکرد و بهره‌وری آب گیاه ذرت در سطوح مختلف ریسک تحت تأثیر تغییرات اقلیم در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را مورد مطالعه قرار دادند. به همین منظور ترکیبی از ۹ مدل AOGCM تحت سناریو انتشار A₂ برای اعمال عدم قطعیت ناشی از مدل‌های AOGCM و مدل گیاهی Aqua Crop برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت استفاده کردند و با استفاده از رویکرد کارلو توابع توزیع تجمعی دما و بارش منطقه برای دوره آتی تولید و از آن مقادیر سطوح ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد استخراج شد و نتایج ریسک ۵۰ درصد نشان از ۰/۷۱-۱/۶ درجه‌سانتی‌گراد افزایش دما برای دوره‌ی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) و میانگین ماهانه بارش ۰/۷-۱/۱۹ برابر دوره‌ی پایه شبیه‌سازی است. شبیه‌سازی زیست توده برای سطوح ریسک ۲۰، ۵۰ و ۷۵ درصد و برای تیمار آبیاری کامل به ترتیب ۷/۸، ۶/۸ و ۶/۲ درصد و برای تیمار کم‌آبیاری ۲۰/۸، ۱۸/۹ و ۱۷/۸ درصد کاهش بهره‌وری آب را نشان داد که علت آن افزایش دما و تغییرپذیری باران بود.

فرهادی‌بانسوله و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل ذرت و جو در استان کرمانشاه با شرایط تغییرات اقلیم را مورد بررسی قرار دادند. این مطالعه در سه مرحله انجام گرفت. در مرحله اول پارامترهای هواشناسی سناریوهای A1B، A2 و B1 مدل تغییرات اقلیم HADCM3 برآورد شدند و با نرم افزار LARS-WG در ایستگاه‌های مورد مطالعه ریزمقیاس‌سازی شدند. در مرحله دوم تبخیر-تعرق گیاه مرجع با فرمول فائوپنمن-مانتیت محاسبه شد. در مرحله سوم با استفاده از نرم افزار AquaCrop رشد گیاهان مورد نظر براساس فایل‌های گیاهی کالیبره شده در منطقه و داده‌های آتی کنونی و شبیه‌سازی شده و با توجه به خروجی‌ها تبخیر و تعرق فصلی، حداکثر تبخیر و تعرق روزانه و طول دوره رشد گیاهان در شرایط کنونی و تغییرات اقلیم مقایسه گردید. در نهایت نتایج بدست آمده بیانگر افزایش مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل فصلی و حداکثر تبخیر و تعرق روزانه و کاهش دوره‌ی رشد گیاهان در هر سه ایستگاه می‌باشد. اثر تغییر اقلیم برای هر دو گیاه در ایستگاه سنقر بیشتر از کرمانشاه و خیلی بیش‌تر از سرپل ذهاب خواهد بود و درصد تغییرات تبخیر و تعرق ذرت در شرایط تغییر اقلیم بیش‌تر از جو خواهد بود.

حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) آشکارسازی تغییرات اقلیم منطقه خلیج فارس با استفاده از داده‌های خروجی مدل CGCM.A1B را مورد مطالعه قرار دادند. آنها تغییرات عناصر اقلیمی را در دوره‌ی آماری (۱۹۷۰-۲۰۱۵)

بررسی نمودند. همین روند برای دوره‌ی آینده (۲۰۱۶-۲۰۵۰) انجام گرفت. نتایج آنان نشان داد که تغییرات دمایی در نواحی جنوبی در فصل زمستان در دوره آینده تقریباً ۳ درجه نسبت به زمان کنونی افزایش می‌یابد. همچنین در فصل بهار پهنه دمایی نسبت به دوره کنونی افزایش می‌یابد و بین ۲۸ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید. همچنین سیطره‌ی مونسون‌های تابستانی باعث افزایش دمای پهنه خلیج فارس در فصل تابستان می‌شود و در پاییز نیز پهنه دمایی بالاتر از ۲۸ درجه سانتی‌گراد خواهد رسید.

مروت و همکاران (۱۳۹۲) شرایط تغییر اقلیم و اثر آن بر روی تقویم زراعی کشت گندم در مشهد با استفاده از مدل گردش عمومی جو و مدل آماری LARS-WG در دو دوره‌ی گذشته (۲۰۰۵-۱۹۷۶) و آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد در دوره آینده، دمای شهر مشهد بدون تغییر بوده اما بارش‌ها ۶/۱٪ افزایش می‌یابد. آنها با استفاده از فرمول درجه روزهای رشد (GDD)، در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۱۸، اواسط آبان را بهترین تاریخ کاشت گندم تعیین کردند و تاریخ وقوع دیگر مراحل فنولوژیک گندم را بدست آوردند که جوانه زنی اوایل آذر، پنبه‌زنی اوایل اسفند، گلدهی اواسط اردیبهشت و تاریخ رسیدگی و برداشت نیمه دوم خرداد ماه می‌باشد.

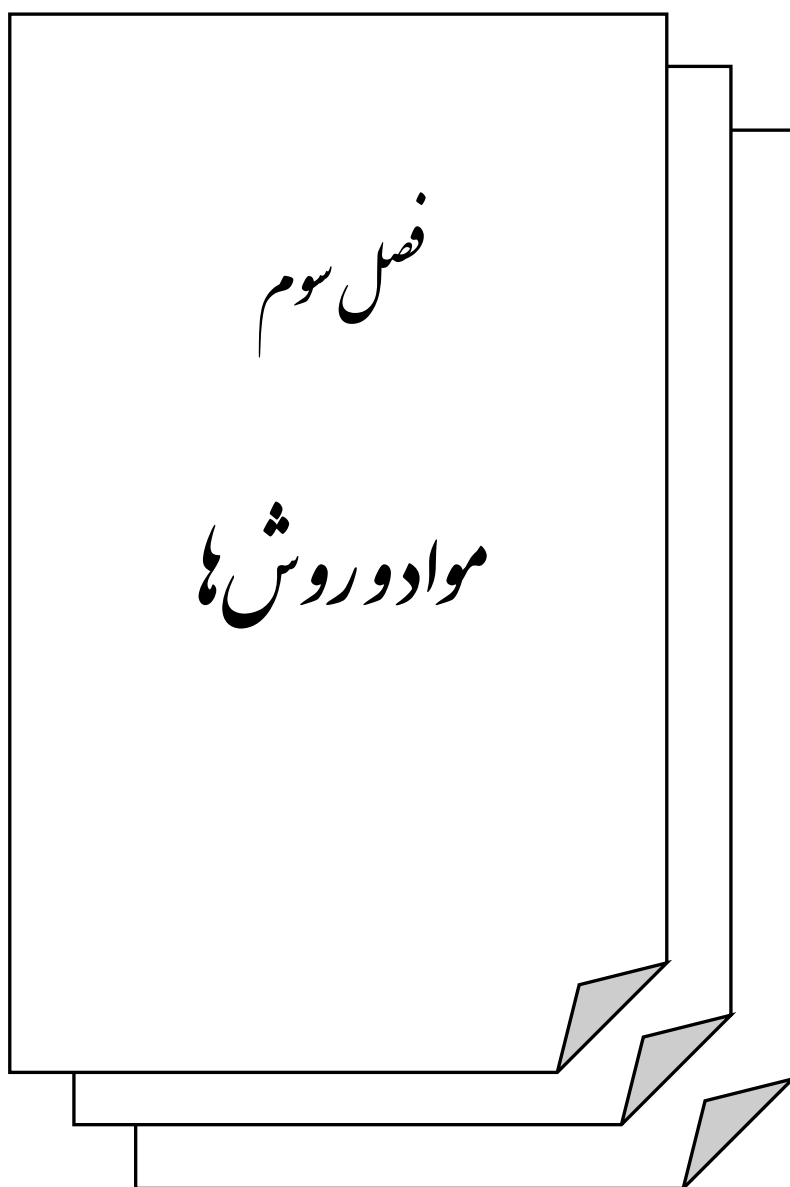
پرهیزکاری و همکاران (۱۳۹۵) ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و تولیدات کشاورزی در حوضه آبخیز شاهرود را طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۲ بررسی نمودند و سپس برای تحلیل اثرات تغییر اقلیم از یک سیستم مدل سازی بیوفیزیکی- اقتصادی استفاده نمودند. الگوی رفتار بارش نشان داد که این متغیر اقلیمی پس از سال ۱۳۸۵ روند کاهش داشته است که این امر موجب کاهش منابع آب در دسترس، افزایش ارزش اقتصادی آب آبیاری و کاهش سود خالص کشاورزان در حوضه آبخیز شاهرود شده است.

امیر نژاد و همکاران (۱۳۹۴) بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش متغیرهای اقلیمی، انتشار سالانه CO₂ و مجموع بارش سالانه ایران می‌باشد و متغیرهای سطح زیر کشت و مقدار بذر مصرفی سرمایه ثابت در ماشین آلات به عنوان شاخصی از فناوری، انتخاب شده است. نتایج حاصل از داده‌های یک دوره ۵۰ ساله نشان داد که هم در کوتاه مدت و هم در بلند مدت متغیرهای اقلیمی به همراه سطح زیر کشت رابطه مثبت و معنی داری با تولید گندم داشته و متغیرهای بذر و سرمایه ثابت در

ماشین آلات معنی دار نشده است. هم چنین، ضریب متغیرهای اقلیمی CO_2 و بارش در بلندمدت، ۰/۳۸ و ۰/۲۱ و در کوتاه مدت ۰/۲۲ و ۰/۱۲ بدست آمده است.

۲-۲- جمع بندی

همانطور که در تحقیقات فوق مورد بررسی قرار گرفت الگوریتم ژنتیک از روش های بهینه سازی قدرتمند در پیدا کردن نقاط بهینه می باشد. بنابراین در این تحقیق جهت بهینه کردن الگوی کشت از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در بخش تغییر اقلیم دو سناریو $RCP4.5$ و $RCP8.5$ جهت تعیین دما و بارش مورد استفاده قرار گرفت.



فصل سوم

مواد و روش ها

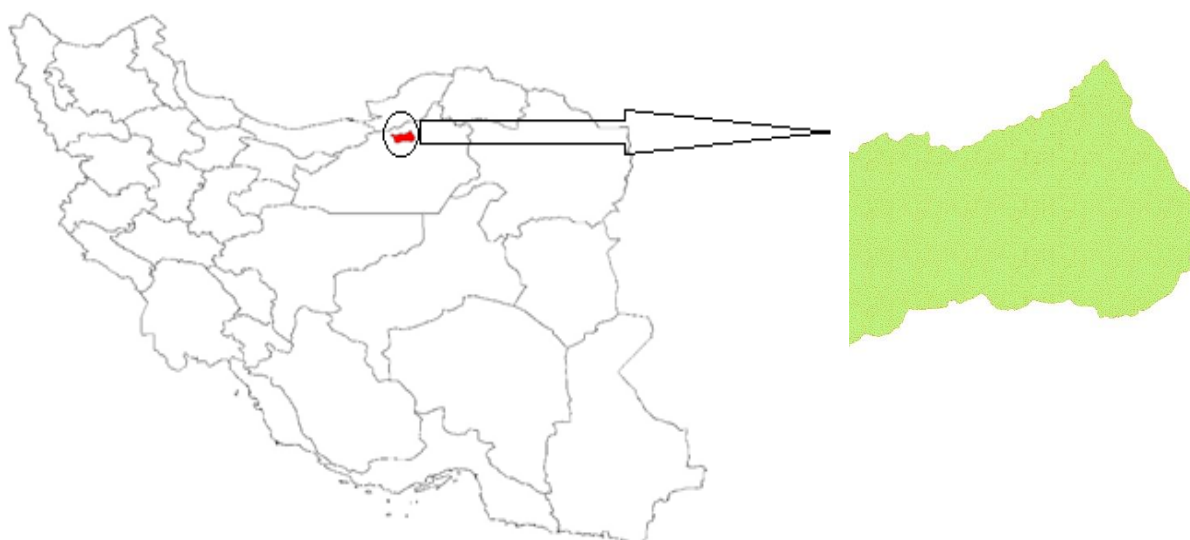
۳-۱- مقدمه

هدف اصلی این تحقیق، بهینه‌سازی الگوی کشت در شرایط فعلی و همچنین بهینه‌سازی براساس سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. در این فصل به ترتیب منطقه مورد مطالعه، بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک و تغییر اقلیم شرح داده شده است. در نهایت به نحوه‌ی بهینه‌سازی الگوی کشت توسط الگوریتم ژنتیک تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم پرداخته می‌گردد.

۳-۲- موقعیت و مشخصات منطقه مورد مطالعه

شهر شاهرود واقع در استان سمنان دارای مساحتی برابر با ۱۳۰۶.۱ کیلومتر مربع بوده و از غرب به شهرستان دامغان، از شرق به شهرستان میامی، از جنوب به کویر حاج علی قلی و از شمال به شهر بسطام محدود می‌گردد که ۶۳۳.۱ کیلومترمربع آن را ارتفاعات و ۶۷۳ کیلومترمربع را دشت تشکیل می‌دهد. آبخوان آبرفتی با وسعت ۵۲۳.۳ کیلومترمربع، منطبق بر ۹۷.۵ درصد از مساحت دشت می‌باشد.

از نظر جغرافیایی این دشت در جنوب ارتفاعات البرز و در محدوده ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ دقیقه و ۴۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. میانگین بارندگی سالانه ۱۵۳ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱۴.۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این دشت شهر شاهرود و روستاهای مغان، دیزج، رویان و دهملا شامل می‌شود. شکل (۳-۱)



شکل (۳-۱) نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی دشت شهرستان شاهرود

۳-۳- اطلاعات و داده‌های مورد نیاز

داده‌های مورد نیاز در این تحقیق، مقادیر ماهانه بارش، درجه حرارت کمینه، درجه حرارت بیشینه، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و متوسط ساعات آفتابی در روز می‌باشد. اطلاعات فوق از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه سینوپتیک شاهرود در دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۷۱-۲۰۰۰) اخذ گردید. ایستگاه سینوپتیک شاهرود، نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۵۷ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۴۹ متر از سطح دریا واقع شده است. براساس آمار درازمدت ۳۰ ساله، در ایستگاه مذکور میانگین دمای حداقل، ۸.۶ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر ۲۰.۶ درجه سانتی‌گراد و بارش بلند مدت سالانه ۱۵۳.۶ میلی‌متر می‌باشد. سایر اطلاعات ایستگاه سینوپتیک شاهرود در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

جدول (۱-۳) داده‌های ایستگاه سینوپتیک شاهرود (۱۹۷۱-۲۰۰۰)

پارامتر	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Average
حداقل دما	-۲/۷	۱/۳	2.8	8.5	13	17.5	20.3	19.1	14.8	8.8	3.2	-1	8.6
حداکثر دما	6.1	8.8	14.1	21.1	26.3	31	33.1	32.4	29	22.4	14.8	8.2	20.6
بارندگی	17.6	18.7	28.8	24.9	19.4	4.8	2.1	1.6	3.2	6	9.1	17.1	12.8
درصد رطوبت نسبی	65	58	51	45	42	37	37	37	40	47	54	64	48.1
سرعت باد	95	111	136	146	146	174	190	168	130	101	98	88	131.9
ساعات آفتابی	5.4	6.4	6.8	7.8	9	10.9	10.8	10.8	9.9	8.2	6.7	5.3	8.2

علاوه بر اطلاعات هواشناسی اطلاعاتی نظیر، الگوی کشت محصولات زراعی، سطح زیر کشت و عملکرد هر یک از محصولات، هزینه تولید هر محصول شامل هزینه کاشت، داشت و برداشت جهت انجام این تحقیق مورد نیاز است (جدول ۲-۳). محصولات عمده زارعی دشت شاهرود عبارتند از گندم، جو، یونجه، ذرت علوفه‌ای، چغندر قند، سورگم و سبزیجات شامل گوجه‌فرنگی، پیاز و سیفیجات شامل خربزه، هندوانه خوراکی، هندوانه آجیلی، طالبی و گرمک می‌باشد. کشت دیم بسیار ناچیز و عمدتاً کشت آبی انجام می‌شود.

جدول (۳-۲) آمار و اطلاعات جهاد کشاورزی شاهرود سال زراعی (۹۳-۹۴)

محصول	عملکرد در هکتار (kg)	هزینه تمام شده تولید هر هکتار (ریال)	قیمت خرید تضمینی هر کیلوگرم (ریال)	سطح زیر کشت (هکتار)
گندم	4,500	42,678,229	11,500	2,000
جو	4,000	35,438,325	9,200	500
یونجه	15,000	83,779,104	7,500	400
ذرت علوفه ای	75,000	61,507,313	2,000	300
چغندر قند	45,000	122,725,314	3,000	200
خریزه	25,000	108,116,319	6,000	100
طالبی و گرمک	20,000	108,116,319	6,000	100
هندوانه خوراکی	30,000	83,066,018	8,000	50
هندوانه آجیلی	1,500	52,170,447	150,000	50
پیاز	30,000	61,124,666	15,000	50
گوجه فرنگی	40,000	88,726,512	6,000	50
سورگوم	75,000	61,507,313	2,000	50

۳-۴- تعیین محاسبه نیاز آبی محصولات

برای محاسبه نیاز آبی در طرح‌های آب بجای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل مفهوم دیگری به نام تبخیر- تعرق گیاه مرجع (reference crop) به کار می‌رود که با علامت اختصاری ET نشان داده می‌شود. در حال حاضر حداقل ۲۰ روش عمده برای محاسبه ET وجود دارد ولی با توجه به شرایط آب و هوایی مختلف در سطح دنیا برخی از آن‌ها از نظر مطابقت با مقادیر واقعی در اولویت قرار دارند. در بررسی مقایسه‌ای، روش فائو-پنمن-مونیتیت^۲ چه در شرایط آب و هوایی خشک و چه در شرایط آب و هوایی مرطوب در ردیف اول قرار دارد. به همین دلیل سازمان فائو روش مذکور را به عنوان استاندارد برای محاسبه نیاز آبی گیاهان معرفی نموده و نرم‌افزار مربوط به محاسبات آن را تحت عنوان CROPWAT در اختیار قرار داده است.

^۲ Fao-Penman-Moteth

۳-۵- معرفی نرم افزارهای بکار رفته

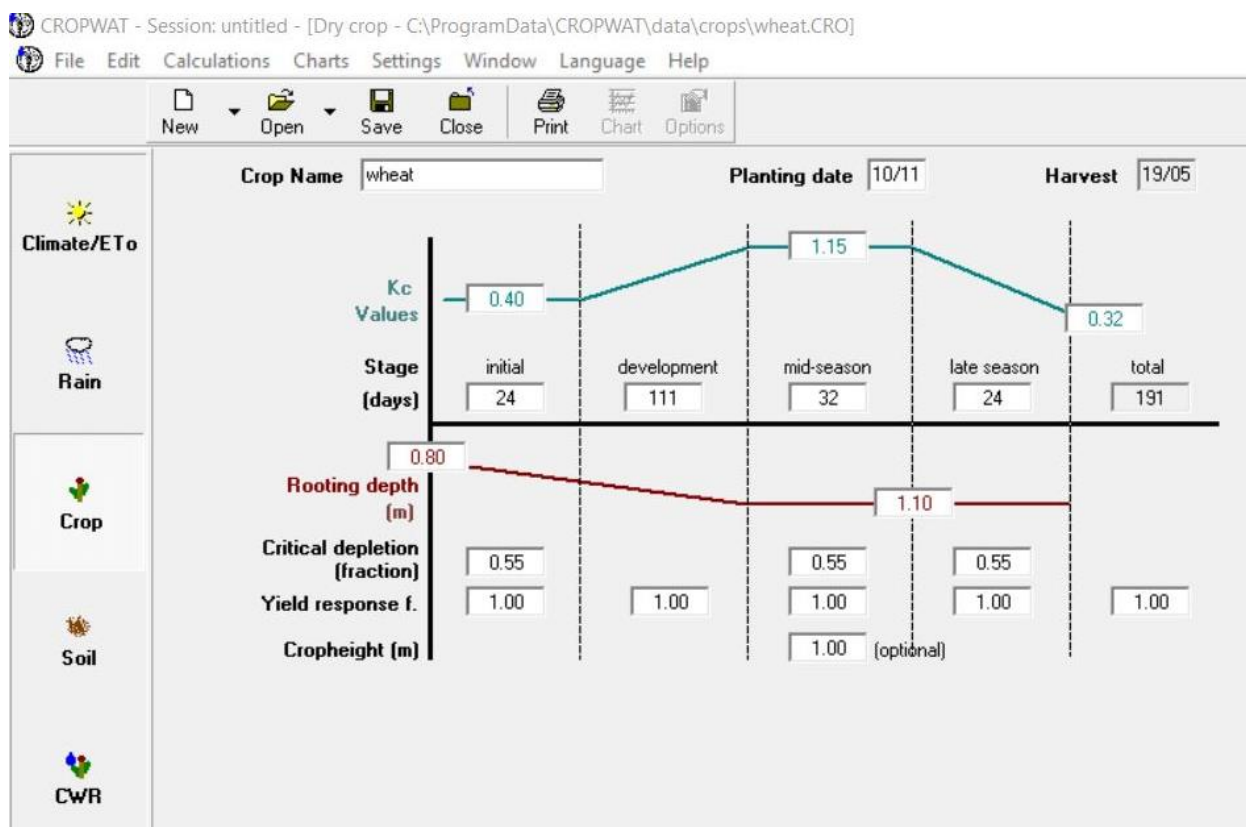
نرم افزارهایی که در روند کار مورد استفاده قرار گرفته است عبارتند از : نرم افزار MatLab، نرم افزار ArcGIS، نرم افزار CROPWAT، نرم افزار EasyFit

۳-۵-۱- نرم افزار CROPWAT

امروزه استفاده از نرم افزارهای کاربردی محاسبات را آسان و در وقت و هزینه صرفه جویی بالایی را به دنبال دارد یکی از نرم افزارهای کاربردی CROPWAT می باشد.

CROPWAT، یک سیستم پشتیبان است که توسط بخش آب و خاک سازمان فائو برای برنامه ریزی و مدیریت آبیاری ایجاد شده است. CROPWAT یک ابزار کاربردی مشترک است که به کمک آن، هواشناسان و متخصصان کشاورزی و مهندسان آبیاری، محاسبات استاندارد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی و آبیاری محصولات را تخمین می زنند. همچنین در مورد طرح های ویژه مدیریتی و برنامه های آبیاری، در برخورد با کمبود آب، به عنوان یک راهنما برای بهبود عملیات آبیاری و زمان بندی آبیاری عمل می کند. در نهایت مقدار تولید را در شرایط دیم و یا کمبود آب پیش بینی می کند. پایگاه داده های CROPWAT، شامل داده هایی برای ۶ ناحیه اقلیمی و ۱۴۴ کشور می باشد. نرم افزار CROPWAT تحت ویندوز از روش پنمن-مانتیث-فائو برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده کرده و با کسر این مقدار از بارش مؤثر نیاز آبیاری مربوط به هر گیاه محاسبه می گردد.

آب مورد نیاز آبیاری به نیاز آبی گیاه و آبی که به صورت طبیعی (بارش مؤثر، رطوبت خاک و غیره) در دسترس محصولات کشاورزی قرار می گیرد، بستگی دارد (فرنکن و گیلت، ۲۰۱۲، ۱).



شکل (۲-۳) نمایی از نرم افزار CROPWAT

۳-۶- بهینه سازی الگوی کشت

معمولاً تجزیه و تحلیل طراحی الگوی کشت با دشواری‌های جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر در سطح وسیع، تعداد زیاد متغیرهای دخیل، وسعت فضای جستجو، تعداد بی‌نهایت حالت‌های موجود و غیره مواجه می‌باشد. این امر بهینه سازی الگوی کشت از روش‌های کلاسیک را غیر ممکن نموده و استفاده از روش‌های هوشمند را اجتناب ناپذیر می‌نماید. یکی از کاربردی‌ترین روش‌های هوشمند بهینه سازی در دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

۳-۶-۱- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یکی از قدرتمندترین روش‌های بهینه‌سازی جهت یافتن جواب‌های بهینه‌ی یک تابع هدف می‌باشد. روش حل الگوریتم ژنتیک بدین صورت است که فضای مسئله به صورت تصادفی و مرحله به مرحله جستجو می‌شود و در حقیقت هدف جستجو، پیدا کردن جواب‌های بهتر در هر مرحله نسبت به جواب‌های قبل است. یکی از ویژگی‌های شاخص الگوریتم ژنتیک، امکان اجرای موازی است که توانایی حل مسائل بسیار

بزرگ و پیچیده را فراهم می‌آورد. روش کار این الگوریتم به این صورت است که در ابتدا پارامترهای فضای جستجو در قالب رشته‌هایی به نام کروموزوم شکل می‌گیرند. هر کروموزوم نشان دهنده یک جواب برای مسئله مورد نظر است. کروموزوم‌ها در کنار هم مجموعه‌ای را تشکیل می‌دهند که جمعیت نامیده می‌شود و در شروع عملیات معمولاً عناصر جمعیت اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند. الگوریتم به صورت تکراری روی عناصر جمعیت دو عملگر برش و جهش را اعمال کرده و از یک جمعیت، جمعیت جدید را بوجود می‌آورد. معمولاً به جواب‌های یک جمعیت، نسل گفته می‌شود. در انتها پس از تکرار متناهی، جواب‌های مورد نظر در نسل آخر تولید می‌شوند. واضح است که همه جواب‌ها حتماً جواب بهینه نیستند. برای تعیین میزان بهینه بودن هر جواب از معیاری استفاده می‌شود که تابع هدف نامیده می‌شود. در عمل تابع هدف به هر کروموزوم جمعیت از یک نسل، یک مقدار نسبت می‌دهد که این مقدار، برازندگی این جواب را نسبت به بقیه جواب‌های همان نسل مشخص می‌نماید.

۳-۶-۱-۱- عملگرهای الگوریتم ژنتیک

- آغاز کننده یک الگوریتم ژنتیک: این عامل وظیفه‌ی تعریف و مقداردهی آغازین به جمعیت اولیه و پارامترهای اولیه را به عهده دارد.
- عامل جایگزینی در الگوریتم ژنتیک: این عامل در مورد باقی ماندن هر یک از والدین یا فرزندان در جمعیت بعدی تصمیم‌گیری می‌کند.
- عامل نمو دهنده در الگوریتم ژنتیک: این عامل قلب و هسته اصلی هر برنامه داروینی را تشکیل می‌دهد. این عامل مسئولیت نمو جمعیت را در راستای برآورده ساختن شرط پایانی به عهده دارد.
- پایان دهنده به الگوریتم ژنتیک: عامل پایان دهنده زمانی که شرط خاتمه الگوریتم برآورده می‌شود، در مورد خاتمه الگوریتم تصمیم‌گیری می‌کند.
- نمایشگر الگوریتم ژنتیک: این عامل شکل خروجی الگوریتم ژنتیک را معین می‌کند. این عامل پس از آنکه شرط خاتمه الگوریتم برآورده شد، کار خود را شروع می‌کند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

از آنجا که مبنای الگوریتم ژنتیک کپی برداری شده از طبیعت است، لذا فهرست واژه‌هایی که در این زمینه استفاده می‌شود، نزدیک به اصطلاحاتی است که در علم زیست‌شناسی استفاده می‌شود. در جدول (۳-۳) برخی از اصطلاحاتی که دارای کاربرد زیادی در متون مربوط به الگوریتم ژنتیک هستند، اشاره شده است (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳).

جدول (۳-۳) فهرست واژه‌های معمول در الگوریتم ژنتیک (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳)
اصطلاح توصیف معادل در الگوریتم ژنتیک

کروموزوم (Chromosome)	یک رشته کدگذاری شده از متغیرها (دودویی، حقیقی و غیره)
ژن (Gene)	نسخه کدگذاری شده یک متغیر
برازش (Fitness)	مقداری که نمایشگر کیفیت یک کروموزوم در مجموعه‌ای از جواب‌های مسئله است
جمعیت (Population)	یک مجموعه از کروموزوم‌های مقادیر آماری مربوطه
انتخاب (Selection)	عملگری برای انتخاب یک کروموزوم از جمعیت، به عنوان والد به منظور بازتولید
تزیوج (Crossover)	عملگری که ژنوتیپ دو والد انتخاب شده را به منظور تولید فرزند جدید ادغام می‌کند
جهش (Mutation)	عملگری که به طور تصادفی، یک یا چند ژن را تغییر می‌دهد

۳-۶-۱-۲- ارائه ساختار مناسب برای هر فرد

این ساختار نحوه‌ی نمایش، رفتار و کیفیت فیزیکی هریک از افراد را مشخص می‌کند. بسته به طبیعت مسئله از الگوریتم‌های با ساختار پیوسته یا از الگوریتم‌های با ساختار دودویی استفاده می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۶-۱-۳- انتخاب متغیرهای تصمیم

اولین قدم در بهینه‌سازی، انتخاب متغیرهای تصمیم می‌باشد، که در روش الگوریتم ژنتیک متغیرهای تصمیم برای سطح زیر کشت فعلی به روش زیر تعیین می‌شود:

برنامه های بهینه سازی با کمینه کردن مقدار تابع هدف به نتیجه مورد نظر حصول پیدا می کنند. جهت تعیین الگوی کشت بهینه تحت سناریوهای تغییر اقلیم باید تابع هدف به نحوی تعریف گردد که

ب(3-1)

هزینه تمام شده تولید هر هکتار - فروش تولید هر هکتار = سود خالص (2-3)

نیاز آبی هر محصول $\times$ سطح زیر کشت هر محصول = آب مصرفی (3-3)

در این تحقیق جهت محاسبه نیاز آبی از نرم افزار CROPWAT استفاده شده است. پس از وارد کردن داده های هواشناسی، داده های بارش، نوع گیاه و ضرایب گیاهی، مشخص نمودن نوع خاک و خصوصیات خاک، نیاز آبی گیاه (CWR) توسط نرم افزار CROPWAT به روش فائو پنمن مانیتیت محاسبه می گردد.

از بررسی متغیرها و پارامترهای ذکر شده در روابط بالا مشخص گردید که سود خالص بستگی به هزینه تمام شده تولید هر هکتار و فروش آن دارد که سود خالص هم بستگی به نوع محصول و سطح زیرکشت آن محصول دارد.

آب مصرفی نیز بستگی به سطح زیرکشت هر محصول و نیاز آبی محصول مورد نظر دارد. همانطور که ذکر شد جهت محاسبه نیاز آبی به پارامترهایی همچون داده های هواشناسی، داده های بارش، نوع گیاه و ضرایب گیاهی نیاز می باشد. و با توجه به این که این متغیرها، طبیعی و تصادفی بوده و تغییر آنها در اختیار مدیران نیست و همچنین عدم امکان تغییر این موارد در هر سناریو، می توان نتیجه گرفت که از بین موارد ذکر شده متغیرهای مسئله عبارت از سود خالص، هزینه تمام شده تولید هر هکتار، فروش تولید هر هکتار، نیاز آبی هر محصول و پارامترهای ثابت نیز عبارت از داده های هواشناسی، داده های بارش، نوع گیاه و ضرایب گیاهی، نوع خاک و خصوصیات خاک می باشند.

چون تمامی متغیرهای ذکر شده، در واقع متغیر وابسته به سطح زیرکشت هر محصول می باشند در نتیجه متغیرهای تصمیم در این نوع بهینه سازی، سطح زیر کشت هر محصول زراعی انتخاب گردید.

۳-۶-۱-۴- تابع شایستگی یا تابع ارزیابی

تابع شایستگی نوع خاصی از تابع هدف^۳ می‌باشد، که در الگوریتم‌های تکاملی کیفیت بهینه‌سازی را برای یک راه‌حل اندازه‌گیری می‌کند. یک راه‌حل در این الگوریتم‌ها، در قالب یک کروموزوم، بیان می‌شود. به کمک تابع شایستگی یک کروموزوم با بقیه کروموزوم‌ها مقایسه می‌گردد. کروموزوم‌های بهینه یا حداقل کروموزوم‌هایی که بهینگی بیشتری دارند، فرصت می‌یابند تا از طریق تکنیک‌های مختلف با هم ترکیب شده و نسل جدید و بهتری ایجاد نمایند. در واقع تابع شایستگی یک معیار مناسب برای انتخاب کروموزوم‌ها ایجاد می‌کند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۶-۱-۵- جمعیت آغازین^۴

روند بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با تولید گروهی از کروموزوم‌ها که جمعیت نام دارد، آغاز می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳). پس از تولید جمعیت کروموزوم‌ها، هزینه هر کروموزوم با استفاده از تابع شایستگی محاسبه می‌شود. و سپس کروموزوم‌های مطلوب، برای اجرای عملگرهای ترکیب و جهش باید انتخاب شوند. در نهایت پس از اعمال عملگرهای ترکیب و جهش، اگر معیار توقف برآورده شده باشد، چرخه به پایان می‌رسد و نتایج ارائه می‌شود. ولی اگر معیار برآورده نشده باشد، این چرخه از مرحله دوم یعنی انتخاب به بعد تکرار می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

نکته قابل توجه این است که در این مسئله و مسائل مشابه که دارای تعداد متغیرهای تصمیم زیادی هستند، بدون استفاده از مقادیر اولیه (جمعیت کروموزومی) مناسب، مدل همگرا نخواهد شد (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳).

۳-۶-۱-۶- انتخاب

روال انتخاب تعیین می‌کند که کدام یک از افراد برای ترکیب تعیین گردند و هر کدام از آنها چند فرزند تولید نمایند. گام اول در این راه تخصیص شایستگی یا رتبه به افراد حاضر در جمعیت می‌باشد. پس از انجام

^۳ Objective Function

^۴ Initial Population

روال رتبه‌بندی، نوبت به انتخاب نهایی می‌رسد. در این مرحله والدین با توجه به مقدار شایستگی‌شان انتخاب می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

پس از تولید پاسخ‌های تصادفی و محاسبه هزینه هر پاسخ، برای رسیدن به بهینه‌سراسری باید عملگرهای ترکیب و جهش فرزندان تولید کنند، که احتمال داده می‌شود جوابی بهتر از والدین داشته باشند. برای انجام عمل ترکیب باید والدین دو به دو انتخاب شوند.

روش‌های مختلفی برای انتخاب والدین در الگوریتم ژنتیک وجود دارد که به چند مورد اشاره می‌شود:

الف - انتخاب طبیعی

در الگوریتم ژنتیک، "بقای بهترین کروموزوم"^۵ اساس بهینه‌سازی را تشکیل می‌دهد. برای این منظور ابتدا جمعیت کروموزوم‌ها به ترتیب از کمترین هزینه به بیشترین هزینه مرتب می‌شوند. سپس بهترین کروموزوم‌ها برای ادامه فرآیند تکامل، انتخاب و بقیه حذف می‌شوند. نرخ انتخاب، X_{rate} ، کسری از N_{pop} است که برابر تعداد کروموزوم‌هایی است که برای مرحله بعدی (تزیوج) بایستی انتخاب شوند. تعداد کروموزوم‌هایی که در هر نسل نگاه داشته می‌شوند (N_{keep}) برابر با رابطه (۳-۳) می‌باشد (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳: ۳۷).

$$N_{keep} = X_{rate} \times N_{pop} \quad (4 - 3)$$

ب - انتخاب چرخه رولت ویل^۶

در انتخاب به روش چرخه رولت‌ویل، ابتدا به هر کروموزوم یک احتمال انتخاب نسبت داده می‌شود (کروموزومی که دارای کمترین هزینه باشد، دارای بیشترین احتمال انتخاب می‌باشد). سپس هم برای والد اول و هم برای والد دوم یک عدد تصادفی تولید می‌شود و برای هر دو والد، اولین کروموزومی که احتمال انتخابش بیشتر از عدد تصادفی تولید شده باشد، آن کروموزوم به عنوان والد انتخابی، معرفی می‌شود (دو والد انتخاب می‌شوند).

⁵ Survival of the Fittest

⁶ Weighted Random Selection

ج- انتخاب مسابقه‌ای یا رقابتی^۷

رهیافت دیگری که از انتخاب رقابتی در طبیعت تقلید می‌نماید، شامل انتخاب یک زیرمجموعه کوچک (دو یا سه عضو) از مجموعه کروموزوم‌ها (به این تعداد کروموزوم، تعداد بازیکنان مسابقه یا به اختصار تعداد بازیکنان گفته می‌شود)^۸ و سپس انتخاب کروموزومی با کمترین هزینه در بین کروموزوم‌های این زیرمجموعه به عنوان والد است. این روش برای هر تعداد والدینی که موردنظر باشد، تکرار می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳). تکنیک مسابقه‌ای از لحاظ زمان مصرفی برای اجرا وضعیت بسیار بهتری داشته و در پیاده‌سازی روش‌های تکاملی موازی دارای کاربرد زیادی می‌باشد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در این تحقیق از روش چرخه رولت ویل استفاده شده است.

۳-۶-۱-۷- تزویج یا ترکیب^۹

عملگر تزویج (یا ترکیب) امکان ترکیب مشخصات دو کروموزوم را برای تولید جواب‌های جدید فراهم می‌کند. برای این منظور، دو کروموزوم از مجموعه والدین به کمک احتمال (نرخ) تزویج، برای تغییر و لذا تولید فرزندان انتخاب می‌شوند. بر اساس مقدار احتمال تزویج تعریف شده، برای هر کروموزوم در نسل جدید، یک عدد تصادفی r در دامنه $[0, 1]$ تولید و اگر این عدد تصادفی کمتر از احتمال تزویج باشد، کروموزوم موردنظر برای عمل تزویج انتخاب می‌شود. تزویج کروموزوم‌ها تا زمانی انجام می‌گیرد که تعداد N_{keep} فرزند از کروموزوم‌های والد انتخاب شده، تولید شود. تزویج کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک، همانند لقاح در گونه‌های مختلف جانداران، جالب و متنوع است. عمل تزویج منجر به تولید یک یا بیشتر فرزند از والدینی که در مرحله انتخاب برای این منظور گزینش شده‌اند، می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳: ۴۵). با توجه به ساختار افراد نوع روش ترکیبی مشخص می‌شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

⁷ Tournament Selection

⁸ Tournament Size

⁹ Recombination Methods

۳-۶-۱-۸- ترکیب مقادیر دودویی (تلفیق)

انجام ترکیب برای مقادیر دودویی، با استفاده از یکی از روش‌های تک نقطه، دو نقطه، چند نقطه و تلفیق یکنواخت انجام می‌شود. که روش‌های تلفیق یک نقطه و دونقطه نوع خاصی از روش کلی تلفیق چندگانه هستند. در تلفیق چندگانه m نقطه‌ی تلفیقی k_i ($i=1, 2, \dots, m$) به صورت تصادفی و بدون تکرار تعیین شده و به صورت صعودی مرتب می‌شوند. سپس متغیرهای بین هر دو نقطه‌ی تلفیقی یکی در میان بین دو والد جابه‌جا می‌شوند تا به این ترتیب دو فرزند جدید تولید شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱). در شکل (۳-۴) نحوه‌ی اعمال ترکیب یک نقطه نشان داده شده است.



شکل (۳-۳) نمایش نحوه اعمال ترکیب یک نقطه (هالند، ۱۹۹۲).

۳-۶-۱-۹- ترکیب گسسته

در روش ترکیب گسسته مقادیر متغیرها بین افراد مبادله می‌شوند. والدینی که برای تعیین هر یک از مقادیر فرزندان مشارکت می‌کنند، به صورت تصادفی و از طریق تساوی احتمالی زیر تعیین می‌شوند:

$$\text{Var}_i^0 = \text{Var}_i^{P1} \times a_i + \text{Var}_i^{P2} \times (1 - a_i) \quad i \in (1, 2, \dots, N_{\text{var}}), \quad a_i \in \{0, 1\} \quad (5-3)$$

a_i به صورت تصادفی برای هر i تعیین می‌گردد (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

۳-۶-۱-۱۰- ترکیب مقادیر حقیقی

یک نوع از روش‌هایی که برای ترکیب والدین با مقادیر حقیقی مورد استفاده قرار می‌گیرد روش "ترکیب میانی" می‌باشد.

که در این روش مقادیر مربوط به فرزندان از بین مقادیر والدین انتخاب می‌شوند. قاعده‌ی تولید فرزندان به صورت زیر است:

$$\text{Var}_i^0 = \text{Var}_i^p * a_i + \text{Var}_i^p * (1 - a_i) \quad i \in (1, 2, \dots, N\text{Var}), \quad a_i \in [-d, 1+d], \quad d=0.25 \quad (6-3)$$

که در این رابطه: Var_i^0 : فرزند i ام جمعیت و Var_i^p : والد i ام جمعیت می‌باشد. a_i به صورت تصادفی از بازه‌ی مربوطه انتخاب می‌شود و مقدار d اندازه‌ی محدوده‌ی ممکن برای فرزندان را مشخص می‌کند.

۳-۶-۱۱- جهش

پس از انجام عملیات ترکیب نوبت به جهش می‌رسد. اعمال جهش به هنگام حرکت از جمعیت حاضر به جمعیت جدید باعث می‌شود که میزان تنوع در جمعیت جدید بالا رود و این تنوع اساس تکامل و پیشرفت در رسیدن به جواب نهایی است (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳).

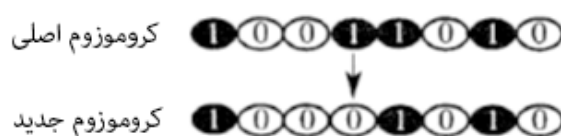
در جهش، افراد به صورت تصادفی دچار تغییر می‌شوند. این تغییرات که تحت عنوان گام‌های جهش شناخته می‌شوند بسیار ناچیز هستند. اعمال عملگرهایی نظیر جهش تضمین می‌کند که الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه عمومی یا جواب‌های نزدیک به آن برسد. زیرا با اعمال این عملگر، نقاط اطراف کروموزوم‌های جمعیت نیز در مجموعه فضای جستجو قرار خواهند گرفت و در واقع یک جستجوی همسایگی انجام گرفته و فضای جستجو را برای رسیدن به بهینه مطلق توسعه می‌دهد. این فرآیند، به جمعیت اولیه ویژگی‌هایی را می‌دهد که ممکن است در کروموزوم‌های جمعیت وجود نداشته باشند. همچنین این فرآیند از همگرایی سریع الگوریتم ژنتیک در بهینه‌های محلی، قبل از آنکه تمام سطوح هزینه^{۱۱} را جستجو نماید، ممانعت می‌کند. افزایش تعداد جهش، آزادی الگوریتم را برای جستجو در فضای امکان‌پذیر^{۱۲} افزایش می‌دهد (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳). معمولاً فرزندان پس از اینکه با روال ترکیب تولید شدند، جهش می‌یابند. در ادامه انواع جهش شرح داده شده است.

الف - جهش مقادیر دودویی

¹¹ Cost Surface

¹² Feasible Space

از آنجا که مقادیر دودویی فقط از رقم‌های ۰ و ۱ تشکیل می‌شوند، جهش دودویی به معنای عوض کردن حالت این مقادیر می‌باشد. یعنی ۰ به ۱ و ۱ به ۰ تغییر پیدا می‌کنند. متغیری که قرار است جهش پیدا کند به صورت تصادفی از هر فرد انتخاب می‌شود. شکل (۳-۴) مثالی از یک جهش دودویی برای یک فرد با ۸ متغیر را نشان می‌دهد که در این مورد متغیر چهارم جهش پیدا کرده است.



شکل (۳-۴) نمایش نحوه‌ی اعمال جهش بر روی یک کروموزوم (من^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۶)

ب- جهش مقادیر حقیقی

منظور از جهش مقادیر حقیقی، تولید تصادفی یک عدد و اضافه کردن آن به مقادیر کروموزوم می‌باشد. بنابراین باید احتمال جهش یک متغیر و میزان جهش متغیر مشخص شوند. برای اعمال این عملگر، ابتدا باید تعداد متغیرهای یک کروموزوم که جهش روی آنها اعمال می‌شود، تعیین شوند که این کار با استفاده از رابطه (۶-۳) انجام می‌شود.

$$N_{mutate} = \text{ceil}(\mu \times nVar) \quad (7-3)$$

که در این رابطه: N_{mutate} = تعداد متغیرهایی است که بر روی آنها جهش اعمال می‌شود، ceil = از توابع MATLAB می‌باشد که کار این تابع، گرد کردن اعداد به سمت بالا می‌باشد (چون اگر یک عدد بین صفر و یک تولید شد، حداقل یک متغیر باشد که برای ایجاد تنوع در جمعیت، بر روی آن جهش اعمال شود)، $nVar$ = تعداد کل متغیرهای تصمیم و μ = یک عدد بسیار کوچک مثلاً ۰/۱ می‌باشد.

بعد از تعیین تعداد متغیرهایی که قرار است بر روی آنها جهش اعمال شود، نوبت به تعیین مکان اعمال جهش می‌باشد. در واقع باید تعیین کنیم که بر روی کدام متغیر(ها) از بین تمامی متغیرها جهش اعمال شود که این کار با استفاده از رابطه (۳-۷) انجام می‌شود.

$$j = \text{randsample}(nVar, N_{\text{mutate}}) \quad (8 - 3)$$

که در رابطه بالا: j = مکانی از کروموزوم، که جهش بر روی آن ژن رخ می‌دهد، randsample = کار این تابع MATLAB، تولید اعداد صحیح بین صفر تا $nVar$ و به تعداد N_{mutate} می‌باشد.

حال نوبت به ایجاد فرزند جدید از طریق جهش می‌رسد برای تولید فرزند جدید از روی والد، از رابطه (۸-۳) استفاده شده است.

$$X_j^{\text{new}} = X_j + \sigma N(0,1) \quad (9 - 3)$$

که در این رابطه: X_j^{new} = فرزند جدید، $N(0,1)$ = توزیع نرمال استاندارد که در MATLAB با استفاده از تابع randn اعداد نرمال تولید می‌شود و σ = انحراف معیار که از رابطه (۹-۳) به دست می‌آید.

$$\sigma = \mu(x_{\text{max}} - x_{\text{min}}) \quad (10 - 3)$$

که در رابطه بالا: μ = یک عدد بسیار کوچک مثلاً 0/1 می‌باشد، $(x_{\text{max}} - x_{\text{min}})$ = حد بالا و حد پایین متغیرها می‌باشد.

۳-۶-۱-۱۲- جایگزینی مجدد¹⁴

پس از تولید فرزندان طی اعمال عملیات‌های انتخاب، ترکیب و جهش بر روی افراد جمعیت حاضر، نوبت به عملیات جایگزینی می‌رسد. طی این عملیات فرزندان تولید شده جایگزین والدین خود می‌شوند. حال اگر تعداد فرزندان از جمعیت مورد نیاز برای نسل بعد کمتر باشد که عملیات جایگزینی بدون مشکل انجام می‌شود. اما در صورتی که تعداد فرزندان از جمعیت مورد نیاز بیشتر باشد باید طبق روال جایگزینی عده‌ای از فرزندان انتخاب شده و در جمعیت جدید جایگزین شوند (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

طرح‌های مختلفی برای جایگزینی وجود دارد که عبارتند از:

¹⁴ Reinsertion

- جایگزینی کامل: که طی آن به تعداد والدین، فرزندان تولید می‌شود و در نهایت همه‌ی فرزندان جایگزین کل والدین می‌شوند.
- جایگزینی یکنواخت: که در این روش تعداد فرزندان تولید شده از والدین کمتر می‌باشد. به این ترتیب جایگزین والدینی می‌شوند که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند.
- جایگزینی نخبه سالار: در این روش نیز فرزندان کمتر از والدین می‌باشند و فرزندان جایگزین بدترین والدین از نظر شایستگی می‌شوند.
- جایگزینی شایسته سالار: در این روش تعداد بیشتری فرزند نسبت به والدین تولید می‌شوند و در نهایت شایسته‌ترین فرزندان جایگزین والدین می‌گردند.
- جایگزینی خالص: ساده‌ترین روش برای جایگزینی می‌باشد. در این روش عمر هر فرد تنها به اندازه‌ی یک نسل خواهد بود. مشکل این روش این است که در آن والدینی که دارای شایستگی بالایی هستند نیز از بین می‌روند و به این ترتیب اطلاعات مطلوبی را از دست خواهیم داد. که در این تحقیق از روش جایگزینی شایسته سالار استفاده شده است.

۳-۶-۱-۱۳- معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک

- معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک می‌تواند یکی از معیارهای زیر یا ترکیبی از آنها باشد:
- عدم بهبود بهترین جواب در طی چندین نسل: اگر بین مقدار تابع برازش بهترین جواب (کروموزوم برتر) طی چندین نسل، تفاوتی محسوس مشاهده نشود، می‌تواند دلیل بر رسیدن الگوریتم ژنتیک به جواب بهینه‌ی مطلق باشد.
 - طی تعداد نسل معین: یکی دیگر از معیارهای توقف الگوریتم ژنتیک طی تعداد نسل‌های معین است. در این مسائل، برای تأمین‌شدن معیار همگرایی، تعداد حداکثر نسل ثابتی بزرگتر از مقدار مورد انتظار برای رسیدن به پاسخ بهینه در نظر گرفته می‌شود (زهراپی و حسینی، ۱۳۹۳).
 - محدودیت شایستگی: الگوریتم زمانی متوقف می‌شود که بهترین مقدار شایستگی در جمعیت حاضر کوچکتر یا مساوی یک مقدار معین شود (مصطفی‌کیا، ۱۳۹۱).

- عدم بهبودی بهترین جواب در طی مدت زمان معین: در این معیار اگر در طی مدت زمان معینی (بدون توجه به تعداد نسل‌های ایجاد شده) بهترین جواب انتخاب شده نسل آخر بهبودی ایجاد نگردد، الگوریتم ژنتیک محاسبات خود را متوقف خواهد ساخت. این معیار بدلیل مشکل بودن تخمین زمان اجرا، نسبت به معیارهای قبل کاربرد کمتری دارد.

معیار توقف می‌تواند ترکیبی از معیارهای فوق نیز باشد (زهرایی و حسینی، ۱۳۹۳). الگوریتم ژنتیک زمانی به پایان می‌رسد که به جواب قابل قبولی برسیم و یا تعداد مشخصی نسل طی شود. که در این تحقیق از تعداد تکرار به عنوان شرط توقف استفاده شده است.

۳-۷- تغییر اقلیم

۳-۷-۱- تولید سناریوهای اقلیمی دما و بارش ماهانه برای دوره‌های آتی

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های سه بعدی جفت شده اقیانوس-اتمسفر گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشند. موسسه IPCC تاکنون پنج ارزیابی عمده FAR-1990، SAR-1995، TAR-2001، TAR4-2007، TAR5-2015 ارائه داده‌است (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم، ۲۰۱۴). در این تحقیق، از خروجی ۲۵ مدل AOGCM تحت دو سناریو انتشار rcp4.5 و rcp8.5 مربوط به گزارش چهارم ارزیابی IPCC (AR4) استفاده گردید. مشخصات برخی از این مدل‌ها در جدول (۳-۳) ارائه شده‌است.

جدول (۳-۴) مشخصات مدل‌های AOGCM منتخب

نام مدل	گروه موسس و کشور	قدرت تفکیک در اتمسفر	قدرت تفکیک در اقیانوس	سناریو های انتشار
HadCm3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research/Met office, UK	2.5°×3.75°, L19	1.25°×1.25°, L20	rcp4.5, rcp8.5
ECHAM5/MPI-OM	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	T63 (~1.9° x 1.9°) L31	1.5° x 1.5° L40	rcp4.5, rcp8.5
CSIRO-MK3.5	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) Atmospheric Research, Australia	T63 (~1.9° x 1.9°) L18	0.8° x 1.9° L31	rcp4.5, rcp8.5
GFDL-CM2.0	U.S. Department of Commerce/National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)/ Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL), USA	2.0° x 2.5° L24	0.3°–1.0° x 1.0°	rcp4.5, rcp8.5
CNRM-CM3	Météo-France/Centre National de Recherches Météorologiques, France	T63 (~1.9° x 1.9°) L45	0.5°–2° x 2° L31	rcp4.5, rcp8.5
CGCM3 (T63)	Canadian Centre for ClimateModelling and Analysis, Canada	T63 (~1.9° x 1.9°) L31	0.9° x 1.4° L29	rcp4.5, rcp8.5
GISS-ER	NASA/GISS(USA)	4° x 5° L20	4° x 5° L13	rcp4.5, rcp8.5
MRI-CGM2.3.2a	Meteorological Research Institute, Japan	T42 (~2.8° x 2.8°) L30	0.5°–0.7° x 1.1° L40	rcp4.5, rcp8.5
IPSL-CM4	Institut Pierre Simon Laplace, France	2.5° x 3.75° L19	2° x 2° L31	rcp4.5, rcp8.5
CCSM3	National Center for Atmospheric Research (NCAR), (USA)	T85 (1.4° x 1.4°) L26	0.3°–1° x 1° L40	rcp4.5, rcp8.5
ECHO-G	Meteorological Institute of the University of Bonn, Meteorological Research Institute of the Korea Meteorological Administration (KMA), and Model and Data Group, Germany/Korea	T30 (~3.9° x 3.9°) L19	0.5°–2.8° x 2.8° L20	rcp4.5, rcp8.5
BCCR-BCM2.0, 2005	Bjerknes Centre for Climate Research, Norway	T63 (1.9° x 1.9°) L31	0.5°–1.5° x 1.5° L35	rcp4.5, rcp8.5
MIROC3.2 medres	Center for Climate System Research (University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC), Japan	T106 (~1.1° x 1.1°) L56	0.2° x 0.3° L47	rcp4.5, rcp8.5

هر یک از این ۲۵ مدل انتخابی تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای rcp4.5 و rcp8.5 اقدام به شبیه سازی اقلیم در دوره‌های آتی می‌نمایند.

به دلیل بزرگی سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM، در این مدل‌ها شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی (نوسانات روزانه یا ماهانه) همراه با اغتشاش می‌باشد. مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی نیز وجود اختلاف در نوسانات متغیر مورد مطالعه را تأیید می‌کند. از طرفی مقایسه میانگین بلند مدت این متغیرها با داده‌های مشاهداتی حاکی از توانایی بالای این مدل‌ها در شبیه‌سازی میانگین بلند مدت متغیرهای اقلیمی است. لذا به منظور حذف اغتشاشات غیر معتبر درون مدلی این مدل‌ها، در محاسبات و تقویت میزان تغییرات اقلیمی موجود، معمولاً بجای استفاده مستقیم از داده‌های AOGCM در محاسبات تغییر اقلیم، از میانگین دوره‌ای این داده‌ها استفاده می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهد که بهترین طول دوره آماری برای محاسبه سیگنال‌های تغییر اقلیم ۳۰ سال می‌باشد (دل‌قندی، ۱۳۹۱). سازمان جهانی هواشناسی به منظور هماهنگی در انتخاب دوره پایه در مطالعات مختلف تغییر اقلیم، موجودیت داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه و امکان مقایسه آنها، دوره‌های سی‌ساله ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۷۱-۲۰۰۰ را به عنوان دوره‌های پایه پیشنهاد داده است (کارگروه داده‌ها و پشتیبانی هیئت بین دول تغییر اقلیم^{۱۵}، ۱۹۹۹).

در همین راستا با توجه به موجودیت متغیرهای اقلیمی ایستگاه مورد مطالعه دوره ۱۹۷۱-۲۰۰۰ به عنوان دوره پایه و همچنین دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ به عنوان دوره‌های آتی انتخاب گردیدند. این مجموعه داده‌ها از طریق مرکز توزیع داده^{۱۶} که توسط IPCC در سال ۱۹۹۸ شکل گرفته قابل دسترسی می‌باشد. جهت دسترسی به داده‌های مربوط به منطقه در دوره‌های ۳۰ ساله پایه و آینده، با وارد کردن مختصات مکانی موقعیت مورد نظر و همچنین طول آماری مورد نیاز، سری‌های زمانی متغیر اقلیمی (دما و

¹⁵ Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment (IPCC-TGCI)

¹⁶ Data Distribution Center

بارش) در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) و دوره‌های آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰) به صورت ماهانه به دست می‌آید.

برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل AOGCM مقادیر "اختلاف" برای دما (رابطه ۳-۱) و "نسبت" برای بارندگی (رابطه ۳-۲) بین میانگین ۳۰ ساله در دوره‌های آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰) و دوره شبیه‌سازی شده پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود. این مقادیر بیانگر میزان میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد (دل‌قندی، ۱۳۹۱).

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{AOGCM, fut_i} - \bar{T}_{AOGCM, base_i}) \quad (11 - 3)$$

$$\Delta P_i = (\bar{P}_{AOGCM, fut_i} / \bar{P}_{AOGCM, base_i}) \quad (12 - 3)$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین بلند مدت ۳۰ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}_{AOGCM, fut_i}$ و $\bar{P}_{AOGCM, fut_i}$ میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره آتی برای هر ماه، $\bar{T}_{AOGCM, base_i}$ و $\bar{P}_{AOGCM, base_i}$ میانگین ۳۰ ساله دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط AOGCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه می‌باشد.

۳-۷-۲- ریز مقیاس کردن و تولید سناریوهای ماهانه دما و بارش

روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCM وجود دارد که به روش کوچک مقیاس کردن مشهور می‌باشند. در این تحقیق، به منظور کوچک مقیاس کردن داده‌ها به لحاظ مکانی از روش تناسبی استفاده می‌شود. در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مورد مطالعه در آن قرار دارد (رابطه ۳-۳ و ۳-۴).

$$T = T_{base} + \Delta T \quad (13 - 3)$$

$$P = P_{\text{base}} \times \Delta P \quad (3-14)$$

در رابطه (۳-۳)، T_{base} دمای ماهانه مشاهداتی در دوره پایه، T دمای تولیدی از پدیده تغییر اقلیم در دوره‌های آتی و ΔT بیانگر سناریوی تغییر اقلیم دمای کوچک مقیاس شده می‌باشند. برای بارندگی (P) نیز موارد ذکر شده برقرار می‌باشد.

برای تولید سناریوهای اقلیمی ماهانه منطقه مورد مطالعه، با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، به این صورت عمل گردید که مقادیر ΔT و ΔP توسط روابط ۱-۳ و ۲-۳ برای هر مدل AOGCM تحت هر یک از سناریوی انتشار rcp4.5 و rcp8.5 و برای هر ماه و هر دو دوره آتی جداگانه محاسبه گردید. به عبارت دیگر برای تولید سناریوی اقلیمی در هر دوره آتی، تحت هر سناریوی انتشار، برای هر ماه ΔT و ΔP به تعداد ۲۵ عدد محاسبه گردید.

استفاده از هر یک از این ۲۵ مدل روش محاسباتی تغییر اقلیم را دچار عدم قطعیت می‌کند. جهت در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌های AOGCM از سطوح احتمالاتی به ترتیب زیر استفاده می‌شود. ابتدا توسط نرم EasyFit به داده‌های ΔT و ΔP برای سناریوی انتشار Rcp8.5 و Rcp4.5 در دوره آتی اول و دوم، توزیع‌های آماری مختلف برازش داده شده و بهترین توزیع برای هر کدام انتخاب می‌گردد.

بنابراین با انتخاب بهترین تابع توزیع احتمالاتی، برای هر ماه یک تابع توزیع برای ΔT ‌های همان ماه و یک تابع توزیع برای ΔP ‌های همان ماه حاصل گردید. (توزیع‌ها می‌توانند با هم متفاوت باشند). سپس مقادیر ΔT و ΔP در سطوح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ از CDF مربوطه استخراج گردیدند. این عمل برای همه ۱۲ ماه تکرار گردید. به صورت خلاصه می‌توان گفت که برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ تحت هر سناریوی انتشار و هر ماه ΔT و ΔP در سه سطوح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ تعیین گردید. تمامی مراحل فوق برای دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نیز تکرار گردید.

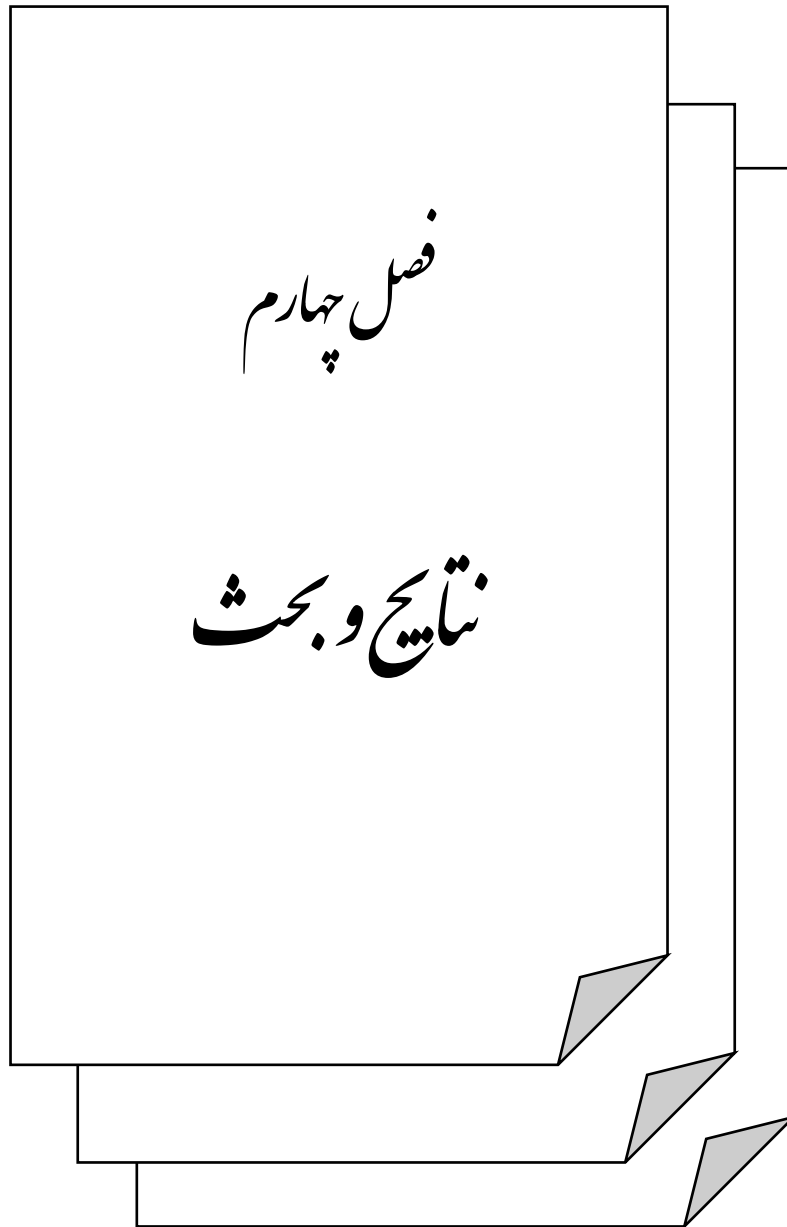
از آنجایی که هر چه نیاز آبی بیشتر برآورد شود در تعیین الگوی کشت ریسک کمتری ایجاد می‌شود، برای تولید سناریو تغییر اقلیم با ریسک ۲۵ درصد باید داده‌های بارش با سطح احتمال ۲۵ درصد و دما با سطح

احتمال ۷۵ درصد باهم ترکیب گردد. همچنین برای تولید سناریو تغییر اقلیم با ریسک ۷۵ درصد داده‌های بارش با سطح احتمال ۷۵ درصد و دما با سطح احتمال ۲۵ درصد با هم ترکیب شوند. تولید سناریو تغییر اقلیم با ریسک ۵۰ درصد نیز با ترکیب داده‌های بارش و دما با سطح احتمال ۵۰ درصد بدست می‌آید. به این ترتیب با وجود دو سناریو Rcp4.5 و Rcp8.5 و دوره‌های اول و دوم و سه سطح ریسک ۱۲ سناریو برای تغییر اقلیم بدست می‌آید. این سناریوها عبارتند از:

Rcp8.5 دوره اول در سطح احتمالاتی ۲۵ درصد که با نام اختصاری R-8.5-1-25 مشخص می‌شود. Rcp8.5 دوره اول در سطح احتمالاتی ۵۰ درصد که با نام اختصاری R-8.5-1-50 مشخص می‌شود. Rcp8.5 دوره اول در سطح احتمالاتی ۷۵ درصد که با نام اختصاری R-8.5-1-75 مشخص می‌شود. Rcp8.5 دوره دوم در سطح احتمالاتی ۲۵ درصد که با نام اختصاری R-8.5-2-25 مشخص می‌شود. Rcp8.5 دوره دوم در سطح احتمالاتی ۵۰ درصد که با نام اختصاری R-8.5-2-50 مشخص می‌شود. Rcp8.5 دوره دوم در سطح احتمالاتی ۷۵ درصد که با نام اختصاری R-8.5-2-75 مشخص می‌شود. Rcp4.5 دوره اول در سطح احتمالاتی ۲۵ درصد که با نام اختصاری R-4.5-1-25 مشخص می‌شود. Rcp4.5 دوره اول در سطح احتمالاتی ۵۰ درصد که با نام اختصاری R-4.5-1-50 مشخص می‌شود. Rcp4.5 دوره اول در سطح احتمالاتی ۷۵ درصد که با نام اختصاری R-4.5-1-75 مشخص می‌شود. Rcp4.5 دوره دوم در سطح احتمالاتی ۲۵ درصد که با نام اختصاری R-4.5-2-25 مشخص می‌شود. Rcp4.5 دوره دوم در سطح احتمالاتی ۵۰ درصد که با نام اختصاری R-4.5-2-50 مشخص می‌شود. Rcp4.5 دوره دوم در سطح احتمالاتی ۷۵ درصد که با نام اختصاری R-4.5-2-75 مشخص می‌شود.

در هر یک از این سناریوها پس از محاسبه ΔT و ΔP ، بارش و حداکثر و حداقل دما توسط فرمول (۳-۳) و (۳-۴) محاسبه گردید. سپس با وارد کردن این داده‌ها در CROPWAT نیاز آبی برای هر سناریو برای محصولات مختلف محاسبه می‌گردد.

نهایتاً با ترکیب سناریو بهینه الگوی کشت فعلی با هر یک از این ۱۲ سناریو و اجرای مجدد برنامه الگوریتم ژنتیک به تعداد ۱۲ بار الگوی کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم برای هر یک از سناریوهای تغییر اقلیم بدست می‌آید.



۴-۱- مقدمه

هدف از این تحقیق بهینه سازی الگوی کشت تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای دشت شاهرود می باشد. در این راستا در این فصل نتایج در چهار بخش ارائه می شود. بخش اول محاسبه نیاز آبی محصولات در شرایط فعلی، بخش دوم تعیین بهینه الگوی کشت در شرایط کنونی توسط روش الگوریتم ژنتیک، بخش سوم محاسبه نیاز آبی محصولات در شرایط تغییر اقلیم و بخش نهایی تعیین بهینه الگوی کشت در شرایط تغییر اقلیم توسط الگوریتم ژنتیک

۴-۲- محاسبه نیاز آبی محصولات در شرایط کنونی

در این تحقیق جهت محاسبه نیاز آبی از نرم افزار cropwate استفاده شده است. پس از وارد کردن داده های هواشناسی، داده های بارش، نوع گیاه و ضرایب گیاهی، مشخص نمودن نوع خاک و خصوصیات خاک، نیاز آبی گیاه (CWR) توسط نرم افزار cropwate به روش فائو پنمن مانیتیت محاسبه گردید. بخشی از مراحل و نتایج محاسبه نیاز آبی گندم به عنوان نمونه در شکل (۴-۱) آمده است.

CROPWAT - Session: untitled - [Crop Water Requirements]

File Edit Calculations Charts Settings Window Language Help

New Open Save Close Print Chart Options

ETo station: Shahrood
Rain station: Shahrood

Month	Decade	Stage	Kc coeff	ETc mm/day	ETc mm/dec	Eff rain mm/dec	Irr. Req. mm/dec
Nov	1	Init	0.40	0.83	0.8	0.3	0.8
Nov	2	Init	0.40	0.67	6.7	2.8	4.0
Nov	3	Init	0.40	0.58	5.8	3.7	2.1
Dec	1	Deve	0.42	0.51	5.1	4.9	0.2
Dec	2	Deve	0.48	0.48	4.8	5.8	0.0
Dec	3	Deve	0.55	0.54	5.9	5.8	0.1
Jan	1	Deve	0.62	0.60	6.0	5.6	0.3
Jan	2	Deve	0.69	0.65	6.5	5.7	0.8
Jan	3	Deve	0.76	0.84	9.3	5.8	3.5
Feb	1	Deve	0.83	1.06	10.6	5.7	4.9
Feb	2	Deve	0.90	1.30	13.0	5.7	7.3
Feb	3	Deve	0.96	1.69	13.5	6.9	6.7
Mar	1	Deve	1.02	2.13	21.3	8.5	12.8
Mar	2	Deve	1.08	2.62	26.2	9.7	16.5
Mar	3	Mid	1.14	3.27	35.9	9.1	26.8
Apr	1	Mid	1.14	3.80	38.0	8.4	29.6
Apr	2	Mid	1.14	4.33	43.3	8.0	35.2
Apr	3	Late	1.09	4.56	45.6	7.4	38.2
May	1	Late	0.78	3.58	35.8	7.1	28.7
May	2	Late	0.46	2.27	20.4	6.0	13.8
					354.5	123.0	232.2

Climate/ETo
Rain
Crop
Soil
CWR
Schedule
Crop Pattern
Scheme

شکل (۴-۱): بخشی از مراحل و نتایج محاسبه نیاز آبی توسط نرم افزار cropwate برای گیاه گندم

روند فوق برای تمام محصولات منطقه تکرار شده است. همچنین سود خالص از فرمول (۱-۴) محاسبه گردیده است و نتایج در جدول (۱-۴) و شکل (۲-۴) قابل مشاهده است.

$$P = S - C \quad \text{فرمول (۱-۴)}$$

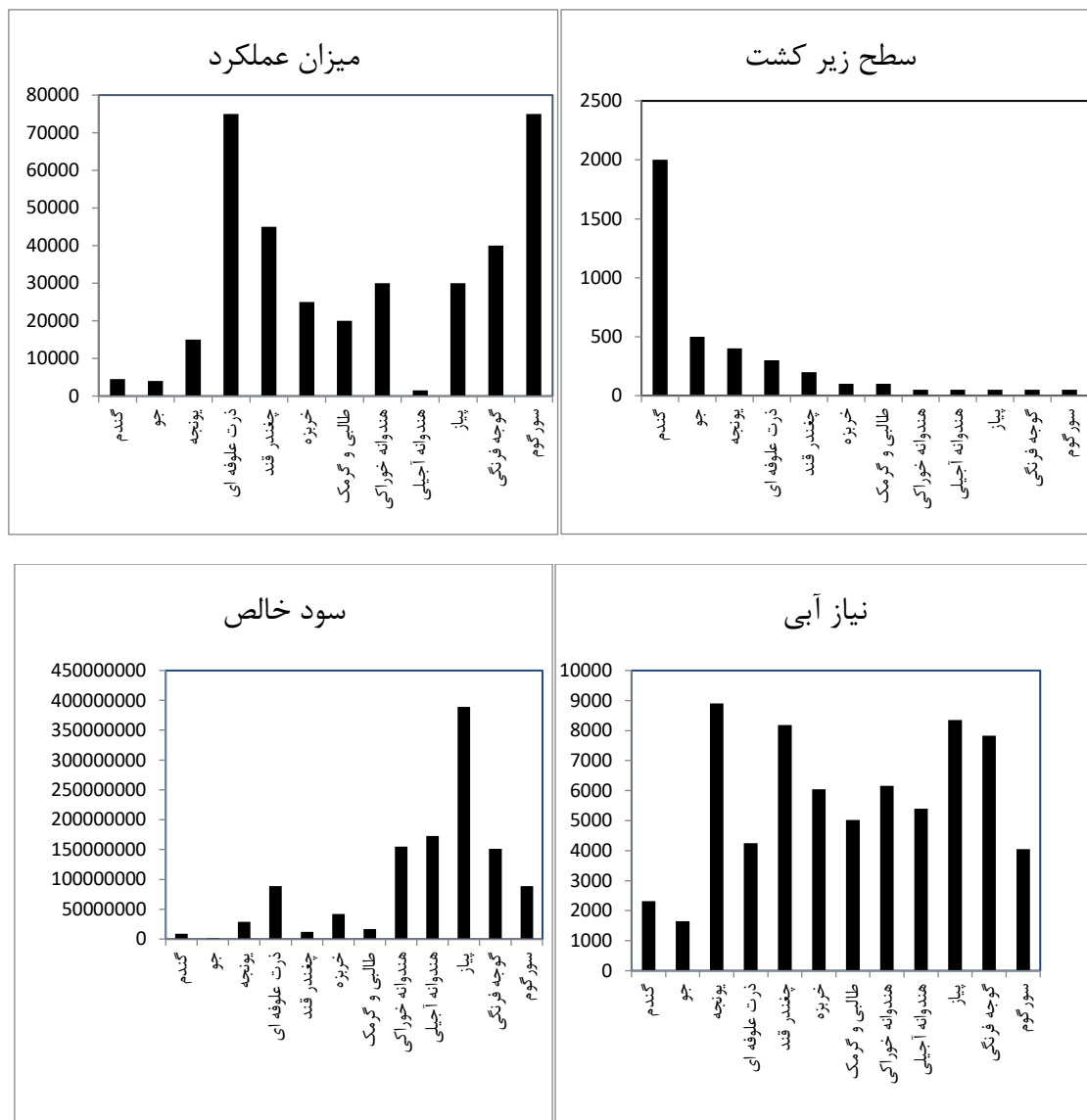
P: سود خالص

C: هزینه تمام شده تولید هر هکتار

S: فروش تولید هر هکتار

جدول (۱-۴): سطح زیر کشت، میزان عملکرد، نیاز آبی و سود خالص محصولات منطقه شاهرود

نام محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	میزان عملکرد (kg)	نیاز آبی (مترمکعب)	سود خالص (ریال)
گندم	۲۰۰۰	۴۵۰۰	۲۳۲۲	۹,۰۷۱,۷۷۲
جو	۵۰۰	۴۰۰۰	۱۶۵۱	۱۳۶۱۶۷۵
یونجه	۴۰۰	۱۵۰۰۰	۸۹۰۷	۲۸۷۲۰۸۹۶
ذرت علوفه ای	۳۰۰	۷۵۰۰۰	۴۲۵۳	۸۸۴۹۲۶۸۸
چغندر قند	۲۰۰	۴۵۰۰۰	۸۱۸۹	۱۲۲۷۴۶۸۶
خریزه	۱۰۰	۲۵۰۰۰	۶۰۴۱	۴۱۸۸۳۶۸۱
طالبی و گرمک	۱۰۰	۲۰۰۰۰	۵۰۲۳	۱۶۶۲۹۶۸۱
هندوانه خوراکی	۵۰	۳۰۰۰۰	۶۱۶۴	۱۵۵۱۵۴۲۳۲
هندوانه آجیلی	۵۰	۱۵۰۰	۵۳۹۵	۱۷۲۸۲۹۵۵۳
پیاز	۵۰	۳۰۰۰۰	۸۳۵۵	۳۸۸۸۷۵۳۳۴
گوجه فرنگی	۵۰	۴۰۰۰۰	۷۸۳۱	۱۵۱۲۷۳۴۸۸
سورگوم	۵۰	۷۵۰۰۰	۴۰۴۹	۸۸۴۹۲۶۸۸



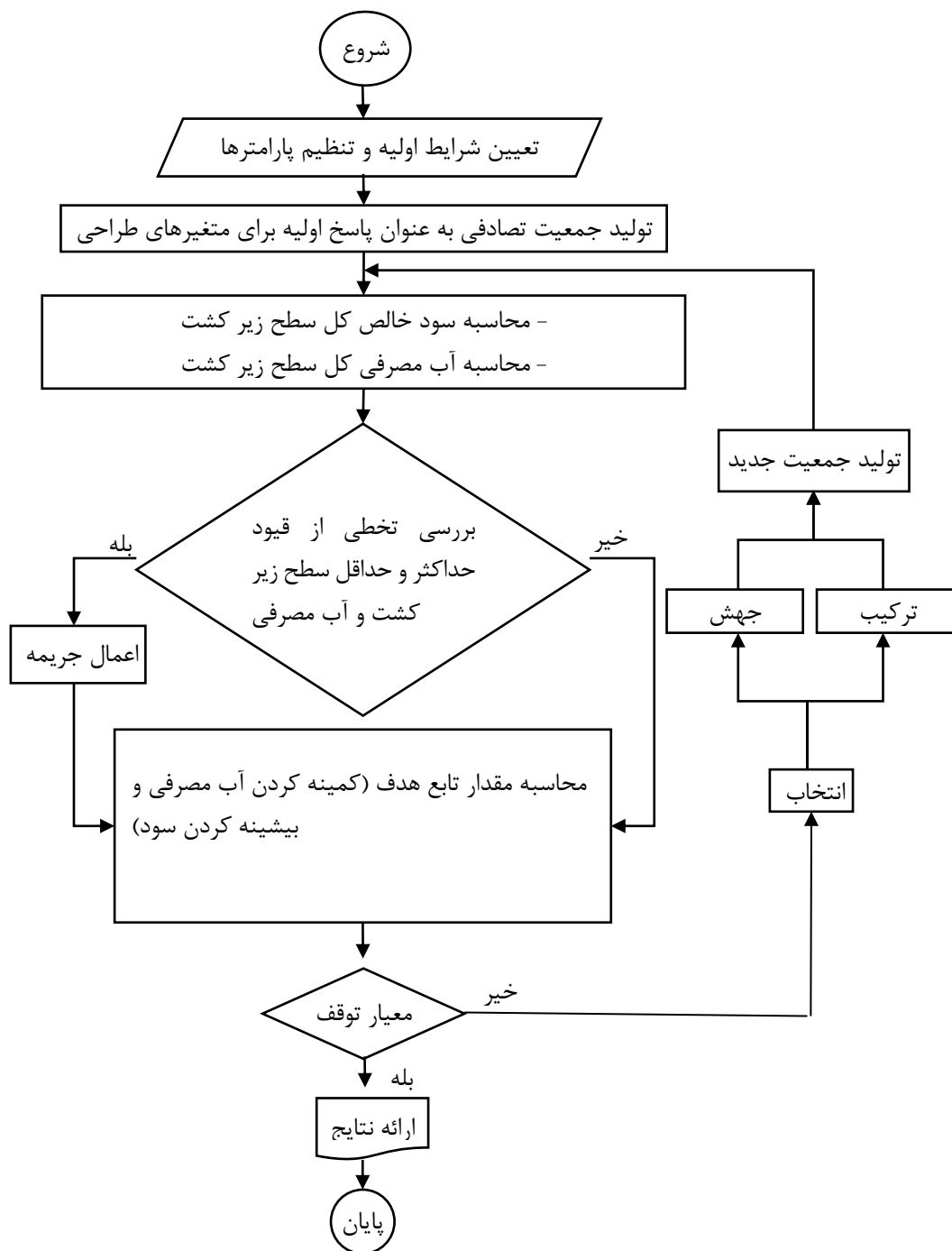
شکل (۴-۲): نمودار سطح زیر کشت، میزان عملکرد، نیاز آبی و سود خالص محصولات منطقه شاهرود

همانطور که در شکل (۴-۲) دیده می‌شود بیشترین سطح زیر کشت مربوط به گندم و کمترین سطح زیر کشت مربوط به گیاهانی مثل سورگوم، گوجه فرنگی و پیاز می‌باشد. در مورد عملکرد، بیشترین عملکرد مربوط به سورگوم و ذرت علوفه‌ای و کمترین آن مربوط به هندوانه آجیلی می‌باشد. بیشترین نیاز آبی مربوط به پیاز

و یونجه و کمترین نیاز آبی مربوط به جو و سپس گندم می‌باشد. همچنین پیاز با تفاوت معنی‌داری نسبت به سایر محصولات سودآورترین محصول و جو کم‌سودترین محصول منطقه در سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۴ بوده است.

۴-۳- تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

در این تحقیق جهت تعیین الگوی کشت بهینه از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. از آنجا که تعداد دفعات اجرای الگوریتم ژنتیک جهت رسیدن به جواب بهینه بسیار زیاد می‌باشد. لذا حل مساله بدون برنامه‌نویسی ممکن نبود. جهت نوشتن برنامه از محیط برنامه‌نویسی متلب استفاده شده است. فلوچارت برنامه در شکل (۴-۳) آورده شده است.



شکل (۳-۴): فلوچارت برنامه جهت تعیین الگوی کشت بهینه توسط الگوریتم ژنتیک

۴-۳-۱- تعریف سناریوهای نحوه تغییر سطح زیر کشت هر محصول جهت تعیین الگوی کشت

بهینه

همانطور که در فصل سه گفته شد جهت بهینه سازی هر کمیت نیاز به یک تابع هدف می باشد. در این تحقیق تابع هدف کمینه کردن آب مصرفی به همراه بیشینه کردن سود می باشد. که صورت ریاضی آن در فرمول (۴-۲) آورده شده است.

$$Z = (Z_2/Z_1) * (1 + w * V_{aiolation}) \quad (2 - 4)$$

Z_1 = سود خالص کل سطح زیر کشت محصولات

Z_2 = مجموع آب مصرفی کل سطح زیر کشت محصولات (سطح زیر کشت هر محصول * نیاز آبی هر محصول)

W = وزن ثابت

$V_{aiolation}$ = تخطی

از آنجا که الگوریتم ژنتیک فقط با توجه به تابع هدف، سطح زیر کشت هر محصول را بهینه می کند، لذا معمولاً تمام سطح زیر کشت را به یک یا دو محصول اختصاص خواهد داد. جهت جلوگیری از این خطا در الگوریتم ژنتیک معمولاً سناریوهایی تعریف می گردد. در این تحقیق چندین سناریو برای تغییرات سطح زیر کشت هر محصول تعریف شده است.

۱- سناریوی آزاد: سطح زیر کشت هر محصول از صفر تا صد در صد سطح زیر کشت کل منطقه تغییر می کند.

۲- سناریوی ده درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول در محدوده سطح زیر کشت فعلی خود آن محصول مثبت منفی ده درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر می کند. به عبارت دیگر سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از ده درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$VioAMin(i) = \max(1 - ((A(i)) / (Afeli(i) - (Afeli(i) * model.Senario(1))))), 0);$$

$$VioAMax(i) = \max(((A(i)) / (Afeli(i) + (Afeli(i) * model.Senario(1)))) - 1, 0);$$

که در آن

VioAMin حد پایین

VioAMax حد بالا

Afeli کل سطح زیر کشت محصولات فعلی

A سطح زیر کشت هریک از محصولات

۳- سناریوی بیست درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از بیست

درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد

شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (\text{Afeli}(i) - (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(2))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (\text{Afeli}(i) + (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(2)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۴- سناریوی سی درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از سی

درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد

شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (\text{Afeli}(i) - (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(3))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (\text{Afeli}(i) + (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(3)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۵- سناریوی چهل درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از چهل

درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد

شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (\text{Afeli}(i) - (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(4))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (\text{Afeli}(i) + (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(4)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۶- سناریوی پنجاه درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از پنجاه

درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد

شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (\text{Afeli}(i) - (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(5))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (\text{Afeli}(i) + (\text{Afeli}(i) * \text{model.Senario}(5)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۷- سناریوی شصت درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از شصت درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (Afeli(i) - (Afeli(i) * \text{model.Senario}(6))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (Afeli(i) + (Afeli(i) * \text{model.Senario}(6)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۸- سناریوی هفتاد درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از هفتاد درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (Afeli(i) - (Afeli(i) * \text{model.Senario}(7))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (Afeli(i) + (Afeli(i) * \text{model.Senario}(7)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۹- سناریوی هشتاد درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از هشتاد درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (Afeli(i) - (Afeli(i) * \text{model.Senario}(8))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (Afeli(i) + (Afeli(i) * \text{model.Senario}(8)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۱۰- سناریوی نود درصد سطح فعلی هر محصول: سطح زیر کشت هر محصول بیشتر از نود درصد سطح زیر کشت فعلی همان محصول تغییر نکند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (Afeli(i) - (Afeli(i) * \text{model.Senario}(9))))), 0); \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (Afeli(i) + (Afeli(i) * \text{model.Senario}(9)))) - 1, 0); \end{aligned}$$

۱۱- سناریوی ده درصد سطح کل زیر کشت: سطح زیر کشت هر محصول بین صفر تا ده درصد سطح کل زیر کشت منطقه تغییر می کند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$\begin{aligned} \text{VioAMin}(i) &= \max(1 - ((A(i)) / (\text{realmin}))), 0) \\ \text{VioAMax}(i) &= \max(((A(i)) / (\text{SumA} * 0.1)) - 1, 0) \end{aligned}$$

از آنجا که گندم محصول استراتژیک منطقه است قید مربوط به گندم با سایر محصولات متفاوت بوده و حداقل ۴۰ و حداکثر ۶۰ درصد در نظر گرفته شد.

جدول (۴-۲) سطح زیر کشت محصولات برای هر سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک
سطح زیر کشت هر محصول

نام سناریو	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه ای	چغندر قند	خریزه	طالبی و گرمک	هندوانه خوراکی	هندوانه آجیلی	پیاز	گوجه فرنگی	سورگوم
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۸۵۰	۰	۰
۲	۱۸۸۴	۶۴۳	۱۱۸	۵۶۹	۳۰	۱۶۴	۱۲۴	۶۲	۷۲	۹۵	۸۲	۷
۳	۲۴۴۵	۱۰۸	۲۱۶	۵۲۰	۶۶	۴۱	۵۳	۸۷	۹۰	۸۷	۵۴	۸۳
۴	۲۱۲۹	۴۶۷	۱۴۰	۴۹۹	۷۳	۹۷	۸۴	۷۴	۸۵	۸۵	۶۶	۵۱
۵	۱۹۱۳	۷۲۴	۱۷۵	۴۳۶	۸۵	۱۴۸	۴۹	۷۶	۸۰	۷۷	۴۳	۴۴
۶	۱۷۸۲	۷۴۱	۲۴۱	۴۴۰	۱۰۶	۱۲۲	۵۴	۷۵	۶۸	۷۱	۷۵	۷۵
۷	۲۱۰۳	۴۴۲	۲۵۳	۴۱۷	۱۳۲	۸۲	۷۴	۷۰	۷۰	۶۹	۶۸	۷۰
۸	۲۰۷۹	۴۲۰	۲۸۱	۳۷۹	۱۵۶	۱۱۲	۱۱۱	۶۵	۶۴	۶۲	۶۳	۵۸
۹	۲۰۷۵	۴۴۵	۳۲۷	۳۵۲	۱۶۲	۱۰۴	۸۹	۶۰	۵۹	۶۰	۵۸	۵۹
۱۰	۲۰۱۱	۴۸۹	۳۶۵	۳۲۸	۱۸۱	۱۱۰	۹۱	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵	۵۵
۱۱	۲۲۸۳	۳۸۲	۱۶	۷۵	۳	۱۳	۸	۲۶۳	۲۵۱	۳۴۹	۱۸۷	۲۰
۱۲	۱۶۸۸	۵۹۶	۱	۴۴۴	۵۷	۷	۲۴۶	۳۶	۱۰۳	۳۵۴	۲۰	۲۹۸
۱۳	۱۵۸۴	۸۶۷	۶	۲۵۴	۱۹	۸۱	۱۶۵	۵۵	۱۹۸	۴۸۷	۴۰	۹۴

$$\text{VioAMin}(1)=\max(1-((A(1))/(\text{SumA}*0.4)),0)$$

$$\text{VioAMax}(1)=\max(((A(1))/(\text{SumA}*0.6))-1,0)$$

همچنین قید آب مصرفی در این سناریو به صورت زیر می باشد:

$$\text{VioMaxAbMasrafi}=\max(((\text{sum}(E.*A))/(14000000))-1,0)$$

۱۲- سناریوی بیست درصد سطح کل زیر کشت: سطح زیر کشت هر محصول بین صفر تا بیست

درصد سطح کل زیر کشت منطقه تغییر می کند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده است.

$$\text{VioAMin}(i)=\max(1-((A(i))/(\text{realmin})),0)$$

$$\text{VioAMax}(i)=\max(((A(i))/(\text{SumA}*0.2))-1,0)$$

۱۳- سناریوی سی درصد سطح کل زیر کشت: سطح زیر کشت هر محصول بین صفر تا سی

درصد سطح کل زیر کشت منطقه تغییر می کند. این شرط با قید زیر در برنامه وارد شده

است.

$$\text{VioAMin}(i)=\max(1-((A(i))/(\text{realmin})),0)$$

$$\text{VioAMax}(i)=\max(((A(i))/(\text{SumA}*0.3))-1,0)$$

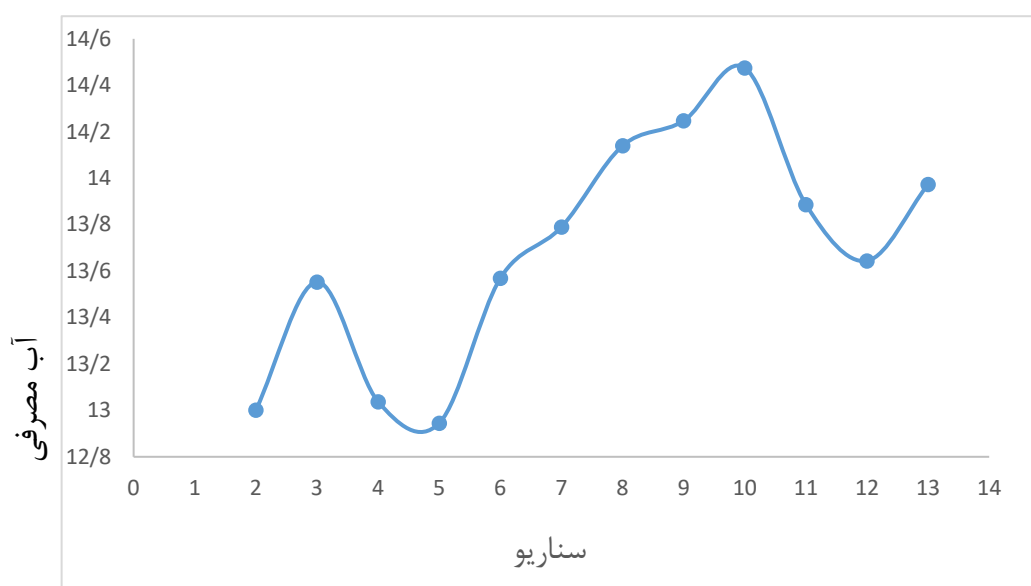
پس از اجرای برنامه با الگوریتم ژنتیک تحت سناریوهای مختلف سطح زیر کشت، آب مصرفی و سود خالص

هر محصول برای هر سناریو توسط برنامه بهینه گردید که نتایج آن بترتیب در جداول (۲-۴)، (۳-۴) و (۴-۴)

و شکل (۴-۴) و (۵-۴) آورده شده است.

جدول (۳-۴) آب مصرفی محصولات برای هر سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک

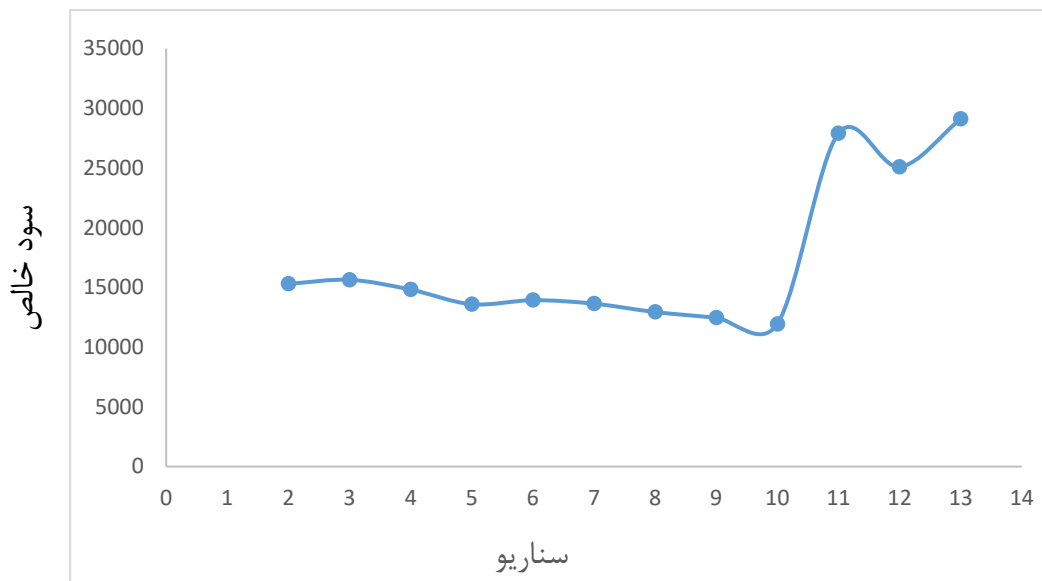
نام سناریو	آب مصرفی هر یک از محصولات												کل آب مصرفی هر سناریو	درصد تغییرات آب مصرفی
	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه ای	چغندر قند	خربز	طالبی و گرمک	هندوانه خوراکی	هندوانه آجیلی	پیاز	گوجه فرنگی	سورگوم		
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۳۲۱۶۶۷۵۰	۰	۰	۳۲۱۶۶۷۵۰	119/69
۲	۴۳۷۴۶۴۸	۱۰۶۱۵۹۳	۱۰۵۱۰۲۶	۲۴۱۹۹۵۷	۲۴۵۶۷۰	۹۹۰۷۲۴	۶۲۲۸۵۲	۳۸۲۱۶۸	۳۸۸۴۴۰	۷۹۳۷۲۵	۶۴۲۱۴۲	۲۸۳۴۳	۱۳۰۰۱۲۸۸	-11/21
۳	۵۶۷۷۲۹۰	۱۷۸۳۰۸	۱۹۲۳۹۱۲	۲۲۱۱۵۶۰	۵۴۰۴۷۴	۲۴۷۶۸۱	۲۶۶۲۱۹	۵۳۶۲۶۸	۴۸۵۵۵۰	۷۲۶۸۸۵	۴۲۲۸۷۴	۳۳۶۰۶۷	۱۳۵۵۳۰۸۸	-7/44
۴	۴۹۴۳۵۳۸	۷۷۱۰۱۷	۱۲۴۶۹۸۰	۲۱۲۲۲۴۷	۵۹۷۷۹۷	۵۸۵۹۷۷	۴۲۱۹۳۲	۴۵۶۱۳۶	۴۵۸۵۷۵	۷۱۰۱۷۵	۵۱۶۸۴۶	۲۰۶۴۹۹	۱۳۰۳۷۷۱۹	-10/96
۵	۴۴۴۱۹۸۶	۱۱۹۵۳۲۴	۱۵۵۸۷۲۵	۱۸۵۴۳۰۸	۶۹۶۰۶۵	۸۹۴۰۶۸	۲۴۶۱۲۷	۴۶۸۴۶۴	۴۳۱۶۰۰	۶۴۳۳۳۵	۳۳۶۷۳۳	۱۷۸۱۵۶	۱۲۹۴۴۸۹۱	-11/59
۶	۴۱۳۷۸۰۴	۱۲۲۳۳۹۱	۲۱۴۶۵۸۷	۱۸۷۱۳۲۰	۸۶۸۰۳۴	۷۳۷۰۰۲	۲۷۱۲۴۲	۴۶۲۳۰۰	۳۶۶۸۶۰	۵۹۳۲۰۵	۵۸۷۳۲۵	۳۰۳۶۷۵	۱۳۵۶۸۷۴۵	-7/33
۷	۴۸۸۳۱۶۶	۷۲۹۷۴۲	۲۲۵۳۴۷۱	۱۷۷۳۵۰۱	۱۰۸۰۹۴۸	۴۹۵۳۶۲	۳۷۱۷۰۲	۴۳۱۴۸۰	۳۷۷۶۵۰	۵۷۶۴۹۵	۵۳۲۵۰۸	۲۸۳۴۳۰	۱۳۷۸۹۴۵۵	-5/82
۸	۴۸۲۷۴۳۸	۶۹۳۴۲۰	۲۵۰۲۸۶۷	۱۶۱۱۸۸۷	۱۲۷۷۴۸۴	۶۷۶۵۹۲	۵۵۷۵۵۳	۴۰۰۶۶۰	۳۴۵۲۸۰	۵۱۸۰۱۰	۴۹۳۳۵۳	۲۳۴۸۴۲	۱۴۱۳۹۳۸۶	-3/43
۹	۴۸۱۸۱۵۰	۷۳۴۶۹۵	۲۹۱۲۵۸۹	۱۴۹۷۰۵۶	۱۳۲۶۶۱۸	۶۲۸۲۶۴	۴۴۷۰۴۷	۳۶۹۸۴۰	۳۱۸۳۰۵	۵۰۱۳۰۰	۴۵۴۱۹۸	۲۳۸۸۹۱	۱۴۲۴۶۹۵۳	-2/70
۱۰	۴۶۶۹۵۴۲	۸۰۷۳۳۹	۳۲۵۱۰۵۵	۱۳۹۴۹۸۴	۱۴۸۲۲۰۹	۶۶۴۵۱۰	۴۵۷۰۹۳	۳۳۹۰۲۰	۲۹۶۷۲۵	۴۵۹۵۲۵	۴۳۰۷۰۵	۲۲۲۶۹۵	۱۴۴۷۵۴۰۲	-1/14
۱۱	۵۳۰۱۱۲۶	۶۳۰۶۸۲	۱۴۲۵۱۲	۳۱۸۹۷۵	۲۴۵۶۷	۷۸۵۳۳	۴۰۱۸۴	۱۶۲۱۱۳۲	۱۳۵۴۱۴۵	۲۹۱۵۸۹۵	۱۴۶۴۳۹۷	۸۰۹۸۰	۱۳۹۷۳۱۲۸	-4/57
۱۲	۳۹۱۹۵۳۶	۹۸۳۹۹۶	۸۹۰۷	۱۸۸۸۳۳۲	۴۶۶۷۷۳	۴۲۲۸۷	۱۲۳۵۶۵۸	۲۲۱۹۰۴	۵۵۵۶۸۵	۲۹۵۷۶۷۰	۱۵۶۶۲۰	۱۲۰۶۶۰۲	۱۳۶۴۳۹۷۰	-6/82
۱۳	۳۶۷۸۰۴۸	۱۴۳۱۴۱۷	۵۳۴۴۲	۱۰۸۰۲۶۲	۱۵۵۵۹۱	۴۸۹۳۲۱	۸۲۸۷۹۵	۳۳۹۰۲۰	۱۰۶۸۲۱۰	۴۰۶۸۸۸۵	۳۱۳۲۴۰	۳۸۰۶۰۶	۱۳۸۸۶۸۳۷	-5/16



شکل (۴-۴): نمودار آب مصرفی برای هر سناریو

جدول (۴-۴) سود خالص محصولات برای هر سناریو با استفاده از الگوریتم ژنتیک

نام سناریو	سود خالص هر یک از محصولات												کل سود خالص هر سناریو	درصد تغییرات سود خالص هر سناریو
	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه ای	چغندر قند	خریزه	طالبی و گرمک	هندوانه خوراکی	هندوانه آجیلی	پیاز	گوجه فرنگی	سورگوم		
۱	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۵/۱E+۱۲	.	.	۵/۱E+۱۲	1,224/95
۲	۷۱/۱E+۱۰	۷۶/۸E+۰۸	۳۹/۳E+۰۹	۰۴/۵E+۱۰	۶۸/۳E+۰۸	۸۷/۶E+۰۹	۰۶/۲E+۰۹	۶۲/۹E+۰۹	۲۴/۱E+۱۰	۶۹/۳E+۱۰	۲۴/۱E+۱۰	۱۹/۶E+۰۸	۵۳/۱E+۱۱	35/43
۳	۲۲/۲E+۱۰	۴۷/۱E+۰۸	۲/۶E+۰۹	۶/۴E+۱۰	۱/۸E+۰۸	۷۲/۱E+۰۹	۸۱/۸E+۰۸	۳۵/۱E+۱۰	۵۶/۱E+۱۰	۳۸/۳E+۱۰	۱۷/۸E+۰۹	۳۴/۷E+۰۹	۵۶/۱E+۱۱	38/37
۴	۹۳/۱E+۱۰	۳۶/۶E+۰۸	۰۲/۴E+۰۹	۴۲/۴E+۱۰	۹۶/۸E+۰۸	۰۶/۴E+۰۹	۴/۱E+۰۹	۱۵/۱E+۱۰	۴۷/۱E+۱۰	۳۱/۳E+۱۰	۹۸/۹E+۰۹	۵۱/۴E+۰۹	۴۸/۱E+۱۱	31/16
۵	۷۴/۱E+۱۰	۸۶/۹E+۰۸	۰۳/۵E+۰۹	۸۶/۳E+۱۰	۰۴/۱E+۰۹	۲/۶E+۰۹	۱۵/۸E+۰۸	۱۸/۱E+۱۰	۳۸/۱E+۱۰	۹۹/۲E+۱۰	۵/۶E+۰۹	۸۹/۳E+۰۹	۳۶/۱E+۱۱	20/33
۶	۶۲/۱E+۱۰	۰۱/۱E+۰۹	۹۲/۶E+۰۹	۸۹/۳E+۱۰	۳/۱E+۰۹	۱۱/۵E+۰۹	۹۸/۸E+۰۸	۱۶/۱E+۱۰	۱۸/۱E+۱۰	۷۶/۲E+۱۰	۱۳/۱E+۱۰	۶۴/۶E+۰۹	۳۹/۱E+۱۱	23/30
۷	۹۱/۱E+۱۰	۰۲/۶E+۰۸	۲۷/۷E+۰۹	۶۹/۳E+۱۰	۶۲/۱E+۰۹	۴۳/۳E+۰۹	۲۳/۱E+۰۹	۰۹/۱E+۱۰	۲۱/۱E+۱۰	۶۸/۲E+۱۰	۰۳/۱E+۱۰	۱۹/۶E+۰۹	۳۶/۱E+۱۱	20/71
۸	۸۹/۱E+۱۰	۷۲/۵E+۰۸	۰۷/۸E+۰۹	۳۵/۳E+۱۰	۹۱/۱E+۰۹	۶۹/۴E+۰۹	۸۵/۱E+۰۹	۰۱/۱E+۱۰	۱۱/۱E+۱۰	۴۱/۲E+۱۰	۵۳/۹E+۰۹	۱۳/۵E+۰۹	۲۹/۱E+۱۱	14/53
۹	۸۸/۱E+۱۰	۰۶/۶E+۰۸	۳۹/۹E+۰۹	۱۱/۳E+۱۰	۹۹/۱E+۰۹	۳۶/۴E+۰۹	۴۸/۱E+۰۹	۳۱/۹E+۰۹	۰۲/۱E+۱۰	۳۳/۲E+۱۰	۷۷/۸E+۰۹	۲۲/۵E+۰۹	۲۵/۱E+۱۱	10/29
۱۰	۸۲/۱E+۱۰	۶۶/۶E+۰۸	۰۵/۱E+۱۰	۹/۲E+۱۰	۲۲/۲E+۰۹	۶۱/۴E+۰۹	۵۱/۱E+۰۹	۵۳/۸E+۰۹	۵۱/۹E+۰۹	۱۴/۲E+۱۰	۳۲/۸E+۰۹	۸۷/۴E+۰۹	۱۹/۱E+۱۱	5/64
۱۱	۰۷/۲E+۱۰	۲/۵E+۰۸	۶/۴E+۰۸	۶۴/۶E+۰۹	۳۶۸۲۴۰۵۸	۴۴/۵E+۰۸	۳۳/۱E+۰۸	۰۸/۴E+۱۰	۳۴/۴E+۱۰	۳۶/۱E+۱۱	۸۳/۲E+۱۰	۷۷/۱E+۰۹	۷۹/۲E+۱۱	146/91
۱۲	۵۳/۱E+۱۰	۱۲/۸E+۰۸	۲۸۷۲۰۸۹۶	۹۳/۳E+۱۰	۷E+۰۸	۹۳/۲E+۰۸	۰۹/۴E+۰۹	۵۹/۵E+۰۹	۷۸/۱E+۱۰	۳۸/۱E+۱۱	۰۳/۳E+۰۹	۶۴/۲E+۱۰	۵۱/۲E+۱۱	122/10
۱۳	۴۴/۱E+۱۰	۱۸/۱E+۰۹	۷۲/۱E+۰۸	۲۵/۲E+۱۰	۳۳/۲E+۰۸	۳۹/۳E+۰۹	۷۴/۲E+۰۹	۵۳/۸E+۰۹	۴۲/۳E+۱۰	۸۹/۱E+۱۱	۰۵/۶E+۰۹	۳۲/۸E+۰۹	۹۱/۲E+۱۱	157/59

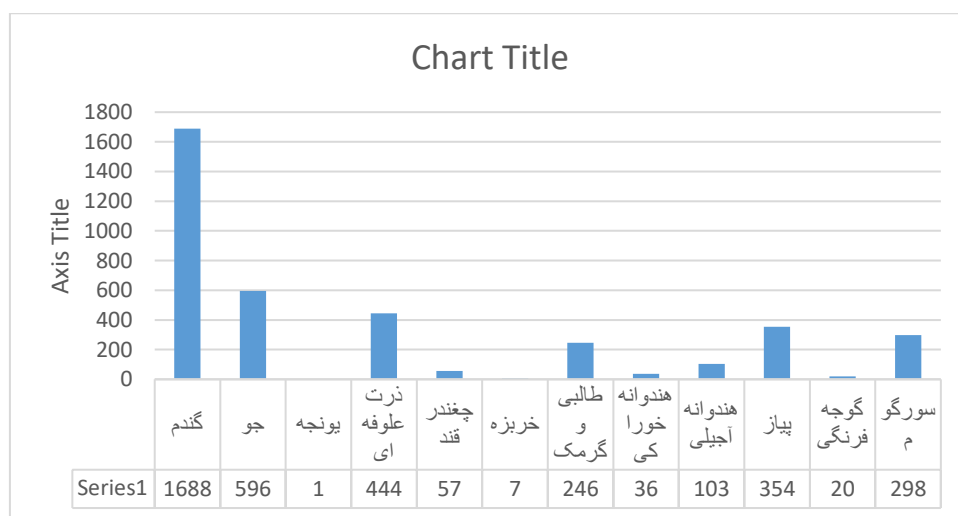


شکل (۴-۵): نمودار سود خالص برای هر سناریو

همانطور که نتایج نشان می‌دهد در سناریو آزاد سود کشاورز از تمام سناریوهای دیگر بیشتر می‌باشد ولی آب مصرفی آن نیز از تمام سناریوها بیشتر است بنابراین با توجه به کمبود آب موجود در منطقه سناریو آزاد مورد قبول نمی‌باشد.

در مجموعه سناریوهای ۲ تا ۱۰ که سطح زیر کشت هر محصول به صورت درصدی از سطح زیر کشت همان محصول از ۱۰ درصد الی ۹۰ درصد تغییر می‌کرد، آب مصرفی در سناریوی شماره ۵ کمترین و مجموع سود خالص کشاورزان منطقه در سناریو شماره ۳ بیشترین میزان می‌باشد. ولی همانطور که نمودار شماره (۴-۵) نشان می‌دهد بین سود سناریوهای ۲ تا ۱۰ تفاوت معنی داری وجود ندارد در حالی که آب مصرفی سناریو ۵ بصورت معناداری کمتر از سایر سناریوها می‌باشد. مقایسه دو شکل (۴-۴) و (۴-۵) نشان می‌دهد از سناریو ۱۱ الی ۱۳ که سطح زیر کشت هر محصول بصورت درصدی از سطح زیر کشت کل تغییر می‌کرد مجموع سود کشاورزان منطقه بصورت جهشی افزایش پیدا کرده ولی میزان آب مصرفی نیز بیشتر از سناریوهای ۲ تا ۱۰ می‌باشد. نکته قابل توجه این است که نرخ افزایش آب مصرفی نسبت به افزایش سود کمتر است. همچنین علی رغم افزایش آب مصرفی کل نسبت به سناریوهای ۲ تا ۱۰ میزان آب مصرفی از آب کنونی منطقه کمتر

است. در بین سناریوهای ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ بیشترین سود مربوط به سناریو شماره ۱۳ و کمترین آب مصرفی مربوط به سناریو شماره ۱۲ می‌باشد. ولی میزان سود این سه سناریو تفاوت زیادی با هم ندارد. بنابراین بهترین می‌تواند بین سناریو ۵ و سناریو ۱۲ انتخاب گردد. میزان کاهش آب مصرفی سناریو ۵ و سناریو ۱۲ به ترتیب ۱۲۹۴۴۸۹۱ و ۱۳۶۴۳۹۷۰ مترمکعب می‌باشد. میزان افزایش سود در سناریو ۵ و ۱۲ به ترتیب ۳۶۱۰۰۰ و ۵۱۲۰۰۰ میلیون تومان می‌باشد. بنابراین بهترین سناریو با توجه به کمبود آب منطقه سناریو شماره ۱۲ می‌باشد که در زیر نمودار سطح زیر کشت برای سناریو ۱۲ در شکل (۴-۶) آورده شده است.



شکل (۴-۶) نمودار سطح زیر کشت برای سناریوی ۱۲

۴-۴- تغییر اقلیم

الگوی کشت بهینه منطقه ارتباط مستقیم با نیاز آبی گیاهان منطقه دارد و نیاز آبی هر گیاه با تغییر بارش و دمای منطقه تحت تاثیر تغییر اقلیم تغییر می‌کند. بنابراین در این تحقیق جهت بررسی تاثیر پارامترهای تغییر اقلیم (ΔT و ΔP) بر روی الگوی کشت بهینه، از خروجی ۲۵ مدل AOGCM تحت دو سناریو انتشار rcp8.5 و rcp4.5 و دو دوره اول (2010-2039) و دوم (2040-2069) استفاده گردید.

جدول ΔT برای rcp8.5، برای دوره آتی به صورت نمونه برای ماه‌های مختلف در جدول شماره (۴-۵) آورده شده است.

جدول (۴-۵) مقادیر ΔT (درجه سانتی‌گراد) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp8.5 دوره

آتی اول

دوره اول

rcp8.5

ΔT

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	0/99	1/01	2/09	1/37	2/30	2/42	2/52	2/57	1/89	2/37	1/49	0/76
BNU-ESM	1/61	1/42	2/16	2/22	2/59	2/67	2/89	2/28	3/05	2/11	0/73	1/38
CanESM2	1/56	2/06	2/34	2/13	1/97	2/31	3/14	3/73	3/79	3/25	1/91	1/31
CESM1-BGC	0/97	0/71	-0/06	0/94	1/52	1/49	1/74	1/84	1/71	1/83	1/87	1/87
CESM1-CAM5	1/32	1/20	1/25	0/80	1/01	2/40	1/46	1/79	1/51	2/00	1/60	1/29
CMCC-CM	1/44	3/01	2/01	2/10	2/21	1/80	2/52	3/20	2/05	2/18	1/91	1/99
CNRM-CM5	0/99	1/51	1/08	1/64	2/02	2/08	1/25	1/49	2/23	1/27	1/23	1/75
CSIRO-MK3-6-0	0/55	1/11	1/39	1/85	1/59	2/07	2/16	2/69	1/63	2/15	0/92	0/77
EC-EARTH	1/99	1/60	1/61	0/83	1/23	0/57	1/23	1/49	1/79	1/65	1/83	1/39
FGOALS-g2	1/22	1/32	2/33	2/26	2/09	2/04	2/05	2/05	2/18	1/82	1/59	1/72
FIO-ESM	0/88	1/25	-0/07	0/88	0/84	0/91	1/61	1/25	0/72	1/03	0/92	0/43
GFDL-CM3	2/01	2/59	2/71	3/32	2/35	3/14	4/06	4/01	3/88	2/05	1/97	2/62
GISS-E2-R	1/87	1/58	1/54	0/63	1/28	1/14	1/52	1/41	1/69	2/42	1/32	1/64
HadGEM2-ES	2/09	2/41	1/31	1/84	1/67	2/75	3/64	3/16	2/83	2/56	2/42	2/11
inmcm4	0/09	-0/32	1/07	1/04	1/05	1/42	1/17	1/51	1/09	1/02	0/67	1/21
IPSL-CM5A-MR	1/73	2/07	1/39	1/82	1/90	1/89	1/95	2/63	2/99	2/10	1/76	3/10
IPSL-CM5B-LR	1/14	1/85	1/94	1/29	1/59	2/17	2/28	2/13	2/26	2/72	2/47	1/89
MIROC5	1/98	1/44	1/33	1/22	1/43	1/98	2/20	2/79	2/02	1/49	1/44	1/74
MIROC-ESM-CHEM	1/00	1/05	1/83	2/20	2/68	2/43	2/69	2/41	2/71	2/61	2/41	1/58
NorESM1-M	0/76	0/80	1/84	0/86	1/68	1/58	2/48	2/24	1/97	1/92	1/82	1/31
BCC	1/26	1/21	1/44	0/84	1/96	1/71	2/42	1/44	2/21	1/23	1/32	1/19
ccsm4	0/73	1/43	1/60	1/54	1/60	2/50	1/81	1/87	2/09	2/17	1/94	0/71
ipsl-cm5a	1/34	1/17	1/40	2/34	2/51	2/31	2/23	3/14	2/61	2/58	2/61	1/58
mpi-esm	1/56	1/19	1/98	2/03	2/27	2/22	2/76	2/66	2/17	1/59	1/79	1/57
mri-cgcm3	1/15	1/93	2/21	0/86	0/46	0/87	1/31	1/42	1/59	1/46	1/47	0/99

۴-۴-۱- تعیین مقادیر ΔT و ΔP به صورت احتمالاتی

در این مرحله جهت محاسبه عدم قطعیت مدل‌های مختلف AOGCM، با استفاده از نرم افزار EasyFit، تابع

توزیع تجمعی احتمالاتی (CDF) برای ΔT و ΔP مستخرج از مدل‌های AOGCM به ازای ماه‌های مختلف

برای هر دو سناریو (rcp8.5 و rcp4.5) و هر دوره به صورت جداگانه تعیین گردید. سپس از روی CDF مربوطه،

مقادیر ΔT و ΔP در سه سطح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ استخراج گردید.

خلاصه نتایج برای هر دو سناریو و هر دو دوره برای سه سطح احتمالاتی ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ برای ΔP و ΔT در جداول شماره (۴-۶) و (۴-۷) آورده شده است.

جدول (۴-۶) مقادیر Δp در سه سطح احتمالاتی، تحت دو سناریوی انتشار در دوره های آبی (میلی متر)

	سناریوهای انتشار	سطح احتمال	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
دوره اول		0/25	0/96	0/94	0/94	0/85	0/79	0/78	0/96	0/76	0/73	0/87	0/91	0/93
	rcp4.5	0/5	1/06	1/02	1/03	0/95	0/95	0/96	1/06	0/96	0/90	1/03	1/09	1/01
		0/75	1/17	1/13	1/14	1/09	1/13	1/21	1/17	1/28	1/11	1/28	1/30	1/11
		0/25	0/95	0/87	0/91	0/86	0/79	0/76	0/67	0/88	0/68	0/84	0/89	0/95
	rcp8.5	0/5	1/10	1/00	1/00	0/98	0/95	0/96	0/91	1/07	0/89	1/01	1/08	1/07
		0/75	1/25	1/13	1/10	1/14	1/17	1/18	1/24	1/33	1/16	1/21	1/26	1/20
دوره دوم		0/25	0/92	0/89	0/92	0/84	0/76	0/64	0/62	0/71	0/68	0/77	0/91	0/94
	rcp4.5	0/5	1/04	1/06	1/01	0/96	0/91	0/82	0/92	1/02	0/90	0/94	1/11	1/08
		0/75	1/16	1/23	1/11	1/07	1/09	1/08	1/35	1/44	1/14	1/20	1/30	1/22
		0/25	0/93	0/78	0/83	0/72	0/64	0/52	0/53	0/61	0/53	0/73	0/86	0/94
	rcp8.5	0/5	1/09	0/95	0/92	0/82	0/81	0/74	0/91	1/11	0/82	0/94	1/08	1/09
		0/75	1/29	1/16	1/01	0/98	1/05	1/05	1/37	1/70	1/19	1/24	1/34	1/24

جدول (۷-۴) مقادیر ΔT در سه سطح احتمالاتی، تحت دو سناریوی انتشار در دوره های آتی (درجه سانتی گراد)

		سناریوهای انتشار	سطح احتمال	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
دوره اول	rcp4.5	0/25	0/90	0/73	0/84	1/03	1/22	1/38	1/42	1/38	1/44	1/34	0/86	0/98	
		0/5	1/39	1/21	1/28	1/32	1/65	1/76	1/87	1/91	1/88	1/82	1/29	1/36	
		0/75	1/78	1/73	1/60	1/63	2/02	2/09	2/35	2/46	2/32	2/24	1/74	1/76	
	rcp8.5	0/25	0/98	1/06	1/27	1/04	1/41	1/61	1/66	1/72	1/66	1/64	1/34	1/15	
		0/5	1/29	1/44	1/64	1/38	1/77	2/00	2/09	2/18	2/09	1/99	1/66	1/48	
		0/75	1/61	1/82	2/01	1/93	2/13	2/38	2/61	2/74	2/61	2/33	1/99	1/84	
	دوره دوم	rcp4.5	0/25	1/61	1/71	1/97	2/09	2/47	2/48	2/74	2/56	2/55	2/45	2/13	1/79
			0/5	2/13	2/21	2/49	2/52	2/91	3/02	3/31	3/25	3/11	2/96	2/58	2/27
			0/75	2/66	2/71	3/01	2/96	3/36	3/55	3/89	3/95	3/68	3/47	3/02	2/75
rcp8.5		0/25	3/31	3/31	3/82	3/78	4/27	4/59	4/95	5/05	4/90	4/51	3/85	3/64	
		0/5	3/90	3/90	4/38	4/38	4/92	5/35	5/88	5/98	5/75	5/18	4/69	4/19	
		0/75	4/49	4/59	4/93	4/99	5/57	6/12	6/81	6/91	6/65	5/91	5/46	4/74	

سپس توسط فرمول (۳-۳) و (۴-۳) مقادیر بارش و حداکثر و حداقل دما برای هر دوره و هر سناریوی انتشار در سطوح احتمال مختلف محاسبه گردید.

۴-۴-۲- محاسبه نیاز آبی با سناریوهای تغییر اقلیم

در این مرحله سناریوهای تغییر اقلیم با ریسک های ۲۵ ، ۵۰ و ۷۵ درصد مطابق توضیحات فصل ۳ تولید شده و نیاز آبی هر محصول توسط cropwate در شرایط تغییر اقلیم محاسبه گردید. نتایج در جداول (۴-۸) و (۴-۹) و (۴-۱۰) آمده است.

جدول (۴-۸) نیاز آبیاری محصولات در شرایط تغییر اقلیم برای دو دوره آتی rcp 4.5

دوره اول rcp 4.5				دوره دوم rcp 4.5			
درصد ریسک				درصد ریسک			
25				25			
50				50			
75				75			
محصول	نیاز آبیاری (میلی متر)			محصول	نیاز آبیاری (میلی متر)		
گندم	272/6	256/2	237/8	گندم	288/2	267/6	247/7
جو	198/6	183/6	166/5	جو	211/6	192/4	173/8
یونجه	1014/9	999	981/4	یونجه	1046	1026/5	1005/9
ذرت علوفه ای	487/5	480/3	472/5	ذرت علوفه ای	502/5	493/4	483/7
چغندر قند	937	921/5	904/3	چغندر قند	966	947	926/8
خریزه	688/1	676/9	664/4	خریزه	709/5	695/9	681/1
طالبی و گرمک	574/2	563/8	552/2	طالبی و گرمک	592/6	580/1	566/5
هندوانه خوراکی	704/1	692/5	679/6	هندوانه خوراکی	725/9	711/8	696/5
هندوانه آجیلی	615/1	607/6	599/4	هندوانه آجیلی	633/8	623/8	613/1
پیاز	951	937/8	923/4	پیاز	979/4	963	945/5
گوجه فرنگی	891/1	878/5	864/9	گوجه فرنگی	917/8	902/2	885/6
سورگوم	465/6	458/7	451/1	سورگوم	479/8	471/1	461/7

جدول (۴-۹) نیاز آبیاری محصولات در شرایط تغییر اقلیم برای دو دوره آبی ۸.۵ rcp

محصول	دوره اول rcp 8.5			محصول	دوره دوم rcp 8.5		
	درصد ریسک				درصد ریسک		
	25	50	75		25	50	75
	نیاز آبیاری (میلی متر)				نیاز آبیاری (میلی متر)		
گندم	277/1	257/7	238	گندم	319	295/5	270/1
جو	202/3	184/4	165/8	جو	238/8	217/1	193/2
یونجه	1020/5	1002/4	983/4	یونجه	1104/5	1078/8	1049/8
ذرت علوفه ای	490/6	482/7	475/2	ذرت علوفه ای	532	519/1	505/5
چغندر قند	942/4	924/8	906/3	چغندر قند	1022/1	997	968/5
خریزه	692	679/4	665/8	خریزه	748/2	730/3	709/8
طالبی و گرمک	577/6	565/9	553/1	طالبی و گرمک	625/6	609/4	590/7
هندوانه خوراکی	708/1	695/1	681/2	هندوانه خوراکی	765/7	747/2	726
هندوانه آجیلی	619	610/4	602/4	هندوانه آجیلی	668/3	654/1	639
پیاز	956/5	941/7	926/5	پیاز	1031/8	1009/3	984/7
گوجه فرنگی	896/3	882/2	867/7	گوجه فرنگی	967/3	945/9	922/5
سورگوم	468/6	460/9	453/7	سورگوم	507/7	495/3	482/2

جدول (۴-۱۰) درصد افزایش نیاز آبیاری برای هر سناریو با شرایط فعلی

سناریوهای انتشار	درصد ریسک	گندم	جو	یونجه	ذرت علوفه ای	چغندر قند	خریزه	طالبی و گرمک	هندوانه خوراکی	هندوانه آجیلی	پیاز	گوجه فرنگی	سورگوم
دوره اول		0/25	17/4	20/3	13/9	14/6	14/4	13/9	14/3	14/2	14/0	13/8	15/0
	rcp4.5	0/5	10/3	11/2	12/2	12/9	12/5	12/1	12/2	12/3	12/6	12/2	13/3
		0/75	2/4	0/8	10/2	11/1	10/4	10/0	9/9	10/3	11/1	10/5	11/4
		0/25	19/3	22/5	14/6	15/4	15/1	14/6	15/0	14/9	14/7	14/5	15/7
	rcp8.5	0/5	11/0	11/7	12/5	13/5	12/9	12/5	12/7	12/8	13/1	12/7	13/8
		0/75	2/5	0/4	10/4	11/7	10/7	10/2	10/1	10/5	11/7	10/9	12/1
دوره دوم		0/25	24/1	28/2	17/4	18/2	18/0	17/4	18/0	17/8	17/5	17/2	18/5
	rcp4.5	0/5	15/2	16/5	15/2	16/0	15/6	15/2	15/5	15/5	15/6	15/3	16/3
		0/75	6/7	5/3	12/9	13/7	13/2	12/7	12/8	13/0	13/6	13/2	14/0
		0/25	37/4	44/6	24/0	25/1	24/8	23/9	24/5	24/2	23/9	23/5	25/4
	rcp8.5	0/5	27/3	31/5	21/1	22/1	21/7	20/9	21/3	21/2	21/2	20/8	22/3
		0/75	16/3	17/0	17/9	18/9	18/3	17/5	17/6	17/8	18/4	17/9	19/1

۴-۴-۳- تعیین الگوی کشت بهینه در شرایط تغییر اقلیم

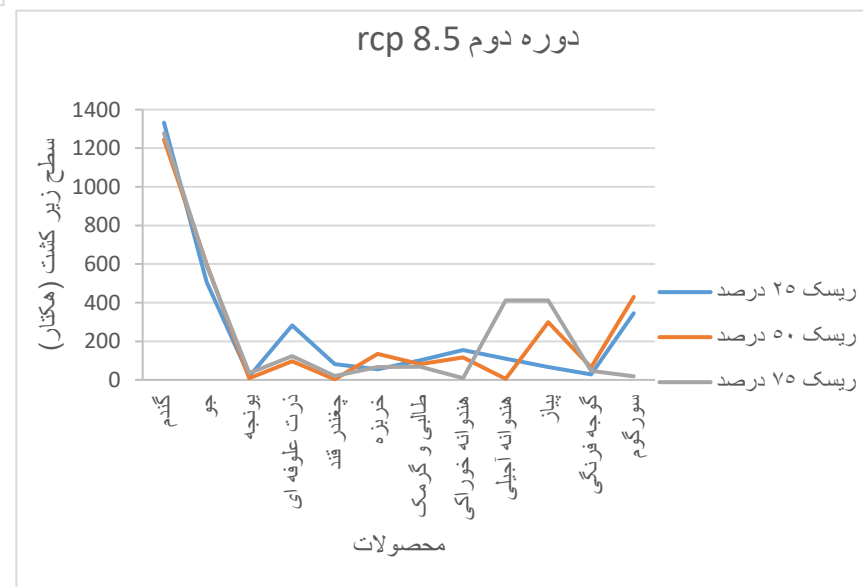
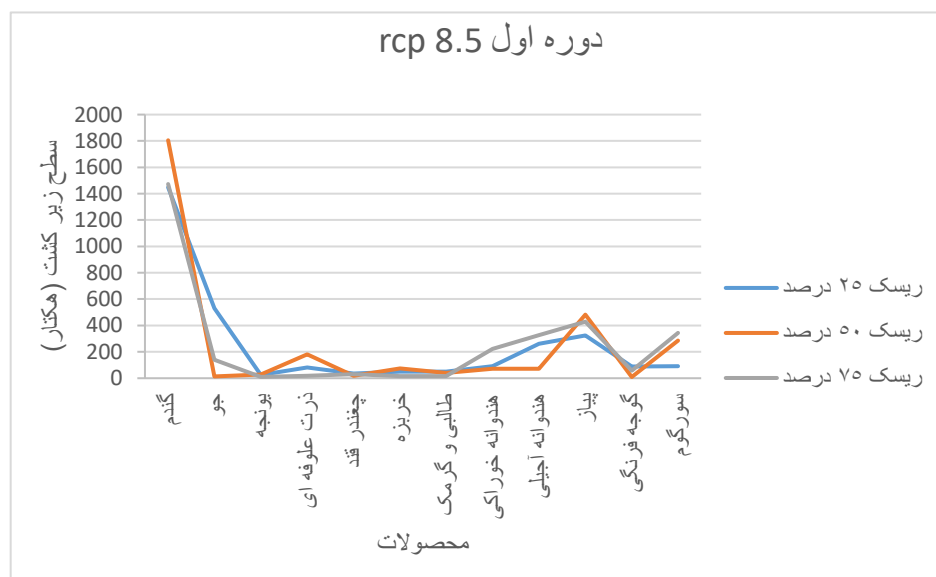
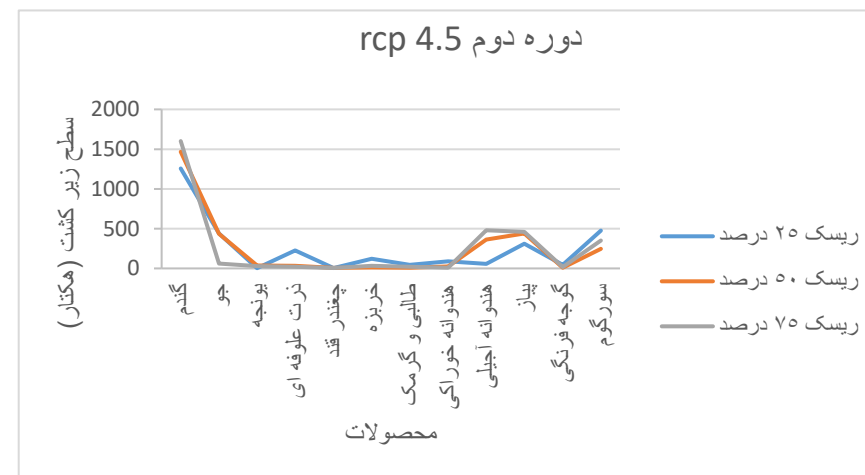
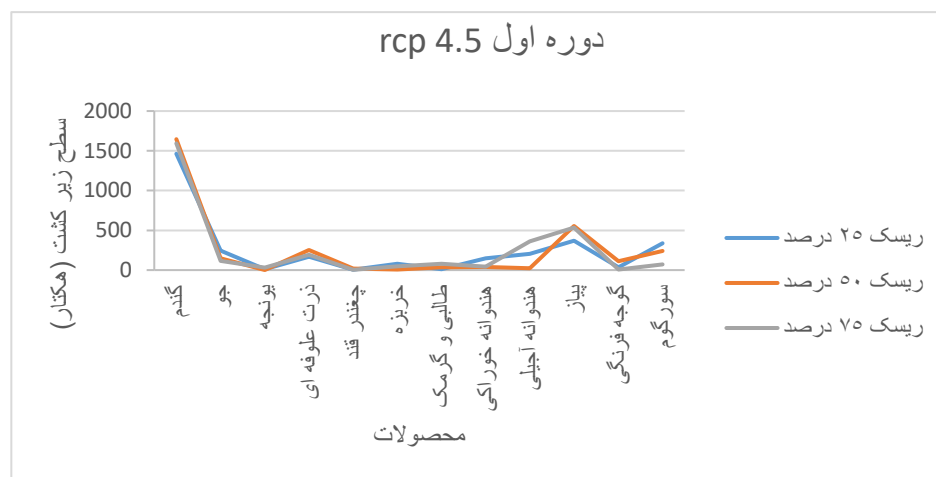
بنابراین الگوی کشت بهینه فعلی (سناریو ۱۲ الگوی کشت) که میزان کل آب مصرفی آن از میزان کل آب مصرفی موجود کمتر می‌باشد در شرایط تغییر اقلیم پاسخگو نخواهد بود. لذا پس از استخراج نیاز آبی به ازای ریسک‌های مختلف، تحت شرایط تغییر اقلیم برای دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 در دو دوره (۱۲ سناریو انتشار)، برنامه بهینه‌سازی الگوی کشت توسط الگوریتم ژنتیک برای سناریوی ۱۲ الگوی کشت (سناریوی برتر)، مجدداً برای نیازهای آبی جدید اجرا شده است. واضح است که اجرای برنامه برای نیازهای آبی جدید تحت شرایط تغییر اقلیم منجر به افزایش آب مصرفی کل نسبت به شرایط کنونی خواهد شد. بنابراین تغییراتی در برنامه الگوریتم ژنتیک داده شده که این تغییرات عبارت است از افزایش قید آب که آب مصرفی از وضعیت کنونی بیشتر نشود. همچنین جهت دستیابی به این امر سطح زیر کشت باید کاهش یابد که در این تحقیق سطح زیر کشت ۸۰ درصد سطح زیر کشت فعلی در نظر گرفته شد. نتایج درصد تغییرات سطح زیر کشت، آب مصرفی، سود کشاورز برای هر سناریو نسبت به شرایط فعلی در ادامه می‌آید.

۴-۴-۴- اثرات تغییر اقلیم بر سطح زیر کشت بهینه

با توجه به اینکه در شرایط تغییر اقلیم نیاز آبیاری افزایش می‌یابد و مقرر گردیده است که در شرایط تغییر اقلیم، آب برداشتی افزایش نیابد. لذا ضروری خواهد بود که سطح زیر کشت کل یا سطح زیر کشت محصولات پر مصرف کاهش یابد تا آب موجود، نیاز آبی الگوی کشت در شرایط تغییر اقلیم را تأمین نماید. بنابراین برای نیل به این هدف برنامه با قیدهای بدون کاهش سطح زیر کشت، کاهش ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی سطح زیر کشت کل اجرا گردید و مشخص گردید برنامه با کاهش صفر، ۱۰ و ۳۰ درصد سطح زیر کشت جواب نمی‌دهد و کاهش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت بهترین نتیجه را خواهد داشت. با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت برای هر محصول، تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی در جدول (۴-۱۱) و شکل (۴-۷) ارائه شده است.

جدول (۴-۱۱) تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول

محصول	دوره اول rcp 4.5			دوره دوم rcp 4.5			محصول	دوره اول rcp 8.5			دوره دوم rcp 8.5		
	درصد ریسک			درصد ریسک				درصد ریسک			درصد ریسک		
	25	50	75	25	50	75		25	50	75	25	50	75
	سطح زیر کشت			سطح زیر کشت				سطح زیر کشت			سطح زیر کشت		
گندم	1463	1646	1593	1257	1467	1601	گندم	1448	1805	1473	1332	1244	1278
جو	246	148	114	438	436	61	جو	530	14	139	506	598	592
یونجه	10	1	32	3	35	30	یونجه	25	28	10	18	9	35
ذرت علوفه ای	168	252	193	227	34	22	ذرت علوفه ای	81	181	18	282	96	123
چغندر قند	5	18	4	6	7	5	چغندر قند	36	18	30	81	3	20
خربزه	81	9	47	121	12	33	خربزه	51	75	17	55	134	66
طالبی و گرمک	13	36	78	47	8	19	طالبی و گرمک	50	39	17	102	82	69
هندوانه خوراکی	147	41	44	88	23	8	هندوانه خوراکی	92	71	222	154	116	9
هندوانه آجیلی	203	22	361	58	361	478	هندوانه آجیلی	261	72	326	110	5	411
پیاز	370	555	535	312	441	459	پیاز	325	483	428	67	299	412
گوجه فرنگی	36	111	7	47	8	15	گوجه فرنگی	89	9	57	28	65	46
سورگوم	338	241	72	476	248	349	سورگوم	92	285	343	345	429	19



شکل (۴-۷) تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول

از آنجایی که گندم محصول استراتژیک منطقه می باشد، بر همین اساس با استفاده از یک قید میزان سطح زیر کشت آن بین ۴۰ درصد و ۶۰ درصد سطح زیر کشت کل به برنامه تحمیل شده است. بعد از گندم روند تغییرات سطح زیر کشت در تمامی سناریوها تقریباً یکسان می باشد. در تمامی سناریوها سطح زیر کشت پیاز نسبت به سایر محصولات بیشتر است. علت این امر این است که علیرغم اینکه نیاز آبی کمی ندارد ولی سود قابل توجهی برای کشاورز دارد و بنابراین برنامه نسبت به سایر محصولات سطح زیر کشت بیشتری را به پیاز اختصاص داده است. و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول چغندر قند می باشد. از آنجا که چغندر قند نیاز آبی بالایی داشته و سود چندانی نیز ندارد این امر کاملاً درست به نظر می رسد.

۴-۴-۵- اثرات تغییر اقلیم بر درصد تغییرات سطح زیر کشت، آب مصرفی و سود کشاورز در

سناریوی بهینه

پس از اجرای برنامه بهینه سازی برای سناریوهای مختلف اقلیمی، درصد تغییرات سطح زیر کشت، آب مصرفی و سود کشاورز نسبت به شرایط فعلی محاسبه شده و در جداول (۴-۱۲)، (۴-۱۳) و (۴-۱۴) و شکل (۴-۸) آمده است.

جدول (۴-۱۲) درصد تغییرات سطح زیر کشت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول

محصول	دوره دوم rcp 4.5			دوره اول rcp 4.5		
	درصد ریسک			درصد ریسک		
	25	50	75	25	50	75
محصول	درصد تغییرات سطح زیر کشت نسبت به شرایط فعلی			درصد تغییرات سطح زیر کشت نسبت به شرایط فعلی		
گندم	-26/9	-17/7	-20/4	-37/2	-26/7	-20/0
جو	-50/8	-70/4	-77/2	-12/4	-12/8	-87/8
یونجه	-97/5	-99/8	-92/0	-99/3	-91/3	-92/5
ذرت علوفه ای	-44/0	-16/0	-35/7	-24/3	-88/7	-92/7
چغندر قند	-97/5	-91/0	-98/0	-97/0	-96/5	-97/5
خربزه	-19/0	-91/0	-53/0	21/0	-88/0	-67/0
طالبی و گرمک	-87/0	-64/0	-22/0	-53/0	-92/0	-81/0
هندوانه	194/0	-18/0	-12/0	76/0	-54/0	-84/0
خوراکی	306/0	-56/0	622/0	16/0	622/0	856/0
هندوانه	640/0	1,010/0	970/0	524/0	782/0	818/0
آجیلی	-28/0	122/0	-86/0	-6/0	-84/0	-70/0
پیاز	576/0	382/0	44/0	852/0	396/0	598/0
گوجه فرنگی						
سورگوم						

محصول	دوره دوم rcp 8.5			دوره اول rcp 8.5		
	درصد ریسک			درصد ریسک		
	25	50	75	25	50	75
محصول	درصد تغییرات سطح زیر کشت نسبت به شرایط فعلی			درصد تغییرات سطح زیر کشت نسبت به شرایط فعلی		
گندم	-33/4	-37/8	-36/1	-27/6	-9/8	-26/4
جو	1/2	19/6	18/4	6/0	-97/2	-72/2
یونجه	-95/5	-97/8	-91/3	-93/8	-93/0	-97/5
ذرت علوفه ای	-6/0	-68/0	-59/0	-73/0	-39/7	-94/0
چغندر قند	-59/5	-98/5	-90/0	-82/0	-91/0	-85/0
خربزه	-45/0	34/0	-34/0	-49/0	-25/0	-83/0
طالبی و گرمک	2/0	-18/0	-31/0	-50/0	-61/0	-83/0
هندوانه	208/0	132/0	-82/0	84/0	42/0	344/0
خوراکی	120/0	-90/0	722/0	422/0	44/0	552/0
هندوانه	34/0	498/0	724/0	550/0	866/0	756/0
آجیلی	-44/0	30/0	-8/0	78/0	-82/0	14/0
پیاز	590/0	758/0	-62/0	84/0	470/0	586/0
گوجه فرنگی						
سورگوم						

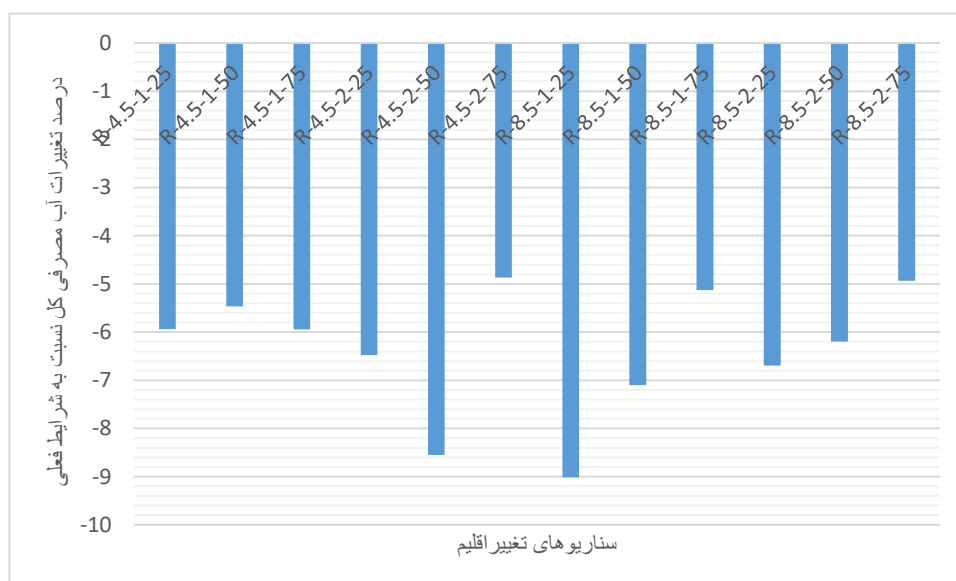
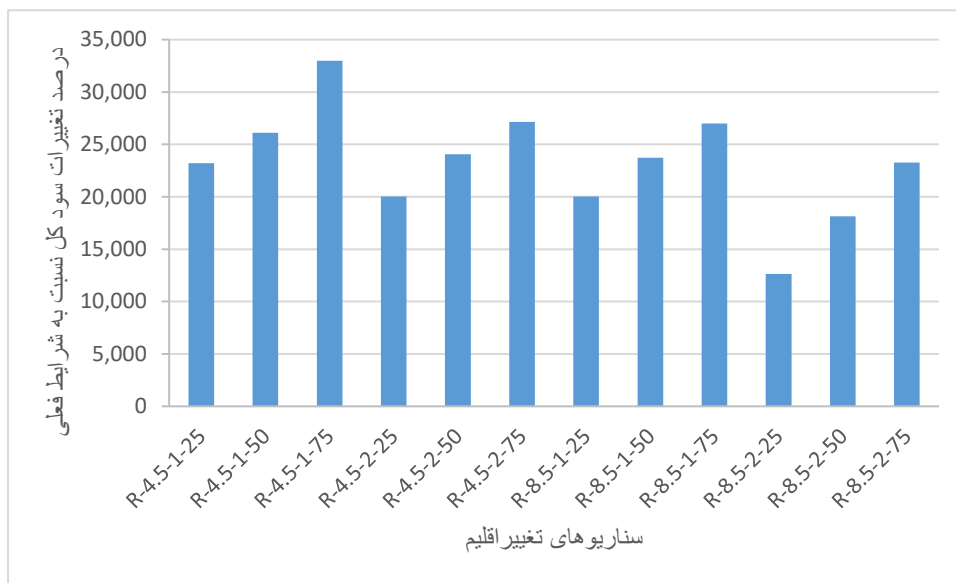
جدول (۴-۱۳) درصد تغییرات آب مصرفی در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول

دوره دوم rcp 8.5				دوره اول rcp 8.5				دوره دوم rcp 4.5				دوره اول rcp 4.5														
درصد ریسک				درصد ریسک				درصد ریسک				درصد ریسک														
25				50				75				25				50				75						
درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی				درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی				درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی				درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی				درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی										
محصول				محصول				محصول				محصول				محصول										
گندم	-25/7	-20/8	-8/5	-24/5	0/2	-13/6	گندم	-14/6	-15/5	-22/0	-18/4	-9/2	-14/1	جو	38/6	57/3	46/4	-72/1	-96/9	29/9	-87/2	1/6	12/3	-77/0	-67/1	-40/8
یونجه	-89/7	-97/3	-94/4	-97/2	-92/1	-92/8	یونجه	-91/5	-89/9	-99/1	-91/2	-99/7	-97/2	ذرت علوفه ای	-51/3	-60/9	17/6	-93/3	-31/5	-68/9	-91/7	-86/9	-10/6	-28/5	-5/1	-35/8
چغندر قند	-88/2	-98/2	-49/5	-83/4	-89/8	-79/3	چغندر قند	-97/2	-96/0	-96/5	-97/8	-89/9	-97/1	خربزه	-22/5	62/0	-31/9	-81/3	-15/7	-41/6	-62/8	-86/2	42/1	-48/3	-89/9	-7/7
طالبی و گرمک	-18/9	-0/5	27/0	-81/3	-56/1	-42/5	طالبی و گرمک	-78/6	-90/8	-44/6	-14/3	-59/6	-85/1	هندوانه	-78/8	181/2	282/6	390/7	60/1	111/4	-81/9	-46/9	107/3	-3/0	-7/9	235/8
خوراکی							خوراکی							هندوانه آجیلی	873/6	-87/9	172/5	628/0	62/9	498/9	986/4	734/8	36/3	702/2	-50/4	362/9
پیاز	871/1	622/4	65/5	849/2	988/8	644/1	پیاز	938/9	916/6	631/5	1,082/6	1,145/9	742/3	گوجه فرنگی	8/4	57/0	-30/8	26/3	-79/7	103/7	-66/1	-81/6	10/2	-84/5	149/0	-18/1
سورگوم	-54/7	949/6	765/2	668/7	548/8	112/9	سورگوم	695/9	477/1	1,028/1	60/4	446/0	677/3	جمع کل	-4/9	-6/2	-6/7	-5/1	-7/1	-9/0	-4/9	-8/5	-6/5	-5/9	-5/5	-5/9

جدول (۴-۱۴) درصد تغییرات سود در شرایط تغییر اقلیم نسبت به دوره کنونی با احتساب ۲۰ درصد کاهش سطح زیر کشت کل برای هر محصول

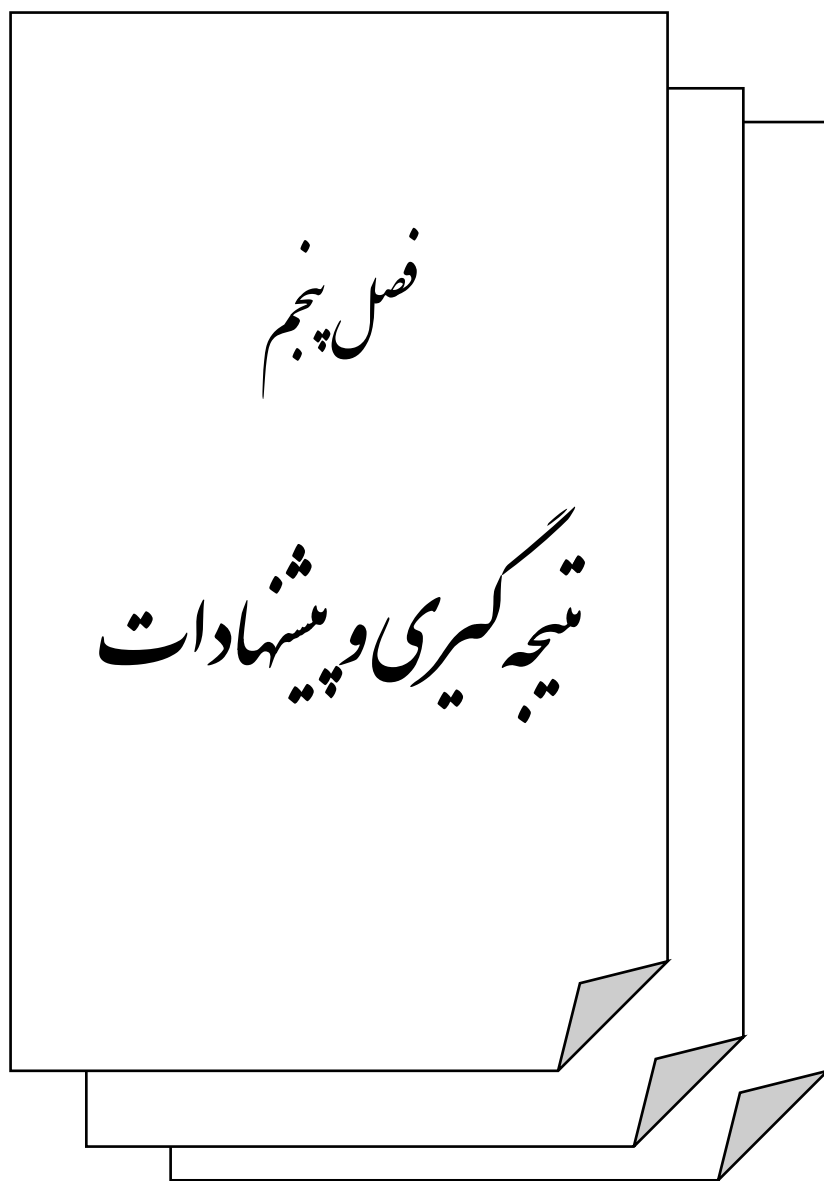
نام محصول	دوره دوم rcp 4.5			دوره اول rcp 4.5		
	درصد ریسک			درصد ریسک		
	25	50	75	25	50	75
	درصد تغییرات سود نسبت به شرایط فعلی			درصد تغییرات سود نسبت به شرایط فعلی		
گندم	146,200	164,498	159,196	125,598	146,597	160,001
جو	2,360	14,700	11,300	43,700	43,500	6,000
یونجه	900	0	3,100	200	3,400	2,900
ذرت علوفه ای	16,700	25,100	19,200	22,600	3,300	2,100
چغندر قند	400	1,700	300	500	600	400
خریزه	8,000	800	4,600	12,000	1,100	3,200
طالبی و گرمک	1,200	3,500	7,700	4,600	700	1,800
هندوانه خوراکی	14,600	4,000	43,912	8,700	2,200	700
هندوانه آجیلی	20,200	2,100	36,000	5,700	36,000	47,700
پیاز	36,899	55,401	53,400	31,100	43,999	45,799
گوجه فرنگی	3,500	11,000	600	4,600	700	1,400
سورگوم	33,701	24,000	7,100	47,501	24,700	34,800
جمع کل	23,211	26,113	32,978	20,015	24,076	27,143

نام محصول	دوره دوم rcp 8.5			دوره اول rcp 8.5		
	درصد ریسک			درصد ریسک		
	25	50	75	25	50	75
	درصد تغییرات سود نسبت به شرایط فعلی			درصد تغییرات سود نسبت به شرایط فعلی		
گندم	133,104	124,297	127,703	144,701	180,405	147,203
جو	50,500	59,700	59,100	52,900	1,300	13,800
یونجه	1,700	800	3,400	2,400	2,700	900
ذرت علوفه ای	28,100	9,500	12,200	8,000	18,000	1,700
چغندر قند	8,000	200	1,900	3,500	1,700	2,900
خریزه	5,400	13,300	6,500	5,000	7,400	1,600
طالبی و گرمک	10,100	8,100	6,800	4,900	3,800	1,600
هندوانه خوراکی	15,300	11,500	800	9,100	7,000	22,100
هندوانه آجیلی	10,900	400	41,000	26,000	7,100	32,500
پیاز	6,600	29,799	41,101	32,399	48,201	42,700
گوجه فرنگی	2,700	6,400	4,500	8,800	800	5,600
سورگوم	34,400	42,800	1,800	9,100	28,400	34,200
جمع کل	12,624	18,150	23,253	20,031	23,717	26,998



شکل (۴-۸) نمودار درصد تغییرات سود کل و درصد تغییرات آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی

همانطور که جداول و نمودارهای بالا نشان می دهد برنامه نوشته شده در این تحقیق توانسته است سطح زیر کشت هر محصول را به گونه ای تعیین کند که آب مصرفی در تمامی سناریوها کاهش یافته و سود کشاورز افزایش یابد. در سناریوی rcp4.5 دوره اول با سطح ریسک ۷۵ درصد بیشترین درصد سود و سناریوی rcp8.5 دوره اول با سطح ریسک ۲۵ درصد کمترین میزان مصرف آب را دارا می باشد.



۵-۱- مقدمه

افزایش نیاز آبی و جمعیت کره زمین باعث ایجاد بحران در بخش مدیریت منابع آب گردیده است. در این راستا این تحقیق به تعیین الگوی کشت بهینه تحت شرایط تغییر اقلیم در منطقه شاهرود می‌پردازد.

۵-۲- خلاصه نتایج

جهت بهینه‌سازی الگوی کشت ابتدا تبخیر و تعرق گیاهان منطقه توسط کراپ وات محاسبه شد. سپس الگوریتم ژنتیک در محیط متلب برنامه نویسی شد و با اجرای این برنامه، الگوی کشت بهینه در شرایط فعلی به دست آمد. جهت محاسبه الگوی کشت بهینه تحت شرایط تغییر اقلیم از دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دو دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ و ۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹ تحت سه ریسک ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد استفاده شد. خلاصه نتایج اجرای برنامه در شرایط فعلی و شرایط تغییر اقلیم عبارتند از:

- اجرای برنامه الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد بهترین سناریو جهت کمینه کردن آب مصرفی و بیشینه کردن سود کشاورز سناریو شماره ۱۲ می‌باشد. این سناریو بیان می‌کند که سطح زیر کشت هر محصول بین صفر تا بیست درصد سطح کل زیر کشت منطقه تغییر می‌کند. از آنجا که گندم محصول استراتژیک می‌باشد با ایجاد قید سطح زیر کشت این محصول بین ۴۰ تا ۶۰ درصد میزان فعلی حفظ می‌گردد.
- در شرایط فعلی بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به جو و کمترین سطح زیر کشت مربوط به یونجه می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۶۸۸ هکتار می‌باشد.
- در شرایط تغییر اقلیم با توجه به افزایش نیاز آبی گیاهان، حفظ سطح زیر کشت فعلی امکان‌پذیر نبوده و لازم است کل سطح زیر کشت منطقه ۲۰٪ کاهش یابد.

- با کاهش ۲۰ درصدی سطح زیر کشت کل منطقه می‌توان الگوی کشت را به گونه‌ای تغییر داد که ضمن کاهش آب مصرفی نسبت به شرایط فعلی سود کشاورز نیز افزایش یابد. بیشترین و کمترین سطح زیر کشت برای هریک از سناریوهای انتشار تغییر اقلیم بصورت زیر می‌باشد:
- ۱- در شرایط تغییر اقلیم در سناریو rcp8.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) تحت ریسک ۲۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول جو و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول یونجه می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۴۴۸ هکتار می‌باشد.
- ۲- در شرایط تغییر اقلیم در سناریو rcp8.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹) تحت ریسک ۲۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول جو و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول یونجه می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۳۳۲ هکتار می‌باشد.
- ۳- در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی RCP4.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) تحت ریسک ۲۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول پیاز و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول چغندر قند می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۴۶۳ هکتار می‌باشد.
- ۴- در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی RCP4.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹) تحت ریسک ۲۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول سورگم و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول یونجه می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۲۵۷ هکتار می‌باشد.
- ۵- در شرایط تغییر اقلیم در سناریو rcp8.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) تحت ریسک ۵۰٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول پیاز و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول گوجه‌فرنگی می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۸۰۵ هکتار می‌باشد.

- ۶- در شرایط تغییر اقلیم در سناریو rcp8.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹) تحت ریسک ۵۰٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول جو و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول چغندر قند می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۲۴۴ هکتار می‌باشد.
- ۷- در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی RCP4.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) تحت ریسک ۵۰٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول پیاز و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول یونجه می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۶۴۶ هکتار می‌باشد.
- ۸- در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی RCP4.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹) تحت ریسک ۵۰٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول پیاز و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول چغندر قند می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۴۶۷ هکتار می‌باشد.
- ۹- در شرایط تغییر اقلیم در سناریو rcp8.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) تحت ریسک ۷۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول پیاز و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول یونجه می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۴۷۳ هکتار می‌باشد.
- ۱۰- در شرایط تغییر اقلیم در سناریو rcp8.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰ تا ۲۰۶۹) تحت ریسک ۷۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول جو و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول هندوانه خوراکی می‌باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۲۷۸ هکتار می‌باشد.
- ۱۱- در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی RCP4.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹) تحت ریسک ۷۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول پیاز و

کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول چغندر قند می باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۵۹۳ هکتار می باشد.

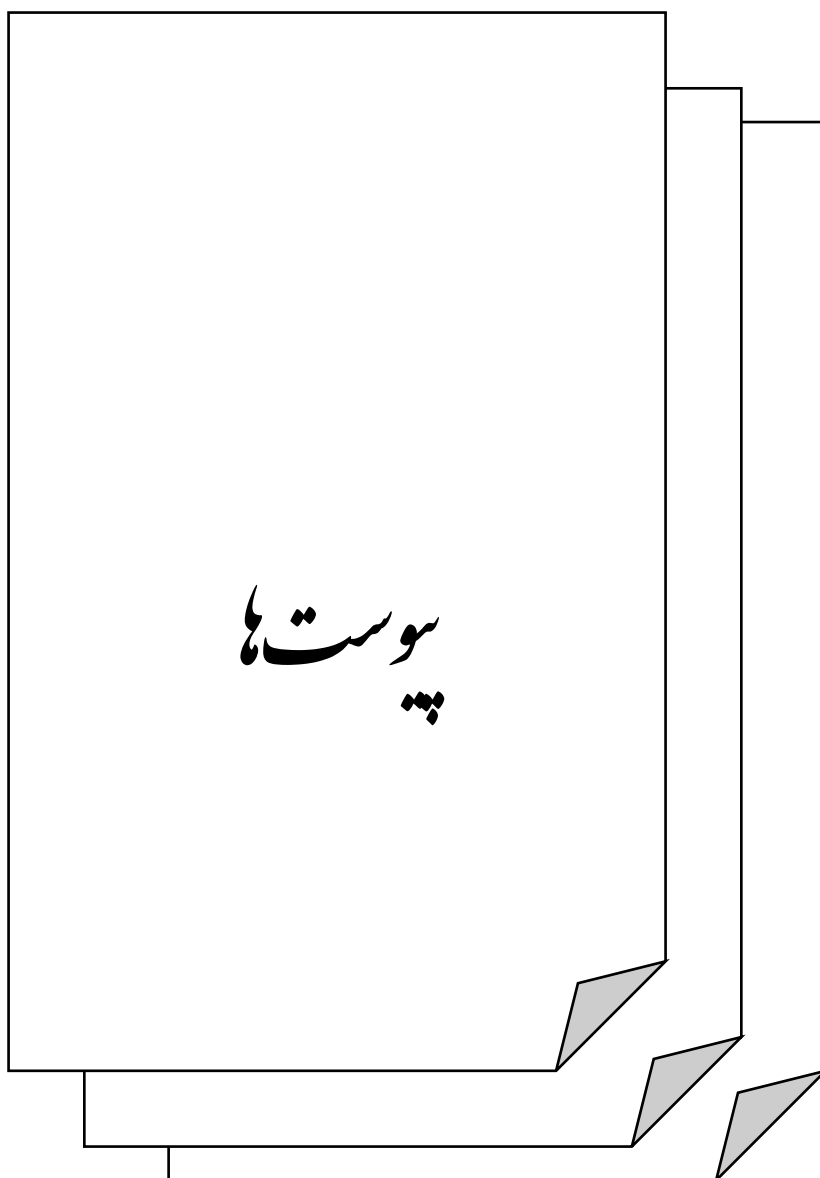
۱۲- در شرایط تغییر اقلیم در سناریوی RCP4.5 دوره آبی دوم (۲۰۴۰ تا

۲۰۶۹) تحت ریسک ۷۵٪ بیشترین سطح زیر کشت (بجز گندم) مربوط به محصول هندوانه آجیلی و کمترین سطح زیر کشت مربوط به محصول چغندر قند می باشد و سطح زیر کشت گندم در این سناریو برابر ۱۶۰۱ هکتار می باشد.

۵-۳- پیشنهادات

جهت انجام تحقیقات کامل تر پیشنهادات زیر ارائه می گردد:

- از سایر برنامه های هوشمند نظیر PSO جهت تعیین الگوی کشت بهینه استفاده گردد.
- از توابع هدف چندگانه مانند کمینه کردن کود مصرفی در تابع هدف استفاده گردد.
- در این تحقیق تنها محصولات زراعی مورد بررسی قرار گرفته است. پیشنهاد می گردد محصولات باغی به متغیرهای تصمیم اضافه گردد.



جدول (پ-۱) مقادیر میانگین دما (درجه سانتی گراد) برای ماههای مختلف و مدل های AOGCM تحت سناریوهای انتشار در دوره های آتی

دوره	سناریوی انتشار	ماه											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
اول	rcp4.5	1/28	1/25	1/15	1/34	1/59	1/71	1/89	1/92	1/87	1/76	1/31	1/39
	rcp8.5	1/29	1/46	1/59	1/55	1/75	1/95	2/20	2/29	2/19	1/98	1/66	1/52
دوم	rcp4.5	2/11	2/18	2/37	2/54	2/85	2/99	3/29	3/26	3/14	2/92	2/51	2/29
	rcp8.5	3/88	4/00	4/32	4/32	4/86	5/33	5/84	5/98	5/82	5/25	4/62	4/19

جدول (پ-۲) مقادیر میانگین بارش (میلی متر) برای ماههای مختلف و مدل های AOGCM تحت سناریوهای انتشار در دوره های آتی

دوره	سناریوی انتشار	ماه											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
اول	rcp4.5	1/0 7	1/0 5	1/0 5	0/9 9	0/9 7	1/0 4	1/0 9	1/1 1	0/9 5	1/1 2	1/1 2	1/0 3
	rcp8.5	1/0 6	1/0 6	1/0 3	0/9 6	0/9 4	0/9 2	1/0 5	1/1 4	0/9 1	1/0 5	1/1 1	1/0 8
دوم	rcp4.5	1/1 0	1/0 0	1/0 1	1/0 3	1/0 2	0/9 7	1/0 1	1/1 4	0/9 6	1/0 4	1/0 7	1/0 8
	rcp8.5	1/1 3	1/0 0	0/9 3	0/8 9	0/8 8	0/8 4	1/0 1	1/2 1	0/9 0	1/0 4	1/1 2	1/1 0

جدول (پ-۳) مقادیر Δp (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp4.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل	Δp rcp4.5 دوره اول											
	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	1/17	1/42	0/99	1/07	0/90	1/40	1/26	1/13	0/94	0/91	0/85	1/07
BNU-ESM	1/04	0/87	0/87	1/05	0/89	1/10	1/82	0/90	1/67	1/41	1/71	0/80
CanESM2	1/17	1/05	1/28	1/13	1/54	0/65	1/72	1/38	1/18	1/57	1/63	0/97
CESM1-BGC	1/00	0/97	1/16	0/96	0/75	0/95	0/49	0/67	1/25	1/15	1/26	1/02
CESM1-CAM5	1/12	0/97	1/02	1/07	1/39	0/69	0/93	0/96	0/59	1/45	1/71	1/10
CMCC-CM	0/99	0/97	1/02	0/93	0/87	0/90	0/45	0/66	0/72	1/80	1/05	1/35
CNRM-CM5	1/28	0/90	1/23	1/08	0/99	0/68	1/07	1/70	0/84	1/30	1/74	0/85
CSIRO-MK3-6-0	0/90	1/08	0/86	0/70	0/92	1/02	0/50	0/57	0/71	0/91	0/94	0/88
EC-EARTH	1/09	1/14	1/25	0/89	1/15	2/47	0/61	1/31	0/71	0/92	1/14	1/20
FGOALS-g2	0/98	0/99	1/17	0/87	0/96	1/23	1/61	1/07	1/01	1/13	1/16	1/00
FIO-ESM	1/29	0/93	0/94	0/76	0/81	1/09	0/94	2/17	1/02	1/02	0/92	0/88
GFDL-CM3	0/85	0/89	1/00	0/80	0/98	1/03	0/63	0/70	0/49	1/16	0/88	1/24
GISS-E2-R	1/33	1/06	1/11	1/01	0/85	1/12	0/95	0/67	1/09	1/49	1/20	0/91
HadGEM2-ES	1/01	1/17	0/87	0/79	1/19	1/42	0/60	1/09	0/74	0/72	1/28	1/00
inmcm4	1/01	1/15	1/13	0/82	0/77	0/83	1/23	1/71	0/87	0/90	1/06	1/03
IPSL-CM5A-MR	1/05	0/95	1/30	0/90	0/59	0/73	1/14	0/88	1/14	1/01	1/00	0/91
IPSL-CM5B-LR	1/20	1/00	0/94	1/09	0/85	0/72	1/28	0/71	0/49	0/79	0/61	0/87
MIROC5	1/00	1/20	1/09	1/53	1/33	0/84	1/46	1/28	1/33	1/04	1/06	1/16
MIROC-ESM-CHEM	0/83	0/88	0/81	1/02	0/83	1/31	0/64	2/16	1/34	1/47	1/25	0/95
NorESM1-M	0/78	1/17	0/90	1/09	1/14	0/62	0/70	1/19	1/45	0/81	0/96	1/29
BCC	1/05	1/03	1/21	0/93	0/52	1/34	1/76	0/76	0/83	0/79	0/62	1/02
ccsm4	1/16	1/52	0/96	1/00	1/11	0/98	2/90	1/28	0/77	0/79	0/97	0/98
ipsl-cm5a	1/04	0/83	0/94	0/77	1/24	1/27	1/17	0/74	0/72	0/80	0/96	1/10
mpi-esm	1/02	1/15	0/94	0/92	0/64	0/61	0/63	0/70	0/96	1/27	0/92	1/05
mri-cgcm3	1/45	1/05	1/22	1/54	1/06	1/12	0/89	1/26	0/81	1/42	1/18	1/20

جدول (پ-4) مقادیر Δp (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp4.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل	دوره دوم											
	rnp4.5											
مدل	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	1/44	1/25	1/15	1/04	0/97	1/97	1/20	0/88	1/06	0/93	1/05	1/32
BNU-ESM	0/94	0/94	0/89	1/06	0/80	1/32	1/70	2/38	1/44	1/10	1/17	0/87
CanESM2	1/24	1/08	1/37	0/93	1/27	0/76	2/43	1/12	1/18	1/62	1/54	1/22
CESM1-BGC	1/04	0/98	1/02	0/83	0/61	0/62	1/17	2/30	1/06	0/85	1/26	0/96
CESM1-CAM5	0/92	1/03	0/96	1/12	1/55	0/98	0/92	0/69	1/04	1/03	1/11	1/19
CMCC-CM	1/13	1/22	0/97	0/81	0/93	0/68	0/22	0/46	0/90	1/65	1/26	1/25
CNRM-CM5	1/17	1/03	1/09	1/10	0/89	0/51	0/74	1/65	1/55	1/94	1/76	0/94
CSIRO-MK3-6-0	1/26	1/35	1/09	0/95	0/96	1/31	0/46	0/45	0/61	0/69	1/34	1/24
EC-EARTH	1/27	0/93	1/00	0/90	1/04	1/96	1/34	1/48	1/15	1/54	1/41	1/31
FGOALS-g2	0/87	0/62	0/97	0/84	0/74	0/61	1/38	1/86	0/96	0/82	0/97	0/92
FIO-ESM	0/92	0/75	0/91	0/48	0/64	0/96	0/69	0/62	0/47	0/76	0/98	0/98
GFDL-CM3	1/05	1/01	1/00	0/92	0/88	0/63	0/51	0/36	0/29	0/65	0/84	1/26
GISS-E2-R	1/12	1/54	0/90	1/19	0/78	1/09	0/59	0/57	1/23	1/45	1/14	1/32
HadGEM2-ES	1/19	1/45	1/31	1/09	1/28	0/65	0/45	1/55	0/89	0/73	1/11	0/84
inmcm4	0/85	1/01	0/76	0/94	0/98	0/58	1/37	0/98	0/78	0/98	0/84	1/21
IPSL-CM5A-MR	1/07	0/59	1/06	0/87	0/54	0/64	0/45	0/71	1/05	0/82	0/99	1/06
IPSL-CM5B-LR	1/15	1/07	1/24	0/95	1/30	0/76	1/26	0/58	0/51	0/77	0/57	1/16
MIROC5	1/04	1/19	1/01	1/28	0/97	0/74	0/64	1/36	1/15	0/89	1/28	0/93
MIROC-ESM-CHEM	0/74	0/64	0/80	0/66	0/56	1/06	0/80	2/02	1/04	1/77	1/33	0/66
NorESM1-M	0/92	1/13	0/94	1/10	1/35	0/41	1/05	0/91	0/53	0/59	0/63	0/99
BCC	0/88	1/02	0/98	0/89	0/78	1/26	1/42	0/87	0/63	0/70	0/77	0/88
ccsm4	1/15	1/43	1/07	0/98	0/91	0/92	2/60	1/17	0/56	1/19	0/84	1/12
ipsl-cm5a	0/85	0/94	1/00	0/78	0/86	0/84	0/69	1/16	0/94	0/76	1/22	0/96
mpi-esm	0/86	1/01	0/95	1/03	1/17	0/59	0/65	0/90	0/70	1/15	1/03	0/98
mri-cgcm3	1/35	1/23	1/18	1/20	0/86	1/16	1/48	1/52	1/04	0/84	1/23	1/52

جدول (پ-5) مقادیر Δp (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp8.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل	دوره اول											
	rcp8.5 Δp											
مدل	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	1/40	1/21	1/32	1/04	0/98	1/43	0/85	1/28	1/52	0/92	1/01	1/36
BNU-ESM	0/81	0/82	0/87	1/00	0/76	0/96	1/54	1/20	1/74	1/07	1/25	0/93
CanESM2	1/28	1/07	1/24	1/02	1/67	0/98	2/03	2/08	1/31	1/41	1/53	1/07
CESM1-BGC	1/37	1/31	1/18	1/17	0/75	0/48	0/85	1/07	1/15	1/15	0/83	1/02
CESM1-CAM5	1/20	1/03	1/08	1/12	1/56	0/93	1/18	1/13	0/68	1/21	1/38	1/30
CMCC-CM	1/13	0/73	0/98	1/00	1/14	1/16	0/52	0/76	0/77	1/30	1/25	1/24
CNRM-CM5	1/31	0/68	0/98	0/85	0/80	0/66	1/33	1/37	0/88	1/57	1/14	1/01
CSIRO-MK3-6-0	0/92	1/13	0/82	0/94	0/86	0/71	0/60	0/90	0/66	0/92	1/59	1/27
EC-EARTH	1/31	1/24	1/13	1/27	1/38	1/49	0/86	0/82	0/65	0/94	1/24	0/96
FGOALS-g2	1/03	1/07	0/93	0/90	0/95	1/33	1/15	1/46	0/89	1/00	0/86	0/92
FIO-ESM	1/11	0/82	0/97	0/90	1/09	1/02	0/91	1/07	0/72	0/84	0/91	0/96
GFDL-CM3	0/98	0/91	0/87	0/74	1/06	1/09	0/78	0/53	0/51	0/80	0/89	1/30
GISS-E2-R	1/31	1/19	1/04	1/31	1/24	1/35	0/63	0/81	0/77	1/03	1/25	1/22
HadGEM2-ES	1/12	0/97	1/08	0/87	1/33	1/30	0/28	1/02	0/74	0/57	1/24	0/93
inmcm4	0/90	0/96	0/90	0/98	0/78	1/06	1/10	1/41	0/75	1/20	0/97	1/04
IPSL-CM5A-MR	1/17	0/82	1/26	0/78	0/87	0/68	0/91	0/96	1/18	0/77	0/69	0/71
IPSL-CM5B-LR	1/00	0/83	0/94	1/04	0/65	0/75	0/70	0/93	0/33	0/63	0/50	0/90
MIROC5	1/15	1/12	0/97	1/74	1/68	0/88	1/16	1/46	1/77	1/58	1/24	1/17
MIROC-ESM-CHEM	0/69	0/73	0/75	0/80	0/49	0/86	1/39	1/96	1/49	1/09	1/32	0/87
NorESM1-M	0/97	1/18	0/88	1/09	0/87	0/64	0/83	1/15	0/86	0/71	1/17	1/35
BCC	0/77	0/89	1/00	1/01	0/88	1/34	1/41	0/86	1/24	0/73	0/80	1/27
ccsm4	1/22	1/11	1/13	1/15	0/80	0/56	2/39	1/09	1/21	0/99	0/78	1/06
ipsl-cm5a	0/95	0/96	1/08	0/63	0/76	1/10	0/39	0/77	0/64	1/03	0/90	0/91
mpi-esm	0/91	0/92	0/87	0/89	0/96	0/59	0/65	0/92	0/70	1/41	1/11	1/01
mri-cgcm3	1/50	1/26	1/04	1/41	1/14	0/94	0/84	1/54	0/93	1/05	0/98	1/16
میانگین	1/10	1/00	1/01	1/03	1/02	0/97	1/01	1/14	0/96	1/04	1/07	1/08

جدول (پ-6) مقادیر Δp (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp8.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل	Δp											
	rcp8.5											
	دوره دوم											
	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	1/66	1/88	1/28	1/24	1/23	2/38	1/05	0/95	1/17	1/02	1/02	1/50
BNU-ESM	0/89	0/63	0/78	0/81	0/60	0/77	2/21	2/61	2/23	1/16	1/36	0/73
CanESM2	1/40	0/84	1/03	1/10	1/71	1/02	1/99	2/19	1/76	2/12	1/86	1/24
CESM1-BGC	1/17	1/02	0/88	0/70	0/68	0/66	0/52	1/58	0/88	1/10	0/91	0/99
CESM1-CAM5	1/08	0/96	1/09	1/12	1/42	0/95	0/70	0/76	0/71	1/08	1/67	1/02
CMCC-CM	1/30	1/01	0/93	0/84	0/97	0/19	0/14	0/21	0/32	1/14	1/26	1/45
CNRM-CM5	1/49	0/92	1/16	1/26	0/87	0/54	1/30	1/72	1/39	1/22	1/77	1/32
CSIRO-MK3-6-0	1/21	1/19	0/91	0/75	0/42	1/05	0/18	0/24	0/38	0/68	1/25	1/25
EC-EARTH	1/44	0/89	1/00	0/67	0/90	2/22	0/85	0/68	0/85	1/30	1/22	1/20
FGOALS-g2	0/72	0/54	0/93	0/67	0/62	0/73	2/21	2/33	1/38	0/81	1/09	0/65
FIO-ESM	0/81	0/61	0/74	0/66	0/56	0/59	0/90	0/94	0/41	0/94	0/86	0/87
GFDL-CM3	1/02	0/54	0/89	0/77	1/53	0/74	0/24	0/12	0/21	0/78	0/86	1/17
GISS-E2-R	1/28	1/77	1/15	0/97	1/03	1/08	0/73	0/76	0/57	0/93	1/42	1/23
HadGEM2-ES	1/22	1/02	0/96	1/11	0/80	0/78	0/28	1/20	0/75	0/79	1/35	1/19
inmcm4	0/76	0/89	0/82	0/68	0/76	1/02	1/08	1/43	1/27	1/33	0/86	1/24
IPSL-CM5A-MR	0/93	0/63	0/78	0/84	0/73	0/38	0/70	0/82	0/81	0/47	0/81	0/85
IPSL-CM5B-LR	1/16	0/67	0/94	0/85	0/97	0/75	0/68	0/36	0/11	0/58	0/49	1/12
MIROC5	1/13	1/22	1/14	1/39	1/26	0/42	1/08	1/90	1/17	2/26	1/25	1/04
MIROC-ESM-CHEM	0/75	0/83	0/70	0/62	0/75	0/61	1/33	2/98	1/57	1/60	1/24	0/97
NorESM1-M	0/85	1/25	0/92	0/85	0/92	0/46	1/23	1/76	0/94	0/60	0/64	0/97
BCC	1/13	1/03	0/94	0/84	0/59	0/91	1/71	0/85	0/83	0/51	0/83	0/97
ccsm4	1/14	1/17	0/87	0/79	0/68	0/96	2/14	1/58	1/02	0/92	0/72	0/87
ipsl-cm5a	0/89	1/04	0/93	0/64	0/44	0/46	0/48	0/55	0/77	0/66	0/62	1/04
mpi-esm	1/03	0/96	0/68	0/93	0/59	0/43	0/37	0/12	0/48	0/97	1/06	0/98
mri-cgcm3	1/90	1/41	0/85	1/15	1/08	0/98	1/09	1/67	0/50	1/02	1/54	1/63

جدول (پ-7) مقادیر ΔT (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp4.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل	ΔT rcp4.5 دوره اول											
	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	1/96	0/55	0/64	1/54	2/43	1/80	2/25	2/25	1/50	2/45	0/62	1/54
BNU-ESM	1/12	1/26	1/53	1/50	2/41	2/49	2/32	1/28	2/38	1/42	0/17	0/89
CanESM2	1/94	1/19	1/68	1/57	2/23	2/21	2/70	3/23	3/19	2/57	1/94	1/23
CESM1-BGC	0/95	0/80	0/40	0/98	1/54	1/31	1/79	1/16	1/50	1/64	1/38	0/70
CESM1-CAM5	1/04	1/27	1/68	1/24	1/09	2/20	1/70	2/00	1/66	1/71	1/07	1/79
CMCC-CM	1/52	2/98	1/59	1/60	1/96	1/51	2/37	2/86	1/94	1/84	0/91	2/23
CNRM-CM5	1/60	2/33	1/59	1/63	1/79	2/07	1/27	1/54	2/03	1/38	1/13	1/75
CSIRO-MK3-6-0	0/66	1/03	0/80	1/49	1/57	1/75	2/12	2/23	1/59	1/31	0/99	1/23
EC-EARTH	1/63	2/06	0/46	0/97	1/56	0/71	0/76	0/81	0/97	0/93	1/87	0/78
FGOALS-g2	1/65	0/71	0/40	1/72	1/60	1/71	1/63	2/05	1/75	1/20	0/93	1/03
FIO-ESM	-0/07	0/22	0/05	1/01	1/11	0/95	1/31	0/64	0/52	1/18	0/18	0/04
GFDL-CM3	1/77	1/43	1/36	2/62	2/29	2/54	3/40	3/83	3/44	2/15	2/26	2/43
GISS-E2-R	2/03	1/34	1/47	1/12	1/10	1/09	0/90	1/45	1/70	1/89	0/56	1/91
HadGEM2-ES	2/30	2/28	1/86	1/39	1/89	2/22	2/78	2/22	2/45	2/10	1/92	1/92
inmcm4	-0/19	-0/43	0/20	0/39	0/71	0/95	0/62	0/73	0/37	0/07	1/08	1/21
IPSL-CM5A-MR	1/85	2/27	1/31	1/12	1/78	1/79	1/80	2/37	2/35	2/45	1/55	2/39
IPSL-CM5B-LR	1/54	1/69	0/97	0/73	0/86	1/67	1/82	2/08	2/04	2/41	2/12	1/91
MIROC5	1/37	1/34	1/56	1/63	1/46	1/57	1/75	2/36	1/99	1/93	1/17	1/35
MIROC-ESM-CHEM	0/39	0/60	1/84	1/47	1/72	1/76	2/88	2/25	2/33	2/32	1/72	0/96
NorESM1-M	1/13	0/37	1/41	1/36	1/58	2/10	2/36	2/00	1/80	1/81	2/11	1/18
BCC	1/03	1/26	0/32	1/03	2/40	1/50	1/81	1/25	1/82	1/22	1/28	1/28
ccsm4	1/29	1/13	1/28	1/12	1/42	2/17	1/74	1/83	1/94	2/22	0/96	1/23
ipsl-cm5a	0/57	1/16	1/33	1/99	1/34	1/70	1/54	2/41	1/91	2/90	2/44	0/92
mpi-esm	1/72	1/22	1/54	1/48	1/85	2/04	2/21	2/26	2/01	1/92	1/50	1/66
mri-cgcm3	1/19	1/14	1/50	0/73	0/04	1/00	1/43	0/92	1/67	0/96	0/94	1/12

جدول (پ-8) مقادیر ΔT (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp8.5 دوره آتی اول (۲۰۱۰-۲۰۳۹)

مدل	دوره اول											
	rcep8.5 ΔT											
	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	0/99	1/01	2/09	1/37	2/30	2/42	2/52	2/57	1/89	2/37	1/49	0/76
BNU-ESM	1/61	1/42	2/16	2/22	2/59	2/67	2/89	2/28	3/05	2/11	0/73	1/38
CanESM2	1/56	2/06	2/34	2/13	1/97	2/31	3/14	3/73	3/79	3/25	1/91	1/31
CESM1-BGC	0/97	0/71	-0/06	0/94	1/52	1/49	1/74	1/84	1/71	1/83	1/87	1/87
CESM1-CAM5	1/32	1/20	1/25	0/80	1/01	2/40	1/46	1/79	1/51	2/00	1/60	1/29
CMCC-CM	1/44	3/01	2/01	2/10	2/21	1/80	2/52	3/20	2/05	2/18	1/91	1/99
CNRM-CM5	0/99	1/51	1/08	1/64	2/02	2/08	1/25	1/49	2/23	1/27	1/23	1/75
CSIRO-MK3-6-0	0/55	1/11	1/39	1/85	1/59	2/07	2/16	2/69	1/63	2/15	0/92	0/77
EC-EARTH	1/99	1/60	1/61	0/83	1/23	0/57	1/23	1/49	1/79	1/65	1/83	1/39
FGOALS-g2	1/22	1/32	2/33	2/26	2/09	2/04	2/05	2/05	2/18	1/82	1/59	1/72
FIO-ESM	0/88	1/25	-0/07	0/88	0/84	0/91	1/61	1/25	0/72	1/03	0/92	0/43
GFDL-CM3	2/01	2/59	2/71	3/32	2/35	3/14	4/06	4/01	3/88	2/05	1/97	2/62
GISS-E2-R	1/87	1/58	1/54	0/63	1/28	1/14	1/52	1/41	1/69	2/42	1/32	1/64
HadGEM2-ES	2/09	2/41	1/31	1/84	1/67	2/75	3/64	3/16	2/83	2/56	2/42	2/11
inmcm4	0/09	-0/32	1/07	1/04	1/05	1/42	1/17	1/51	1/09	1/02	0/67	1/21
IPSL-CM5A-MR	1/73	2/07	1/39	1/82	1/90	1/89	1/95	2/63	2/99	2/10	1/76	3/10
IPSL-CM5B-LR	1/14	1/85	1/94	1/29	1/59	2/17	2/28	2/13	2/26	2/72	2/47	1/89
MIROC5	1/98	1/44	1/33	1/22	1/43	1/98	2/20	2/79	2/02	1/49	1/44	1/74
MIROC-ESM-CHEM	1/00	1/05	1/83	2/20	2/68	2/43	2/69	2/41	2/71	2/61	2/41	1/58
NorESM1-M	0/76	0/80	1/84	0/86	1/68	1/58	2/48	2/24	1/97	1/92	1/82	1/31
BCC	1/26	1/21	1/44	0/84	1/96	1/71	2/42	1/44	2/21	1/23	1/32	1/19
ccsm4	0/73	1/43	1/60	1/54	1/60	2/50	1/81	1/87	2/09	2/17	1/94	0/71
ipsl-cm5a	1/34	1/17	1/40	2/34	2/51	2/31	2/23	3/14	2/61	2/58	2/61	1/58
mpi-esm	1/56	1/19	1/98	2/03	2/27	2/22	2/76	2/66	2/17	1/59	1/79	1/57
mri-cgcm3	1/15	1/93	2/21	0/86	0/46	0/87	1/31	1/42	1/59	1/46	1/47	0/99

جدول (پ-9) مقادیر ΔT (میلی متر) برای ماه‌های مختلف و مدل‌های AOGCM تحت سناریو انتشار rcp8.5 دوره آتی دوم (۲۰۴۰-۲۰۶۹)

مدل	دوره دوم rcp8.5 ΔT											
	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
ACCESS1-3	4/61	3/94	4/31	4/80	4/66	5/07	6/34	5/90	5/84	5/51	5/21	3/59
BNU-ESM	3/68	4/06	4/45	4/62	6/51	6/81	7/38	6/77	6/94	5/35	4/05	3/67
CanESM2	5/41	4/52	5/46	5/33	5/34	6/32	7/66	8/44	8/45	6/21	5/67	5/13
CESM1-BGC	3/38	3/16	3/01	3/95	4/80	4/95	5/46	4/92	5/02	4/55	4/48	4/21
CESM1-CAM5	2/23	2/71	2/39	1/40	2/68	3/19	3/01	2/70	2/49	3/06	2/05	2/55
CMCC-CM	4/52	5/70	4/68	4/56	5/59	5/88	7/27	7/47	6/38	5/38	4/98	5/70
CNRM-CM5	3/45	4/56	4/62	3/63	4/84	5/08	4/07	4/89	5/74	5/46	4/14	4/75
CSIRO-MK3-6-0	2/91	3/42	3/94	4/21	5/59	6/28	6/21	6/44	5/65	5/74	4/05	3/81
EC-EARTH	4/55	4/64	4/84	4/65	4/54	3/67	4/72	5/07	4/56	4/29	4/55	4/28
FGOALS-g2	2/74	4/43	4/54	5/09	5/35	5/55	5/81	5/68	5/48	4/69	4/14	3/97
FIO-ESM	2/15	2/66	2/32	3/05	3/03	3/74	3/89	3/91	4/00	3/84	2/85	1/51
GFDL-CM3	4/70	4/91	4/96	6/45	5/60	7/46	8/50	9/54	8/71	6/83	5/99	5/28
GISS-E2-R	3/64	3/08	2/86	2/71	3/45	3/53	3/43	3/21	3/92	4/19	2/79	3/45
HadGEM2-ES	6/06	6/12	5/04	4/54	5/55	6/79	7/77	6/97	6/83	6/49	5/91	5/09
inmcm4	2/24	2/16	3/63	2/81	3/12	3/92	4/24	4/95	4/60	3/85	3/61	4/00
IPSL-CM5A-MR	4/96	5/51	5/94	5/21	6/21	6/55	6/62	7/51	7/92	7/06	5/74	6/29
IPSL-CM5B-LR	3/80	4/16	4/50	4/01	3/87	5/02	5/64	6/16	5/68	6/43	5/93	4/34
MIROC5	4/30	3/38	4/39	4/34	4/64	5/73	5/90	5/90	5/57	4/31	3/49	4/08
MIROC-ESM-CHEM	3/73	3/19	4/22	5/35	6/46	6/66	7/33	6/85	7/17	6/79	5/89	4/16
NorESM1-M	3/93	3/39	4/04	3/92	4/79	5/12	6/21	6/13	5/55	4/41	4/83	3/92
BCC	3/30	3/14	4/12	4/28	5/26	4/76	5/51	5/70	5/43	4/79	4/37	3/60
ccsm4	3/97	4/01	4/39	4/37	4/61	5/10	4/99	5/55	5/19	5/07	4/95	3/82
ipsl-cm5a	4/41	4/40	4/89	5/74	6/09	6/64	6/72	7/55	7/61	6/95	6/62	4/63
mpi-esm	4/09	3/44	4/35	4/63	4/94	5/46	6/46	6/50	5/90	5/32	4/62	4/87
mri-cgcm3	4/33	5/36	6/09	4/26	4/02	3/95	4/82	4/71	4/90	4/66	4/48	3/97

منابع و مأخذ

۱. اسدی ر و یزدان پناه ن. ۱۳۹۱. تعیین الگوی بهینه کشت در سیستم آبیاری قطره ای با استفاده از بهره وری اقتصادی آب کاربردی در شهرستان ازروئیه. مجله پژوهش آب ایران، سال ششم، شماره ۱۱، ص ۵۵-۶۳.
۲. اسعدی مهربانی م، بنی حبیب م و روز بهانی ع. ۱۳۹۷. مدل برنامه ریزی خطی فازی برای بهینه سازی الگوی کشت در حوضه زرينه رود. تحقیقات منابع آب ایران. سال چهاردهم. شماره ۱
۳. آبابایی ب، سهراب ت، میرزایی ف، رضاوردی نژاد و و کریمی ب. ۱۳۸۹. اثر تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و تحلیل ریسک ناشی از آن (مطالعه موردی: منطقه روددشت اصفهان)، مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۰/۱ شماره ۳.
۴. باولی م، عادل ک، محمدیان ف و دل انگیزان س. ۱۳۹۳. تعیین الگوی بهینه کشت در راستای توسعه پایدار کشاورزی، مطالعه موردی: دشت ماهیدشت. اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۳، شماره ۹۰، ص ۲۱۶-۱۹۱.
۵. بوستانی ف، محمدی ح و میر ب. ۱۳۹۰. تاثیر کم آبیاری بر گزینش الگوی کشت بهینه ی فرآورده های کشاورزی در شرایط بحران آب: مورد استان فارس، مجله مهندسی منابع آب، سال چهارم، ص ۶۳-۷۴.
۶. بهرامی نسب م، دور اندیش آ و کهنسال م. ۱۳۹۳. کاربرد برنامه ریزی با رهیافت بازه ای در تعیین الگوی بهینه کشت شهرستان اسفراین. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۱، ص ۹۱-۸۳.
۷. بهمنش ج، آزاد طلائی ن، منتصری م و رضایی ح. ۱۳۹۳. اثر تغییر اقلیم بر تبخیر- تعرق مرجع، کمبود بارندگی و کمبود فشار بخار هوا در ارومیه. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۲، ص ۷۹-۹۱.
۸. پرهیزکاری ا، محمودی ا و شوکت فدایی م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب در دسترس و تولیدات کشاورزی در حوضه آبخیز شاهرود. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۹، شماره ۱، ص ۵۰-۲۳.
۹. پرهیزکاری ا، مظفری م و خدادادی ح. ۱۳۹۴. بهینه سازی الگوی کشت در جهت حفظ و پایداری محیط زیست در منطقه الموت غربی (رهیافتی از برنامه ریزی آرمانی اولییتی). محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۸، شماره ۳، ص ۳۸۵-۳۷۳.
۱۰. پژوهنده ا. ۱۳۹۰. تعیین الگوی بهینه کشت در شرکت دشت ناز ساری با اهداف چند گانه پژوهش های ترویج و آموزش کشاورزی، سال ۴، شماره ۱، ص ۹۶-۸۳.

۱۱. جعفرزاده، ا. خاشعی سیوکی ع و شهیدی ح. ۱۳۹۵. طراحی یک مدل تصمیم گیری چندهدفه به منظور تعیین الگوی کشت بهینه تحت تاثیر پدیده تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت بیرجند)، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۴، ص ۸۴۹-۸۵۹.
۱۲. جولایی ر، میر کریمی ش، حسنونند م و شیرانی بید آبادی ف. ۱۳۹۴. مدیریت الگوی بهینه کشت محصولات زراعی استان مازندران با بهره گیری از الگوی آرمانی. اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۴، شماره ۹۴، ص ۹۴-۷۱.
۱۳. حجازی زاده ز، سلیقه م و کمالی ص. ۱۳۹۶. آشکار سازی تغییر اقلیم منطقه خلیج فارس با استفاده از داده های خروجی مدل CGCM. A1B. فصل نامه جغرافیای طبیعی، سال ۹، شماره ۳۴، ۲۳-۱.
۱۴. حسینی آ، مهرگان ن و ابراهیمی م. ۱۳۹۵. تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی با تاکید بر بیشینه کردن منافع اجتماعی و واردات خالص آب مجازی (مطالعه موردی دشت بهار همدان). تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۸، شماره ۳، ص ۱۴۴-۱۲۳.
۱۵. خورانی ا و منجذب مرودشتی ش. ۱۳۹۳. بررسی آثار اقلیم بر میزان بازدید از جزیره هنگام. پژوهش های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۱، ص ۱۲۲-۱۰۹.
۱۶. دشتی ق و قادری نژاد پ. ۱۳۹۲. الگوی بهینه کشت محصولات زراعی با در نظر گرفتن مزیت نسبی در استان ایلام. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۳، ص ۲۰۳-۱۹۵.
۱۷. دلقدی م.، (۱۳۹۱)، رساله دکتری: "ارزیابی اثرات ریسک تغییر اقلیم بر عملکرد گندم و ارلئه راهکارهای سازگاری با آن (مطالعه موردی: جنوب دشت خوزستان)"، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۸. رستگاری پور ف، علوی م و کرباسی ع. ۱۳۹۴. کاربرد برنامه ریزی چند هدفی در تعیین الگوی بهینه کشت در بخش مرکزی شهرستان تربت حیدریه. فصلنامه راهبردهای توسعه روستایی. جلد ۲، شماره ۳، ص ۲۷۹-۲۵۹.
۱۹. روستایی م، سهرابی ت، مساح بوانی ع و احدی م. بررسی عملکرد و بهره وری آب گیاه ذرت در سطوح مختلف ریسک تحت تاثیر اقلیم در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۶، شماره ۲، ص ۳۷۱-۳۶۱.
۲۰. زهرایی، ب. حسینی، س، م. (۱۳۹۳). " الگوریتم ژنتیک و بهینه سازی مهندسی " چاپ دوم، انتشارات گوتنبرگ. تعداد صفحه ۲۹۸.
۲۱. سخدری ح و صبوچی م. ۱۳۹۱. کاربرد برنامه ریزی فرا آرمانی در تعیین الگوی بهینه کشت محصولات کشاورزی، مطالعه موردی: شهرستان نیشابور. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۳، ص ۱۵۸-۱۵۰.

۲۲. سکوتی اسکوئی ر، نیک کامی د و بروشکه ا. ۱۳۹۴. بهینه سازی الگوی کشت به منظور کاهش فرسایش خاک (مطالعه موردی: آبخیز قوشچی)، سال نهم، شماره ۳۱، ص ۵۹-۶۸.
۲۳. شعبانی م.ک، هنر ت و زیبایی م. ۱۳۸۷. مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۲، شماره ۴۴.
۲۴. شعبانی م.ک، هنر ت. ۱۳۸۷. تعیین الگوی بهینه کشت در کانال های آبیاری با استفاده از مدل IPM، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲.
۲۵. عرفانی فر ص، زیبایی م و کسرای م. ۱۳۹۲. کاربرد برنامه ریزی چند هدفه آرمانی- فازی در بهینه سازی الگوی کشت با تاکید بر استفاده از ارزش های خاک ورزی حفاظتی. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، ص ۱۱۸-۱۲۴.
۲۶. علیزاده ا، مجیدی ن، قربانی م و محمدیان ف. ۱۳۹۱. بهینه سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد-چناران)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۶، ص ۵۵-۶۸.
۲۷. علیزاده ا، مجیدی ن، قربانی م و محمدیان ف. ۱۳۹۱. بهینه سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد-چناران)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۶، ص ۵۵-۶۸.
۲۸. غریب دوست م، قربانی م و حسینی زاده ع. ۱۳۹۴. تاثیر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه آبریز صوفی چای. علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۴۰، شماره ۲، ص ۸۹-۱۰۱.
۲۹. فتوکیان م، صفاری ن و ضرغامی م. ۱۳۹۶. مدل سازی پویای سیستم سد مخزنی یا مچی با اعمال الگوی بهینه کشت جهت تدوین سیاست بهره برداری. سال سیزدهم، شماره ۳، ص ۱۶-۱.
۳۰. فرهنگ فر س، بنایان م، خزاعی ح و موسوی بایگی. ۱۳۹۵. بررسی تولید کلزا در شرایط خشکی و تغییر اقلیم. نشریه پژوهش های زراعی ایران. جلد ۱۵، شماره ۲، ص ۳۶۷-۳۵۵.
۳۱. فلاحی ا، خلیلیان ص و احمدیان م. ۱۳۹۲. بهینه ساز یالگوی کشت با تاکید بر محدودیت منابع آب. مطالعه موردی: دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت. تحقیقات اقتصاد کشاورزی. جلد ۵، شماره ۲، ص ۹۷-۱۱۵.
۳۲. فلسفی زاده ن و صبوحی صابونی م. ۱۳۹۱. بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان شیراز). نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۴، ص ۲۸۶-۲۷۲.

۳۳. کریم زاده م، علیزاده ا، انصاری ح، قربانی م و بنایان اول م. ۱۳۹۵. بهینه سازی بهره وری آب و کارایی انرژی در انتخاب الگوی کشت. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۶، جلد ۱۰، ص ۸۵۹-۸۴۹.
۳۴. مجیدی ن، علیزاده ا و قربانی م. ۱۳۹۰. تعیین الگوی کشت بهینه همسو با مدیریت منابع آب. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۴، ص ۷۷۶-۷۸۵.
۳۵. محمدی ح، بوستانی ف و کفیل زاده ف. ۱۳۹۰. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی چندهدفه غیر خطی فازی: مطالعه موردی، آب و فاضلاب، شماره ۴، ص ۵۵-۴۳.
۳۶. محمدی ح، بوستانی ف و کفیل زاده ف. ۱۳۹۱. تعیین الگوی کشت بهینه با استفاده از الگوریتم بهینه سازی چندهدفه غیر خطی فازی: مطالعه موردی، آب و فاضلاب، شماره ۴، ص ۵۵-۴۳.
۳۷. مردانی م، بابایی م، صبوحی م و آسمانی ا. ۱۳۹۱. تعیین الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه ریزی آرمانی فازی مطالعه موردی: استان خراسان رضوی. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، سال دهم، شماره اول، ص ۶۷-۷۷.
۳۸. مروت ع، ابراهیمی ح و بخش کلا رستاقی ک. ۱۳۹۲. ارزیابی شرایط تغییر اقلیم و اثر آن بر روی تقویم زراعی کشت گندم در مشهد. یافته های نوین کشاورزی، سال ۷، شماره ۴، ص ۳۵۴-۳۳۹.
۳۹. مقدسی م، مرید س و عراقی نژاد ش. ۱۳۸۷. بهینه سازی تخصیص آب در شرایط کم آبی با استفاده از روش های برنامه ریزی غیر خطی، هوش جمعی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی)، تحقیقات منابع آب ایران، سال ۴، شماره ۳.
۴۰. موسوی ن و اکبری م. ۱۳۹۳. بررسی الگوی کشت بهینه و تاثیر آن بر مدیریت منابع آبی مطالعه ی موردی مرودشت- کربال، مجله مهندسی منابع آب، سال ۷، ص ۱۰۹-۱۰۱.
۴۱. مومنی س و زیبایی م. ۱۳۹۱. اثرات بالقوه ی تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس. نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۳، ص ۱۷۹-۱۶۹.
۴۲. میرزایی ش، ذاکری نیا م، شریفان ح و شهابی فر م. ۱۳۹۴. تعیین الگوی کشت بهینه با روش بیشینه-کمینه (MMAS) سیستم مورچگان (مطالعه موردی: شبکه آبیاری و زهکشی سد گلستان)، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۹، ص ۷۴-۶۶.
۴۳. میرزایی ع، لیانی ق، آزر م ح و جمشیدی س. ۱۳۹۶. تعیین الگوی کشت بهینه بخش مرکزی شهرستان سیرجان با توجه به پایداری منابع آب و محیط زیست. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۹، شماره ۴، ص ۳۰۴-۲۸۳.
۴۴. مصطفی کیا، س. (۱۳۹۱). "الگوریتم های ژنتیک در MATLAB" چاپ سوم، انتشارات دانشگاهی کیان (کیان رایانه سبز)، تعداد صفحه ۱۹۲.

۴۵. نادری مهدی ک، معتقد م، شهبازی گیگاسری ح و عبدی ا. ۱۳۹۳. بررسی الگوی کشت بهینه در شهرستان بهار. فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران. سال ۳، شماره ۱۲، ص ۱۸۲-۱۶۵.

۴۶. نخعی م، هاشمی ر، خاشعی سیوکی ع و احمدی م. ۱۳۹۴. بهینه سازی الگوی کشت با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و برنامه ریزی خطی (مطالعه موردی: دشت بیرجند). ص ۱۲۴-۱۱۵.

۴۷. نوذری ح و محسنی و. ۱۳۹۴. کاربرد روش پویایی سیستم در شبیه سازی الگوی کشت شبکه آبیاری و زهکشی سمت راست آبشار اصفهان، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۳، ص ۴۶۵-۴۷۴.

۴۸. هاتف ح، سروری ع و دانشور کاخکی م. ۱۳۹۵. تعیین الگوی بهینه کشت محصولات عمده زراعی استان خراسان رضوی بر اساس مزیت نسبی تولید. تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۸، شماره ۳، ص ۱۹۲-۱۶۷.

49. Frenken K and Gillet V., (2012). Irrigation water requirement and water withdrawal by Country, AQUASTAT, [http:// www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/index.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/water_use_agr/index.stm).
50. **FAO**, (2007), Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities. Interdepartmental Working Group On Climate Change. Rome. Available on: <http://www.fao.org>.
51. Goldeberg, D. E. & C. H. Kuo, 1993, Genetic algorithm in pipeline optimization, J. Comp. Civ. Engrg., Vol. 1(2): 128-141.
52. Holland, J. H. (1992). "Genetic Algorithms". *j. of. Scientific American*, pp. 66-72.
53. **IPCC- TGCIA. (1999):** "Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment". eds. Carter, T.R., Hulme, M. and Lal, M., Version 1, 69pp. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment.
54. **IPCC- TGICA. 2007:** General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. eds. Carter, T.R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel on Climate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
55. **IPCC, 2001a:** Technical summary. In: Climate change 2001: Impacts, adaptations and mitigation of climate change: scientific-technical analyses, eds. Watson, R. T., Zinyowera M. C. and Moss R. H., contribution of working group to the second

assessment report of the intergovernmental panel on climate change, pp. 1–53. Cambridge university press, Cambridge.

56. **IPCC, 2001b:** Climate change. The science of climate change. Contribution of working group I to the second assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds. Houghton, J.T., Filho, L.G.M., Callander, B.A., Harris, N., Attenberg, A. and Maskell K., 572 pp. Cambridge University Press, Cambridge.
57. **IPCC, 2007:** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
58. **IPCC, 2013:** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
59. **IPCC, 2014:** Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
60. Kuo, S-F, G. P. Merkley, & C-W. Liu, 2000, Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm, *Agricultural Water Management*, Vol. 45:243-266.
61. Kuo, S-F, G. P. Merkley, & C-W. Liu, 2000, Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm, *Agricultural Water Management*, Vol. 45:243-266.
62. Lobell, DB., Christopher, BF., Kimberly, NC., Nicholas, C. and Celine, B. 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 141: 208-218.

63. Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S. (1996). "Genetic Algorithms: Concepts and Applications". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43 (5), pp. 519-534.
64. Raju. K. S., and D. N. Kumar. 2004. Irrigation planing using genetic algorithms. *Water Resour. Manage.* 18(2): 163-176.
65. Ritzel, B. J., J. W. Eheart, & S. Ranjithan, 1994, Using Genetic alogorithms to solve a multipe objective groundwater remediation problem, *Water Resource Research*, Vol. 30(5): 1581-1603.
66. Melkonyan, A. 2015. Climate change impact on water resources and crop production in Armenia. *Agricultural Water Management*, 161, 86-101.
67. Pearson CJ, Bucknell D and Laughlin CP, 2008. Modelling crop productivity and variability for policy and impacts of climate change in eastern Canada. *Environmental Modeling and Software* 23: 1345-1355.
68. Yaron, D., & A. Dinar, 1982, Optimal allcation of water on a farm during feed season, *J. Agric. Econ*, Vol. 64: 452-458.
69. Yang, C., Fraga, H., Van Ieperen, W., and Santos, J.A. 2017. Assessment of irrigated maize yield response to climate change scenarios in Potugal. *Agricultural Water Management*. 184: 178-190.
70. Yoon, J. H., & C. A. Shiemaker, 1999, Comparison of optimization methods for groundwater bioremediation, *J. Water Resource Planning and Management*. Vol. 125(1):64-83.
- 71.

Abstract

Water management has become a management crisis for countries in the recent century, in particular for the poor countries, due to increasing population, food supply and climate change. One way to reduce water consumption is to employ the optimal cultivation pattern. For this purpose, this study aimed to determine the optimal cultivation pattern under climate change scenarios in Shahroud region using genetic algorithm. To determine the optimal cultivation pattern, MATLAB program was used. In this study, the area under cultivation of each crop was considered as a variable of decision and minimizing water consumption and maximizing farmer's profit were considered as the objective function. Then, 13 scenarios were defined in the Genetic Algorithm program. The area under cultivation of each crop changes in each scenario so that in the first scenario from zero to one hundred percent of the area under cultivation in the region, in scenarios 2 to 10, from 10 to 90% of the current area under cultivation of each crop and in scenarios 11 to 13 from 10, 20 and 30% of the total area under cultivation are subject to change. Regarding climate change, temperature and precipitation of 25 AOGCM models were determined under two scenarios of RCP4.5 and RCP8.5 in the next two periods of 2010 to 2039 and 2040 to 2069. Then, evaporation and transpiration of the two scenarios under 25%, 50% and 75% risk were calculated and the optimal cropping pattern program was implemented again in these 12 cases.

The results reveals that in determining the optimal cultivation pattern in the current situation, scenario number 12 is the best scenario. This scenario shows a 7% reduction in water consumption and a 122% increase in profit. This scenario allocates the highest area under cultivation to wheat and barley and the lowest area under cultivation to alfalfa and melon. The results of combining climate change conditions with genetic algorithm for Scenario 12 indicate that under climate change conditions, the area under cultivation should be reduced by 20%. The results show that in the scenarios of RCP4.5 and RCP8.5 in both periods, after wheat, the trend of changes in the area under cultivation is almost the same in all scenarios. In all climate change scenarios, onion has the highest area under cultivation and beetroot has the lowest one.

Keywords: genetic algorithm, water need, optimal cultivation pattern, climate change, Shahroud plain



Shahrood University of Technology

Faculty of Agriculture

M.Sc. Thesis in Water Structures Engineering

**Determination of optimal cropping pattern under
climate change scenarios (case study: shahrood plain)**

By: Nasrollah Emami

Supervisors:

Dr. Zahra Ganji Noroozi

Dr. Mahdi Delghandi

Advisors:

Sajjad Ghosh kor pi

Dr. Hadi Jafari

October 2020