

شرکت سهامی آب منطقه‌ای گیلان
کمیته تحقیقات

گزارش اتمام کار پروژه:

بهینه‌سازی زمانبندی آبیاری شالیزار با استفاده از
برنامه‌ریزی ریاضی

مشاور پروژه:
دانشگاه علم و صنعت ایران

محقق پروژه:
دکتر عمران محمدی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بررسی مقدماتی مساله

۱- مقدمه

آب یکی از مهمترین منابع تجدید شونده و گنجینه مشترک انسان‌هاست. با وجود اینکه حدود ۷۱٪ سطح کره‌ی زمین از آب پوشیده است، حدود ۹۷/۴٪ از آن جزء آبهای شور و غیرمتمعارف طبقه‌بندی می‌شود و تنها ۲/۶٪ منابع آب شیرین است و مقدار ۰/۱۴٪ آن قابل بهره‌برداری است. بنابراین چه در بعد محلی، منطقه‌ای، ملی و چه در بعد جهانی، بخش عمده‌ای از عدم تعادل در منابع آب ناشی از محدودیت طبیعی آن و بخش دیگر متاثر از اقدامات و فعالیتهای بشر در ارتباط با استفاده از آب می‌باشد که در قالب تخصیص غیربهبینه و استفاده غیر اقتصادی منابع آب ظاهر می‌شود (زارع، ۱۳۹۰).

نقش آب مصرفی و مقدار مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی در دنیا (۷۵ تا ۸۰ درصد آب مصرفی) قابل توجه می‌باشد بطوریکه که کمیت و کیفیت آب مصرفی می‌تواند کمیت تولید و کیفیت محصول تولید شده را شدیداً تحت تأثیر قرار دهد (آبایی، ۱۳۷۸؛ حیدریان و رشیدزاده، ۱۳۸۸) پس کشاورزی پایدار بدون بهینه‌سازی در مصرف منابع آبی میسر نخواهد شد و بهینه سازی و افزایش بهره وری مصرف آب در یک سیستم زراعی علاوه بر بهبود وضعیت، حفاظت از منابع آب و خاک، کاهش خسارتهای اقتصادی و اجتماعی را در پی خواهد داشت.

همانطور که گفته شد آب به عنوان یکی از نهاده‌های اصلی تولید محصولات کشاورزی، جایگاه خاصی در توسعه کشاورزی پایدار دارد، در ایران حدود ۶۰٪ از اراضی تحت کشت آبی است که ۹۰٪ از تولیدات غذایی کشور را تأمین می‌کند و از حدود ۸۸/۵ میلیارد متر مکعب آب بدست آمده از منابع سطحی و زیرزمینی حدود ۸۳ میلیارد متر مکعب آن به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد (صنوبر و همکاران، ۱۳۸۹) و این درحالی است که براساس نظر شورای جهانی آب، کشورهای درحال توسعه از جمله ایران برای غلبه بر مشکلات غذایی خود تا سال ۱۴۰۰ فقط می‌توانند ۲۳ درصد بر سطح اراضی آبی خود بیافزایند. لذا لزوم مدیریت مناسب منابع آب موجود مشخص می‌شود.

تقاضای رو به رشد برای محصولات کشاورزی که ناشی از افزایش سریع جمعیت می‌باشد، در حال حاضر مشکل بسیاری از کشورهاست به ویژه کشورهایی که به دلیل باقی ماندن در سازوکارهای کشاورزی سنتی و بهره‌وری اندک عوامل تولید در این بخش، نمی‌توانند به میزان کافی مواد غذایی، متناسب با رشد جمعیتشان تولید نمایند و از آنجا که منابع آب نقش تعیین کننده ای در شکل دهی فعالیتهای کشاورزی و به تبع آن فعالیتهای اقتصادی ایفا می‌نماید پس توسعه کشاورزی وابستگی فوق العاده‌ای به مدیریت منابع آب دارد و هر چه محدودیت آب بیشتر باشد، کارآمد بودن مدیریت آب الزام بیشتری پیدا می‌نماید. لذا با توجه به محدودیت منابع آب و همچنین افزایش روزافزون تقاضا برای آب جهت بالا بردن سطح زیرکشت، توجه جدی به امر مدیریت و اصلاح بهره وری آب، استفاده صحیح و برنامه‌ریزی برای هر قطره آب بدست آمده، امری واجب و ضروری است که اعمال این مدیریت از طریق پیگیری اهداف مختلفی از جمله بهبود بخشیدن وضعیت شبکه‌های آبیاری، افزایش بازده آبیاری در مزارع (از قبیل عملیات تجهیز و نوسازی و یکپارچه سازی اراضی) و تغییرات اساسی در نحوه مدیریت و

تقسیم و تخصیص آب انجام می شود و اگر بتوانیم به صرفه جویی واقعی آب در این قسمت نایل شویم، با میزان آب صرفه جویی شده می توان سطح زیر کشت را گسترش داد که افزایش سطح زیر کشت در مرحله اول یعنی افزایش تولید محصولات کشاورزی برای مصرف در داخل کشور، بی نیازی از واردات و جلوگیری از خروج ارز و در مرحله دوم صادرات مازاد بر مصرف و رونق اقتصادی کشور و دیگر مزایای این مهم است.

۲-۱ تعریف مسأله

استان گیلان به دلیل شرایط ویژه ای اقلیمی از مناطق مستعد کشور در زمینه تولید محصولات کشاورزی می باشد، بطوریکه درصد بیشتری از محصولات عمده کشور شامل برنج، چای، فندق و زیتون در این استان تولید می شود. (میر عباسی نجف آبادی و همکاران، ۱۳۸۸)

اما کشت عمده ای گیلان که بیش از نیمی از خانوارهای استان گیلان با آن امرار معاش می نمایند، کشت آبی است. بطوریکه وسعت شالیزارهای گیلان ۳۳۰۰۰۰ هکتار (یعنی بیش از نیمی از وسعت دشت جلگه ای استان) و تعداد شاربین دارای پیمان آب زراعی ۲۷۷۰۰۰ نفر می باشد (فیاض و همکاران، ۱۳۷۹).

بخش عمده ای نیاز آبی این دشت ها که حدوداً ۱۷۵۰۰۰ هکتار می باشد از سد چند منظوره سپیدرود تأمین می شود که متأسفانه در سالهای اخیر به علت رسوبگذاری (که نشأت گرفته از عدم آبخیزداری در حوضه آبریز رودخانه سپیدرود، از بین رفتن پوشش گیاهی و جوان بودن تشکیلات زمین شناسی این حوضه است) (شیرزاد و همکاران، ۱۳۸۵) و همچنین به دلیل افزایش برداشت از سر شاخه های سد سفید رود (قزل اوزن و شاهرود) حجم آب قابل ذخیره این سد نسبت به سال های ابتدایی تأسیس بسیار کم و در نتیجه میزان آب برای آبیاری شالیزارهای موجود در سطح استان گیلان کاهش یافته است، بطوریکه حجم آب تحویلی از سد سفیدرود به شبکه آبیاری گیلان از ۱۹۱۹ میلیون متر مکعب در سال ۷۲ به ترتیب به میزان ۱۴۲۵ و ۱۳۵۵ میلیون متر مکعب در سالهای ۸۲ و ۸۳ رسیده است. (امیری و همکاران، ۱۳۸۵). بنابراین با توجه به نقش استراتژیک این استان در تولید محصولات کشاورزی به خصوص در کشت آبی می توان به ابعاد گسترده ای پیامدهای ناشی از بحران کم آبی و خشکسالی و اثر مستقیم آن بر اقتصاد کشور پی برد.

این افزایش در کمبود آب سبب ایجاد چالش هایی از قبیل صرفه جویی در آب، افزایش بهره وری آب (گرم دانه به ازای هر کیلو گرم آب ورودی) و تولید بیشتر برنج با آب کمتر شده است (کین^۱ و همکاران، ۲۰۰۳).

از این رو برای برخورد با این چالش ها و مدیریت آب و آبیاری مزارع در سطح استان از روش های آبیاری تناوبی بجای غرقابی در دوره هایی از فصل رشد استفاده می شود.

بنابراین مسأله ای اصلی که انگیزه انجام این پژوهش قلمداد می شود این است که برنامه ریزی جامع، کارآمد و متناسب با مقتضیات برای برقراری سیستم آبیاری متناوب در داخل کشور وجود نداشته لذا استفاده از روش های تحلیلی و بهینه سازی می تواند بخشی از مشکلات موجود را رفع نماید. بنابراین این پژوهش در صدد است تا این

^۱ Kijne

برنامه‌ریزی را با توجه به معیارها و محدودیت‌های موجود و با استفاده از تکنیک‌های علمی، تصمیم‌گیری و... به انجام برساند.

۳-۱ ضرورت تحقیق

برنج یکی از محصولات عمده ی غذایی در اغلب مناطق دنیا و نیز ایران محسوب می‌گردد (محمدی، ۱۳۷۴). برنج پس از گندم بیشترین سطح زیر کشت اراضی کشاورزی جهان (یک سوم سطح زیر کشت غلات جهان) را به خود اختصاص داده است. غذای اصلی نیمی از مردم جهان را که بیشتر در کشورهای در حال توسعه زندگی می‌کنند این محصول تشکیل می‌دهد (سلحشور و همکاران، ۱۳۸۸). بطوریکه در بخش عظیمی از قاره آسیا، برنج تأمین‌کننده بیش از ۸۰ درصد کالری و ۷۵ درصد پروتئین مصرفی مردم می‌باشد (کوپاهی و همکاران، ۱۳۸۸). برنج در ایران در سالهای اخیر به عنوان یک کالای اساسی و استراتژیک شناخته شده است و مصرف آن در بین مردم افزایش یافته است به طوری که در حال حاضر در رژیم غذایی خانوارها (شهری و روستایی) از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد همچنین این محصول از جمله مواد غذایی است که مقدار مشخصی از مصرف روزانه آن توسط متخصصان تغذیه توصیه گردیده است (حیدری و چراغی، ۱۳۸۱).

سطح زیر کشت برنج در ایران ۷۰۰۰۰۰ هکتار برآورد شده که حدود ۰.۴٪ از اراضی زیر کشت برنج جهان است. بیش از ۷۵٪ از اراضی زیر کشت برنج در استانهای شمالی کشور یعنی گیلان و مازندران قرار دارند و بیش از ۸۰٪ برنج کشور از این اراضی به دست می‌آید (جواهر دشتی و اصفهانی، ۱۳۸۱). برنج نقش بسیار زیادی در اقتصاد استانهای شمالی مخصوصاً استان گیلان که تولیدکننده ۳۶ درصد شلتوک کشور است دارد. در این استان سالانه بیش از ۳۰۰ هزار بهره بردار در سطحی بیش از ۲۳۰ هزار هکتار از اراضی حاصلخیز و مستعد برنج کاری می‌کنند. در واقع کشت برنج مهمترین فعالیت کشاورزی این استان محسوب می‌شود و اقتصاد این استان نیز بر پایه‌ی کشاورزی و محوریت برنج استوار است (اتقایی کردکلایی و همکاران، ۱۳۹۰).

وجود منابع آبی فراوان، مسطح بودن سطح زمین به لحاظ یک دست ماندن آب روی زمین و زهکش شدن آب از جمله شرایط لازم برای کشت برنج می‌باشند اما به دلیل کمبود منابع آبی، پایین بودن راندمان آبیاری مزارع در شرایط فعلی و بحران آینده آب در ایران که واقعیتی انکارناپذیر می‌باشد، آینده تولید برنج به اتخاذ و گسترش استراتژی‌هایی بستگی دارد که آب را در برنامه‌ریزی‌های آبیاری بطور موثری استفاده نماید تا بتوان به بهره‌وری بیشتر آب کشاورزی (به معنای افزایش در تولید، سود و اشتغال به ازای واحد حجم آب) دست یافت. بنابراین می‌توان ضرورت اصلی انجام این پژوهش را از یک طرف اهمیت و ارزش این محصول در اقتصاد و سبب غذایی مردم و از طرف دیگر توجه ای ویژه به برنامه ریزی و تخصیص بهینه منابع آبی موجود برای کشت پایدار دانست.

۴-۱ مدیریت مصرف آب در شالیزار

برنج از نظر اکولوژیکی و دامنه زیستی در رابطه با رطوبت در بین گیاهان زراعی دارای خصوصیت منحصر به فردی از نظر روابط با آب است. از آنجا که آب یکی از عناصر حیاتی در زندگی برنج محسوب می‌شود و از طرفی،

آب مهمترین جزء برای تولید پایدار در مناطق برنج خیز می‌باشد، کاهش سرمایه گذاری در مسائل زیربنایی آبیاری، رقابت برای بدست آوردن آب را افزایش می دهد (فَکِن^۱، ۲۰۰۶). بنابراین ضروری است که با مدیریت صحیح مصرف آب، بهره‌وی مصرف آب را افزایش داد.

بطور کلی مدیریت آب دارای اهداف زیر می باشد:

۱. بهره برداری حداکثر از آب باران و منابع آبی موجود

۲. انتقال آبهای اضافی از مزرعه (زهکشی)

۳. به حداقل رساندن تلفات آب در مزرعه

۴. تنظیم و اندازه گیری مقدار آب اضافی در مزرعه

اثرات مدیریت آب را می توان به صورت زیر بررسی نمود:

۱. اثر مدیریت آب بر عملکرد محصول: تحقیقات نشان داده است که حداکثر محصول زمانی به دست خواهد آمد که خاک شالیزار در شرایط غرقاب و یا اشباع باشد ولی در بعضی از مراحل رشد خشکاندن کم و تدریجی خاک باعث افزایش عملکرد شده است، به شرطی که خاک از مرحله تشکیل خوشه اولیه تا مرحله رسیدن در حد اشباع و یا غرقاب باشد (سلیمانی و امیری، ۱۳۸۴).

۵. اثر مدیریت آب بر مشخصات فیزیکی گیاه: ارتفاع گیاه برنج مستقیماً تحت تأثیر عمق آب در کرت قرار دارد بطوریکه ارتفاع گیاه با افزایش عمق آب در کرت افزایش یافته و در نتیجه موجب کاهش مقاومت گیاه در برابر باد و باران خواهد شد که خطر ورس را افزایش می دهد و این موضوع در مورد ارقام پابند نظیر طارم حائز اهمیت است. تولید پنجه در بوته با عمق آب در کرت نسبت عکس دارد، بطوریکه با افزایش عمق آب ایستابی در کرت تعداد پنجه در بوته کاهش می یابد. عمق آب در کرت در مقدار شاخص برداشت نیز اثر می گذارد و افزایش عمق آب موجب کاهش این شاخص می گردد.

۶. اثر مدیریت آب بر جذب عناصر غذایی: در آزمایشی مشاهده شد که میزان جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو در آبیاری به صورت اشباع در مرحله رشد رویشی و یا آبیاری بصورت تناوبی در مرحله رشد رویشی در مقایسه با آبیاری بصورت غرقاب دائم در برنج طارم افزایش خواهد یافت. در صورت نفوذپذیری زیاد خاک در شرایط غرقاب، مواد غذایی از منطقه ریشه شسته شده و بطرف پائین انتقال می یابند.

۷. اثر مدیریت آب بر شرایط فیزیکی خاک: اثرات آب بر روی وضعیت زهکشی اراضی شالیزار به عنوان یکی از فاکتورهای فیزیکی خاک دارای محاسن و معایبی می باشد. بطور کل عدم وجود زهکش مناسب در شالیزار باعث ایجاد سمیت در خاک خواهد شد. سمیت های ناشی از شرایط بد زهکشی می تواند بصورت بیماریهای گوناگون فیزیولوژیکی مانند بیماری آکاگاره، برونزینگ و آکیوشی (در ژاپن) ظاهر شود. با انجام زهکشی و خشکاندن به موقع می توان اکسیژن را به داخل خاک هدایت نموده و گازهای سمی ناشی از احیاء آهن و منگنز را از منطقه ریشه دور نمود.

۸. اثر مدیریت آب بر کنترل بیماریها: با مدیریت صحیح آب و جلوگیری از انتقال آب از کرتی به کرت دیگر می توان از انتشار بیماریهای قارچی کاست.

¹ Facon

۹. اثر مدیریت آب بر کنترل در مصرف کود: با انجام آبیاری صحیح، مواد غذایی مورد نیاز برنج به سهولت در دسترس گیاه قرار خواهند گرفت.
۱۰. اثر مدیریت آب بر کنترل علفهای هرز: کنترل عمق آب در مراحل اولیه رشد برنج می تواند اثرات عمده ای در کنترل علفهای هرز داشته باشد، بطوریکه اگر علفهای هرز بیش از حد رشد نمایند، کنترل آنها از طریق مدیریت آب مشکل می گردد.

۵-اهداف تحقیق

۵-۱-۱ هدف اصلی

کاهش طول بازه ی کشت و به تبع آن کاهش حجم آب مصرفی

۵-۱-۲ هدف فرعی

۱. استفاده بهینه از منابع آبی
۲. بیشینه نمودن بهره‌وری مصرف آب
۳. تامین آب مورد نیاز با توجه به محدودیت‌های زمانی و فنی
۴. گسترش زمین‌های زیر کشت
۵. افزایش تنوع محصولات کشاورزی با توجه به صرفه‌جویی صورت گرفته
۶. انتقال راحت‌تر دانش کشاورزی به کشاورزان
۷. کاهش هزینه‌های ناشی از ایجاد سد

تحليل عمليات كشت

۲-۱ ویژگی‌های زراعی و تاریخچه کشت برنج

برنج گیاهی یکساله، علفی، با ریشه‌های افشان و قوی و ساقه‌ای بند بند و توخالی (همانند گندم) می‌باشد که دارای ۸ تا ۱۲ گره در طول ساقه است. ارتفاع، قطر ساقه و تعداد برگ‌های برنج به ترتیب بین ۵۰ تا ۲۰۰ سانتی-متر، ۶ تا ۱۲ میلی‌متر و ۱۰ تا ۲۰ عدد برگ می‌باشد که در بین ارقام زود رس و دیر رس متغیر می‌باشد. برنج گیاهی است با تنوع ژنتیکی و توان سازگاری زیاد از جنس اوریزا^۱ که در جهان دارای ۲۳ گونه بوده که فقط دو گونه اوریزا استیو^۲ (در آسیا، اروپا، آمریکا، ایران) و اوریزا گلابریم^۳ با قدمت و تنوع ژنتیکی کمتر (در جنوب آفریقا) کشت می‌گردد. (علیزاده، ۱۳۸۹)

سازگاری به عمق غرقاب کردن و درجه کنترل آب باعث ایجاد سه گروه زراعی برنج شده است، برنج ارتفاعات فوقانی (خشک) ارتفاعات تحتانی (مرطوب)، برنج مرطوب که در آب کمتر از یک متر عمق کشت می‌شود و برنج آب عمیق که در آب یک تا شش متر کشت می‌شود (ورگارا^۴، ۱۹۹۰).

سابقه کشت برنج در ایران به حدود ۴۰۰ سال قبل از میلاد بر می‌گردد که در ایران قدیم در بابل و شوش کشت می‌شد (بی‌نام، ۱۳۷۴). زراعت برنج در ایران از سالیان خیلی دور معمول بوده بطوریکه در زمان هخامنشیان در ایران زراعت برنج می‌شده و در دوره اشکانیان نیز در گیلان و مازندران و خراسان زراعت برنج انجام می‌گرفته است. در دوران ساسانیان نیز در بخش بزرگی از ایران شامل کاشمر و تاشکند زمین‌های زیادی زیر کشت برنج بوده است (هادی کریمی ۱۳۷۷).

کشت برنج در ایران به دو صورت کشت نشایی (احداث خزانه) و کشت مستقیم انجام می‌شود که روش اول در اکثر نقاط کشور مرسوم و روش کشت مستقیم بیشتر در جنوب کشور (استان خوزستان) رواج دارد که در آن نشاء برنج پس از سپری نمودن رشد اولیه و رسیدن به اندازه‌ای حدود ۲۵ سانتی‌متر به زمین اصلی انتقال و مابقی رشد برنج در مکان جدید ادامه می‌یابد (زمانی و علیزاده، ۱۳۸۶).

۲-۲ سطح زیر کشت برنج ایران و جهان

طبق آمار سازمان فائو در سال ۲۰۰۷ سطح زیر کشت برنج در جهان، آسیا و ایران به ترتیب ۱۵۶۶۸۸، ۱۴۰۰۳۶، ۶۳۰ هزار هکتار بوده است. همچنین طبق آمار منتشر شده از این سازمان سطح زیر کشت برنج در چند دهه اخیر روند افزایشی داشته است، بطوریکه از ۱۱۵۳۶۵ هزار هکتار در سال ۱۹۶۱ به ۱۵۶۶۸۸ هزار هکتار در سال ۲۰۰۷ رسیده است. این موضوع ناشی از افزایش تقاضا برای تولید برنج می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۹).

^۱ Oryza

^۲ Oryza.Sativa

^۳ Oryza.glabrims

^۴ Vergara

۳-۲ منطقه‌ی مورد مطالعه

دشت گیلان که محدوده‌ی ساحل غربی دریای خزر از ارتفاع ۲۶- تا ۱۰۰+ نسبت به سطح دریای آزاد را در بر می‌گیرد، دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بوده و ارتفاع متوسط بارندگی سالانه آن حدود ۱۲۰۰ میلیمتر می‌باشد که حدود ۷۰ درصد آن در فصل‌های پائیز و زمستان رخ می‌دهد. کشت اصلی دشت گیلان برنج می‌باشد که حدود ۹۵٪ سطح کشت سالانه را به خود اختصاص می‌دهد. رودخانه سفیدرود منبع اصلی تأمین آب آبیاری دشت گیلان بوده و دارای جریان متوسط سالانه‌ی حدود ۴۵۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد. با احداث سد مخزنی سفیدرود به گنجایش اولیه‌ی ۱۸۰۰ میلیون متر مکعب، اجرای شبکه‌های آبیاری در دشت گیلان از سال ۱۳۴۰ آغاز و توسعه‌ی کشت برنج ادامه یافته است. طبق نتایج بدست آمده از تفسیر ماهواره‌ای سالهای ۱۳۷۳ و ۱۳۷۷ و بررسی‌های میدانی مساحت جغرافیایی نواحی تحت پوشش شبکه‌های آبیاری سفیدرود در حدود ۲۸۴۱۸۰ هکتار است که در قالب ۱۷ واحد عمرانی شکل گرفته است. از این مساحت حدود ۱۸۹۸۳۳ هکتار ناخالص تحت پوشش کشت برنج است که مساحت خالص تحت کشت سالانه آن معادل ۱۶۷۰۰۰ هکتار برآورد می‌گردد. واحدهای عمرانی شبکه‌ی آبیاری سفیدرود در سمت راست رودخانه سفیدرود شامل واحدهای D_1 تا D_5 ، در ساحل چپ رودخانه‌ی سفیدرود شامل واحدهای G_1 تا G_7 و در ناحیه‌ی فومنت شامل واحدهای F_1 تا F_5 می‌باشد (مهندسین مشاور پندام، ۱۳۸۰). قابل ذکر است که مطالعه‌ی حاضر بر کانال درجه سوم در ناحیه‌ی فومنت انجام می‌شود.

۴-۲ فرآیند کشت

۱. خیس خوردن زمین: یعنی اینکه زمین مورد نظر در یک بازه زمانی مشخص باید جهت آمده شدن برای شخم و یا آماده سازی خزانه آبیاری شود.
 ۲. شخم دوم و آماده سازی خزانه
 ۳. بذر پاشی
 ۴. شخم سوم
 ۵. نشاء
- توجه: ۷ تا ۱۰ روز پس از نشاء باید به نشاء ها سم زد و این سم زنی نیاز به یک حد اقل آبی دارد که به عنوان ورودی برای برنامه‌ریزی در نظر گرفته می‌شود.
۶. وجین و وجین دوباره: به ترتیب ۱۵ روز بعد نشاء، عملیات وجین و ۱۵ روز بعد از وجین، وجین دوباره صورت می‌گیرد طول دوره‌های وجین و وجین دوباره به عنوان ورودی از مدل قبل بدست می‌آید. در این مرحله نیز ما یک حداقل و یک حد اکثر آبی را به عنوان ورودی برنامه‌ریزی داریم.

نکته: در حالت کلی حجم آب مورد نظر هر یک از مراحل فوق (که ممکن است با مناطق دیگر متفاوت باشد)، بازه‌ی زمانی مورد نظر هر یک از مراحل فوق (با توجه به بافت خاک هر منطقه، که ممکن است با مناطق دیگر متفاوت باشد)، زمان رسیدن آب به آخرین کرت و حجم آب ورودی به آخرین کرت در دقیقه برای هر منطقه،

میزان تبخیر و تعرق آب در بازه‌های کاری و طول شبانه‌روز، نفوذ عمقی آب در داخل زمین و آب موجود در زمین به علت بارش باران یا آبیاری‌ها و هدر رفتن آب در ساعت کاری و شبانه‌روز جزء مواردی هستند که باید در برنامه‌ریزی لحاظ شوند.

۵-۲ آبیاری و اهمیت آن در برنج

آبیاری شالیزار از مهمترین عملیاتی است که باید در زراعت برنج انجام شود، چون برنج گیاهی است متحمل به غرقابی، وجود آب سبب انتقال مواد مختلف از ریشه به ساقه، برگ و دانه‌ها شده و در نتیجه موجب تهیه مواد خشک می‌گردد. مقدار آب مورد نیاز برای برنج بستگی به روش کاشت، ابعاد کرت‌ها، تراکم بوته‌ها، مقدار مصرف مواد تقویت‌کننده، نوع بافت خاک، شرایط اقلیمی، شرایط اکولوژیکی و رقم مورد کاشت داشته و به‌طور کلی در ارقام زودرس نیاز آبی کمتر و در ارقام دیررس نیاز آبی بیشتر است (اخوت و وکیلی، ۱۳۷۶).

کمبود جزئی آب در داخل گیاهان زراعی خصوصاً در روزهای گرم فصل رشد اجتناب ناپذیر است و تقریباً همیشه در گیاهان اتفاق می‌افتد. اگر کمبود آب در گیاه به میزان متوسط باشد سبب خواهد شد که گیاه نتواند یک یا چند مرحله فیزیولوژیکی خود را با سرعت طبیعی انجام دهد و اگر کمبود شدید و طولانی باشد ادامه حیات گیاه به مخاطره خواهد افتاد (ربیع زاده و ربیعی جیلدانی، ۱۳۸۱).

برنج در طول دوره رشد خود به‌طور متوسط به ۳۵۰۰-۳۰۰۰ متر مکعب آب نیاز دارد. این مقدار آب باید در هنگام گلدهی، تشکیل خوشه و بقیه مراحل رشد به اندازه کافی در اختیار گیاه قرار گیرد. اگر در مرحله تشکیل خوشه و گلدهی آب و رطوبت کافی در اختیار گیاه قرار نگیرد، عمل تلقیح به‌خوبی انجام نشده و برنج بدست آمده دارای عملکرد پایینی خواهد بود، زیرا در رطوبت کم، دانه‌های گرده نمی‌توانند به تخمدان نفوذ نمایند و در نتیجه تلقیح انجام نگرفته، دانه‌های پوک تولید می‌شوند (علیزاده، ۱۳۸۹).

۶-۲ روشهای آبیاری برنج

۶-۲-۱ آبیاری به روش غرقابی دائم

روش آبیاری که همیشه آب با عمق معینی روی سطح کرت نگهداری می‌گردد که خود به دو روش غرقابی راکد و غرقابی جاری تقسیم می‌شود. در روش غرقابی جاری آب از یک جهت وارد کرت شده و از جهت مقابل رواناب سطحی خارج می‌شود. این روش قابل تقسیم به غرقاب خیلی کم (عمق آب تا ۲ سانتی‌متر)، غرقاب کم (عمق آب تا ۵ سانتی‌متر) و غرقاب عمیق (عمق آب بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر) است. از معایب این روش آن است که غرقاب متوالی در طول فصل زراعی باعث ایجاد شرایط بی‌هوایی در خاک شده و تولید مواد سمی در خاک را افزایش می‌دهد. بعلاوه با حرکت آب در طول کرت، کود اضافه شده بوسیله رواناب سطحی از کرت

خارج می‌گردد و در فصول کم‌آبی توزیع یکنواخت آب امکان‌پذیر نمی‌باشد. از محاسن این روش آن است که عملیات آبیاری بسیار ساده بوده، تهیه وسایل بهره‌برداری از سیستم آبیاری ارزان است، احتیاج به نیروی انسانی کمی دارد و رویش علف‌های هرز در این روش کاهش می‌یابد. در روش غرقابی راکد، مصرف آب نسبت به غرقاب جاری کمتر بوده و انتقال مواد غذایی نیز کمتر است. روش غرقابی دائم وقتی امکان‌پذیر است که آب کافی و مناسب و مطمئن و ارزان در اختیار باشد (سلحشور و همکاران، ۱۳۸۸).

۶-۲-۲ آبیاری به روش تناوبی

در روش آبیاری متناوب پس از تأمین آب در پای گیاه به میزان مشخص، آبیاری قطع شده و پس از فاصله زمانی مشخص اقدام به آبیاری مجدد می‌گردد (لفظ تناوب در این روش در مقابل حالت غرقاب دائم به کار برده می‌شود) به بیان دیگر در این روش، مزرعه پس از هر آبیاری حالت غرقاب داشته و پس از مدتی آب از سطح زمین ناپدید می‌شود. مزایای آبیاری متناوب در مزارع شالیزاری عبارتست از: موجب تهویه خاک مزرعه گردیده و از ایجاد مواد سمی و سایر ترکیبات زیان‌آور جلوگیری می‌شود، باعث صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی گیاه می‌گردد، مشکلات زهکشی را کاهش می‌دهد و در بیلان آب منطقه تاثیر مثبت دارد. همچنین از معایب اعمال آبیاری متناوب در مزارع شالیزاری این است که: به نظارت یا مدیریت آبیاری دقیق-تری نیاز دارد، کنترل و دفع علف‌های هرز مزرعه برنج به هزینه‌ی بیشتری نیاز دارد با استفاده از روش فوق تا ۳۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی شده و عملکرد محصول نیز افزایش می‌یابد (پذیرا، ۱۳۷۸).

۶-۲-۳ بدون آبیاری یا دیم

دیم کاری به معنی کشت بدون آبیاری است و به زراعتی گفته می‌شود که با آب باران رشد و نمو نماید. از نقاط ضعف این روش عدم حاصلخیزی خاک در مقایسه با شرایط غرقابی است زیرا وجود شرایط هوایی در خاک موجب تجزیه‌ی سریع مواد آلی شده که تلفات زیاد ازت و کم بودن فسفر قابل استفاده را در پی دارد. هجوم علف‌های هرز خصوصاً قیاق نیز از عوامل محدود کننده این نوع زراعت است (اصفهانی، ۱۳۷۷).

۶-۲-۴ اشباع خاک

در این روش آبیاری رطوبت خاک شالیزار همیشه در حد اشباع نگهداری می‌شود و هیچ‌گاه آب روی سطح خاک نگهداری نمی‌شود. از معایب این روش نیاز به کنترل دقیق رطوبت، تسطیح دقیق و همچنین افزایش رشد علف‌های هرز و از محاسن آن نیز می‌توان به کاهش نیاز آبیاری و در نتیجه صرفه‌جویی مصرف آب و افزایش کارایی مصرف آب اشاره نمود (سلحشور و همکاران، ۱۳۸۸).

۶-۲-۵ روش SRI^۱

در این روش مجموعه ای از عملیات زراعی شامل سن نشاء و نحوه ی نشاء کاری، روش و تعداد وجین ، روش آبیاری و تغذیه ی گیاه در کشت برنج استفاده می شود. بطوریکه به ادعای معرفی کنندگان این روش عملکرد تا دو برابر و میزان آب مصرفی تا ۵۰ درصد کاهش می یابد (یزدانی و پارسی نژاد، ۱۳۸۱).

۶-۲-۶ روش آبیاری بر اساس مراحل مختلف رشد (روش فائو^۲ و روش ژاپنی معروف به فوکودا^۳)

رایج ترین این نوع از آبیاری روش فائو و و فوکودا می باشد. در این راستا فائو روش آبیاری را پیشنهاد کرده است که بر اساس مراحل مختلف رشد برنج می باشد. بطور خلاصه در این روش بلافاصله پس از نشاء کاری برای تضمین رشد نشاءها و مبارزه با علف های هرز، عمق آب در حدود ۱۰ سانتی متر، در طی دوره ی پنجه زنی برای حفظ تعادل در درجه حرارت خاک حداکثر عمق آب به حداقل ممکن کاهش پیدا می کند، بطوریکه خاک حالت اشباع داشته باشد. عمق آب در ۱۵ روز اول در حدود ۷ سانتی متر و در ادامه دوره حدود ۱۰ سانتی متر نگهداشته می شود. پس از این برای باقیمانده دوره پرشدن دانه و رسیدن محصول، آب از سطح مزرعه خارج می شود (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۳).

در آبیاری به روش فوکودا برای اعمال مدیریت آبیاری، عمق آب آبیاری برابر با ۱۵ سانتی متر در دوره آماده سازی و نشاء، ۵ سانتی متر در دوره پنجه دهی، زهکشی وسط فصل در زمان ۳۰ تا ۴۰ روز پیش از خوشه رفتن به مدت سه تا هفت روز (متوسط پنج روز)، ۵ سانتی متر در دوره حداکثر پنجه زنی و تشکیل خوشه، ۱۰ سانتی متر در دوره ی گلدهی، خارج کردن تدریجی آب در دوره تشکیل محصول (۲۵ تا ۳۰ روز بعد از گلدهی) و سرانجام زهکشی کامل در دوره رسیدن که جهت آماده سازی زمین برای درو می باشد (سوت سوئی^۴ و فوکودا، ۱۹۷۳).

۷-۲ نتیجه گیری

بررسی های انجام شده نشان می دهد که سیستم آبیاری فعلی براساس الگوی کشت تناوبی برنج است بطوریکه تمام شالیزارهای یک ناحیه بطور همزمان آبیاری می شوند. در این روش آبیاری در بازه های زمانی متناوب آب شبکه ی آبرسانی قطع و وصل می شود. شرط اصلی که این روش از آن پیروی می کند این است که آب شبکه ی آبرسانی در بازه های زمانی که فرآیندهای اصلی کشت (شخم دوم، شخم سوم، نشاء) انجام می شود جریان داشته باشد و پس از آن با توجه به میزان ماندگاری آب در مزارع، نیاز آبی برنج و مقاومت آن در برابر خشکی، آبرسانی بطور تناوبی انجام می شود.

^۱ System of Rice Intensification

^۲ FAO

^۳ Fukuda

^۴ Tsutsui

طراحی راه حل هایی برای
توسعه برنامه ریزی

۳-۱ انواع برنامه‌ریزی‌های موجود

انواع کارهای موجود در زمینه‌ی زمانبندی آبیاری را می‌توان به دو گروه زیر تقسیم کرد:

۳-۱-۱ برنامه ریزی کلاسیک (برنامه ریزی ریاضی)

روش‌هایی هستند که برای پیدا کردن جواب بهینه به جستجوی همه جانبه‌ی فضای مسأله می‌پردازند. برخی از روش‌های استفاده شده عبارتند از:

۳-۱-۱-۱ برنامه‌ریزی خطی

برنامه‌ریزی خطی، یا همان بهینه‌سازی خطی، روشی در ریاضیات است که به پیدا کردن مقدار کمینه یا بیشینه‌ی یک تابع خطی روی یک چندضلعی محدب می‌پردازد این چندضلعی محدب در حقیقت نمایش نموداری تعدادی محدودیت از نوع نامعادله روی متغیرهای تابع است. به بیان ساده‌تر به وسیله برنامه‌سازی خطی می‌توان بهترین نتیجه (مثلاً بیشترین سود یا کمترین هزینه) را در شرایط خاص و با محدودیت‌های خاص به دست آورد (مهرگان، ۱۳۸۵) و (عادل آذر، ۱۳۸۳).

۳-۱-۱-۲ برنامه‌ریزی پویا

این برنامه‌ریزی مخصوص مسائل چند مرحله‌ای است. بطوریکه تصمیمات موجود در آنها باید به طور متوالی و در طول زمان اتخاذ گردند، از این رو هر تصمیم علاوه بر اثرات آن در زمان حاضر دارای اثراتی در آینده است. بنابراین در برنامه‌ریزی پویا ابتدا یک مسأله به n مسأله فرعی تجزیه می‌شود و سپس برای حل و اپتیوم نمودن هر مسأله فرعی از یک مدل اپتیوم استفاده می‌گردد. برنامه‌ریزی پویا دارای کاربرد متعددی بوده و می‌توان مسائل پیچیده را با استفاده از آن به یک سری مسائل ساده تبدیل نمود. این تکنیک اولین بار به‌طور کلاسیک توسط پرفسور بلمن^۱ در دهه‌ی ۱۹۶۰ معرفی گردیده و از آن به بعد برای حل بسیاری از مسائل بکار گرفته شده است (اصغر پور، ۱۳۸۱).

۳-۱-۱-۳ برنامه‌ریزی عدد صحیح

^۱ Bellman

نوع خاصی از برنامه‌ریزی خطی است که در آن یک یا چند متغیر باید عدد صحیح باشند. در بسیاری از مسائل واقعی مقادیر اعشاری قابل قبول نیستند. مثلاً اگر متغیرهای مسأله‌ای تعداد نیروی استخدامی باشد پس عددی مانند ۳.۵ برای آن معنا نخواهد داشت. بنابراین باید از متغیرهای صحیح در بسیاری از مسائل استفاده کرد. در برنامه‌ریزی عدد صحیح تابع هدف خطی، محدودیت‌ها خطی و متغیرها با توجه به سه شکل برنامه‌ریزی زیر به سه دسته تقسیم می‌شود:

۱. برنامه‌ریزی عدد صحیح محض: در این برنامه‌ریزی تمام متغیرها عدد صحیح هستند.
۲. برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط: در این برنامه‌ریزی برخی متغیرها عدد صحیح و برخی دیگر عدد حقیقی هستند.
۳. برنامه‌ریزی عدد صحیح صفر و یک: در این برنامه‌ریزی تمام متغیرها عدد صحیح صفر و یک هستند (آریانزاد و مدیری، ۱۳۸۵) و (عادل آذر، ۱۳۸۳).

۳-۱-۱-۴ برنامه‌ریزی غیرخطی

برنامه‌ریزی است که در آن تابع هدف، محدودیت‌ها یا هر دوی آنها ممکن است غیر خطی باشد. در این برنامه‌ریزی جواب بهینه ممکن است در گوشه نباشد، در داخل فضای موجه یا در مرز ناحیه‌ی موجه باشد. مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی می‌تواند با محدودیت یا بدون محدودیت باشد. همچنین ممکن است تک متغیره یا چند متغیره باشد.

۳-۱-۲ روش‌های جستجوی فرا ابتکاری^۱

زمانی که اندازه مسأله بزرگ باشد، استفاده از روش‌های جستجوی آگاهانه میسر نخواهد بود چرا که در این رده مسائل فضای حالت مسأله چنان بزرگ می‌باشد که رسیدن به جواب مسأله در مدت زمان قابل قبول با استفاده از روش‌های جستجو غیرممکن خواهد بود. بنابراین نیاز به روش‌هایی داریم که بتواند به‌طور تصادفی در بخش‌های مختلف فضای حالت مسأله حرکت کرده و بتواند عمل جستجو را انجام دهد. البته باید گفت که انجام حرکات تصادفی با کنترل و هدایت الگوریتم انجام می‌پذیرد. ممکن است چنین تصور شود که به علت تصادفی بودن حرکت، کارایی این الگوریتم‌ها پایین باشد. در حالی که در بیشتر مسائل بهینه‌سازی این روش - های جستجو تنها روش حل مسال خواهند بود. این روش‌ها که معمولاً از طبیعت الهام گرفته می‌شوند به الگوریتم‌های فراابتکاری معروف هستند (عالم تبریز و همکاران، ۱۳۸۷). در زیر شماری از این الگوریتم‌ها را که در کارهایی مرتبط با این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است، توضیح می‌دهیم.

^۱ Meta-Heuristic

۳-۱-۲-۱ الگوریتم ژنتیک^۱

طبیعت همواره بزرگ‌ترین و بهترین معلم انسان‌ها بوده است. آدمی با الهام از طبیعت دست به ساخت وسایل و ارائه روش‌هایی زده است که اکثراً در بین موارد مشابه خود بهترین بوده اند. الگوریتم ژنتیک یا وراثتی نیز یکی از این روش‌ها می‌باشد. الگوریتم ژنتیک یکی از الگوریتم‌های جستجو می‌باشد که به صورت تصادفی جواب مسأله را پیدا می‌کند. این الگوریتم که در دسته الگوریتم‌های آزمون و خطا قرار می‌گیرد، اولین بار توسط هالند^۲ ارائه شد و بر اساس ژنتیک موجودات زنده و عوامل و شرایطی که برای زندگی و ادامه حیات آنها موثر است عمل می‌کند. پایه این روش نظریه داروین است که بر اصل حیات قوی‌ترین موجود در جامعه تأکید می‌کند. این روش با توجه به توانایی‌های بالا، در بسیاری از شاخه‌ها و گرایش‌های کاربردی مورد استفاده قرار گرفت. از این الگوریتم، در حل مسائل بهینه‌سازی پیچیده که نمی‌توان برای آن قوانین خاصی در نظر گرفت استفاده می‌شود. برای حل یک مسأله با استفاده از این روش ابتدا باید پاسخ‌های فرضی مسأله را به صورت خاصی نمایش داد که برای ادامه کار و ارزیابی پاسخ‌ها مشکلی ایجاد نگردد. روش‌های متعددی برای نمایش و کدگذاری وجود دارد که مهم‌ترین و معمول‌ترین آنها روش دودویی و نمایش اعدادی شناور می‌باشد (عبدالعلی زاده شهیر و عشقی، ۱۳۸۲). در آغاز، جمعیت اولیه که جواب‌ها را نشان می‌دهند به صورت تصادفی انتخاب می‌گردد. هر یک از اعضای این جمعیت که کروموزم نامیده می‌شود یکی از پاسخ‌های مسأله می‌باشد. هر یک از این کروموزم‌ها از رشته‌ای از اعداد با طول برابر انتخاب می‌گردد. هر یک از این اعداد ژن نام دارد. الگوریتم ژنتیک بر اساس تکرار عمل می‌کند که به جمعیت در هر مرحله، نسل گفته می‌شود. هر یک از اعضای این نسل بر اساس تابع ارزش، ارزیابی می‌شوند. در این الگوریتم‌ها نسل جدید سعی دارد که ارزش بیشتری از تابع ارزش را به خود اختصاص دهد و با این عملکرد به تابع هدف نزدیک‌تر گردد. در هر مرحله از تکرار، هر یک از کروموزم‌ها با احتمال خاصی با یکدیگر عمل تقاطعی انجام می‌دهند یا به اصطلاح مزدوج می‌شوند که پیامد آن یک یا چند کروموزم جدید به نام فرزند می‌باشد. در این فرزندان ممکن است طبق احتمال خاصی عمل جهش ژنی اتفاق افتد، به این صورت که مقدار یک یا چند ژن از کروموزم تغییر کند (اسمیت و ایبن^۳، ۲۰۰۳).

در مرحله آخر فرزندان طبق تابع ارزش، ارزیابی شده و بر اساس ارزش آنها و ارزش والدین یعنی نسل اولیه که این فرزندان را تولید یعنی نسل اولیه که این فرزندان را تولید کرده‌اند نسل جدید تولید خواهد شد. این مراحل تا جایی تکرار می‌شوند که نسل حاضر به جواب بهینه یا یکی از زیر جواب‌های بهینه همگرا گردد. روش‌های مختلفی برای عملگرهای تقاطعی و جهشی وجود دارد که با توجه به مسأله و پیچیدگی مربوطه یکی از آنها انتخاب می‌گردد (ستایش و همکاران، ۱۳۸۸).

^۱ Genetic algorithm (GA)

^۲ Holland

^۳ Smith and Eiben

۳-۲-۱ الگوریتم بهینه سازی دسته ذرات^۱

الگوریتم دسته ذرات اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط کیندی و ایبره‌ارت^۲ مطرح شد. مانند همه‌ی الگوریتم‌های تکاملی دیگر، الگوریتم دسته ذرات نیز با ایجاد یک جمعیت تصادفی از افراد شروع می‌شود که در اینجا به عنوان یک گروه از ذره‌ها خوانده می‌شوند. مشخصات هر ذره در هر گروه، براساس مجموعه‌ای از پارامترها تعیین می‌شود که باید مقادیر بهینه آنها تعیین شود. در این روش هر ذره یک نقطه از فضای جواب مسأله را نشان می‌دهد. هر کدام از ذرات دارای حافظه هستند، یعنی بهترین موقعیتی که در فضای جستجو به آن می‌رسند را به خاطر می‌سپارند. بنابراین حرکت هر ذره در دو جهت زیر صورت می‌گیرد:

۱. حرکت به سوی بهترین موقعیتی که تاکنون اختیار کرده‌اند.

۲. حرکت به سوی بهترین موقعیتی که همه ذرات تا به حال اختیار کرده‌اند.

در این روش، تغییر موقعیت هر ذره در فضای جستجو تحت تأثیر تجربه و دانش خود و همسایگانش است. در تدوین این روش از پرواز گروهی پرندگان و شنای گروهی ماهی‌ها و زندگی اجتماعی آنان الهام گرفته شده است. دسته‌ای از پرندگان را که در محیطی به دنبال غذا می‌گردند در نظر بگیرید. هیچ یک از آنها اطلاعی از محل غذا ندارند، ولی در هر مرحله، فاصله خود تا محل غذا را می‌دانند. بر این اساس، بهترین رویکرد برای پیدا کردن غذا، پیروی از نزدیکترین پرنده به غذا می‌باشد. الگوریتم پرواز پرندگان، این رفتار را در مسائل بهینه‌سازی شبیه‌سازی میکند (پولی^۳ و کیندی، ۲۰۰۷).

در این الگوریتم، هر پرنده، یک جواب ممکن در فضای جستجوی مسأله می‌باشد. در ابتدا به وسیله گروهی از پرندگان که به طور تصادفی در فضای مسأله تولید شده‌اند، به این الگوریتم مقدار می‌دهیم و سپس جستجو برای رسیدن به بهترین جواب آغاز می‌شود.

در هر مرحله از تکرار الگوریتم، پرنده به سمت موقعیت بهتر جابجا می‌شود. موقعیت بعدی برای هر پرنده با توجه به دو مقدار به دست می‌آید: اولین مقدار، بهترین موقعیتی است که پرنده تا کنون داشته است (pbest) و دومین مقدار، بهترین موقعیتی است که همه پرندگان تا کنون به دست آورده اند (gbest) به بیان دیگر، gbest را می‌توان بهترین pbest در کل گروه در نظر گرفت. این فرآیند تا زمان رسیدن به شرط توقف ادامه پیدا می‌کند. شرط توقف در این الگوریتم، میل کردن سرعت پرندگان به سمت صفر یا رسیدن به تعداد تکرارهای در نظر گرفته شده است. با توجه به مقادیر pbest و gbest، هر پرنده از روابط زیر برای تعیین موقعیت بعدی استفاده می‌کند:

$$v_{ij}(t+1) = w v_{ij}(t) + c_1 r_1 (p_{ij}(t) - x_{ij}(t)) + c_2 r_2 (g_{ij}(t) - x_{ij}(t)) \quad (3-1)$$

^۱ Particle Swarm Optimization (PSO)

^۲ Kennedy and Eberhart

^۳ Poli and Kennedy

$$x_{ij}(t+1) = x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1) \quad (3-1)$$

در روابط فوق ثابت‌های C_1 و C_2 ، پارامترهای یادگیری (میزان تأثیر) را برای $pbest$ و $gbest$ تعیین میکنند (معمولاً ۲). r_1 و r_2 اعدادی تصادفی در محدوده $[0, 1]$ می‌باشند. x_{ij} موقعیت کنونی هر پرنده، v_{ij} سرعت حرکت پرندگان در آن مرحله و w کنترل کننده ضریب اینرسی حرکت ذرات است. در ابتدای اجرای الگوریتم، سرعت بیشتر و بعد از مدتی که به پاسخ نزدیک می‌شویم، به کندی کاهش می‌یابد. توابع مورد استفاده برای این منظور معمولاً باعث کاهشی خطی بعد از هر بار تکرار می‌شوند (الاتس^۱ و همکاران، ۲۰۰۷).

۳-۲-۱-۳ الگوریتم تبرید تدریجی^۲

ایده الگوریتم تبرید تدریجی اولین بار در مقاله‌ای تحت عنوان الگوریتم میتروپولیس^۳ منتشر شد (میتروپولیس و همکاران، ۱۹۵۳). الگوریتم میتروپولیس یک ماده را به سیستم ذرات شبیه‌سازی می‌کرد. این الگوریتم فرایند سرد کردن را از طریق کاهش تدریجی دمای سیستم تا رسیدن به یک حالت ثابت (حالت انجماد) شبیه‌سازی می‌کرد. پس از مطرح شدن این روش، ایده الگوریتم میتروپولیس در مسائل بهینه‌سازی ترکیبی زیادی به کار گرفته شد (کرک پاتریک^۴، ۱۹۸۳). الگوریتم تبرید تدریجی که الگوریتمی ساده و در عین حال قدرتمند می‌باشد یکی از روش‌های متا الگوریتم احتمالی است که برای حل مسائل بهینه‌سازی (کمینه‌سازی) با فضای جستجوی بزرگ به کار می‌رود. این روش برخلاف روش‌های جستجوی معمولی، در هر تکرار علاوه بر حرکت به سوی جواب بهتر، جواب‌های با مقدار تابع هدف بهتر را نیز با احتمال غیر صفری قبول می‌کند. طبیعت تصمیم‌گیری این الگوریتم به این صورت است که برای هر حرکت، یک همسایگی جدید بصورت تصادفی تولید و ارزیابی می‌شود. حرکت به این جواب در هر یک از دو وضعیت زیر انجام خواهد یافت:

۱. جواب جدید از جواب فعلی بهتر باشد.

۲. مقدار تابع احتمال i امین حرکت از یک عدد تصادفی از دامنه $[0, 1]$ بزرگتر باشد.

در غیر این صورت جستجوگر جواب جدیدی را تولید و ارزیابی خواهد نمود. این حرکت گام به گام تا ارضاء شرط توقف الگوریتم (تعداد تکرارها، زمان محاسبات، و ...) ادامه می‌یابد.

ایده روش تبرید تدریجی از عمل سرد کردن تدریجی فلزات نشأت گرفته است. در الگوریتم تبرید تدریجی هر نقطه مانند S از فضای جستجو، بیانگر حالتی از سیستم فیزیکی می‌باشد. تابع $E(S)$ نیز هزینه سیستم در حالت S را بر می‌گرداند. مسأله با یک حالت اولیه شروع شده و با گذر از حالتی به حالت دیگر (حالت‌های

¹ Alatas

² Simulated Annealing (SA)

³ Metropolis

⁴ Kirkpatrick

همسایه) به تدریج هزینه سیستم مینیمم می‌شود (نوجوان، ۱۳۸۶). از مهم ترین ویژگی های الگوریتم تبرید تدریجی قرار نگرفتن در بهینه های محلی می باشد.

میزان کاهش دما در روش تبرید تدریجی بسیار مهم است. برای کاهش دما، دمای فعلی در ضریب α ضرب می شود، توجه شود که مقدار α بین ۰ و ۱ می باشد ($0 < \alpha < 1$). در الگوریتم تبرید تدریجی دما به تدریج و بسیار آهسته کم می شود، پس مقدار α باید به یک نزدیک باشد. کاهش سریع دما سبب توقف برنامه در مینیمم محلی می شود (واکایاما و پیترا سک^۱، ۲۰۰۵).

۳-۱-۲-۴ الگوریتم جامعه مورچگان^۲

انتخاب چند مسیر مختار شوند، با احتمال بزرگتری از مسیری که دارای فرمون بیشتری باشد، عبور می کنند (فرمون ماده ای برای نشانه گذاری محیط و ارتباط غیر مستقیم میان مورچگان می باشد). در ابتدای کار، میزان فرمون تمامی مسیرها برابر است و در نتیجه احتمال انتخاب مسیرها یکسان است. بدین ترتیب، مورچه ها در جستجوی غذا به حرکاتی تصادفی دست می زنند و محیط اطراف لانه را به صورت تصادفی جستجو می کنند. پس از مدتی، به تدریج هر یک از آن ها یک منبع غذایی را یافته و با تکه کوچکی از آن به لانه باز می گردد و در مسیر بازگشت اسید فرمیک ترشح می کند و یا اصطلاحاً فرمون ریزی می کند. مورچه هایی که منابع غذایی نزدیک تری را یافته اند سریع تر به سمت لانه باز می گردند و اثر فرمون آن ها مدت زمان کمتری در مجاورت هوا تبخیر خواهد شد. با حرکت های رفت و برگشتی مورچگان در مسیرهای مختلف، به تدریج فرمون در مسیر کوتاه تر انباشته می شود و فرمون مسیرهای دیگر تبخیر می شود. با توجه به اینکه مورچه ها با احتمال بیشتری از مسیرهایی که دارای فرمون بالاتری هستند عبور می کنند، لذا به تدریج تمامی مورچگان تنها به سمت یک منبع غذایی، که نزدیک ترین منبع تا لانه می باشد، کشیده می شوند.

نقش فرمون در الگوریتم جامعه مورچگان به نوعی ایجاد یک حافظه بلند مدت عددی در مورد مسیرهای مختلفی است که در اثر تکرارهای قبلی جستجو به دست آمده است. تبخیر فرمون هم سبب می شود تا جواب های جدیدتر، تاثیر بیشتری در محیط داشته باشند. هر بار که یک مورچه بین انتخاب چند مسیر مختار می شود، میزان فرمون و (احیاناً) اطلاعات دیگری که در مورد هر یک از مسیرها وجود دارد را بررسی و بر مبنای آن ها و از رابطه از پیش تعریف شده ای، انتخاب مسیرهای مختلف را محاسبه می کند. منظور از "اطلاعات دیگر مسیر"، اطلاعات ابتکاری است که توسط منبعی غیر از مورچه ها تولید می شود. این اطلاعات توسط طراح الگوریتم و با توجه به دانش قبلی او از مسأله مورد حل، به مسیرهای مختلف تخصیص داده می شود. نهایتاً مورچه مذکور، با توجه به احتمال انتخاب مسیرهای مختلف، یکی از آن ها را به صورت تصادفی انتخاب می کند. فرآیند ساخت جواب به همین صورت به پیش می رود تا جواب کاملی برای مساله

¹ Wakayama and Petrask

² Ant Colony Optimization (ACO)

مورد حل به دست آید. در بازگشت به لانه، مورچه روی مسیر جستجوی خود فرمون ریزی کرده و بدین ترتیب درایه‌های ماتریس فرمون ریزی را به‌هنگام می‌کند. در این راه، مورچه‌ای که به جواب‌های بهتری دست یافته است، فرمون بیشتری روی مسیر می‌ریزد. بدین ترتیب در تکرار بعدی الگوریتم، شانس دستیابی مورچه‌ها به جوابی بهتر افزایش می‌یابد (حاج شیر محمدی و همکاران، ۱۳۸۴).

۳-۲ پیشینه‌ی تحقیق

منعم و همکاران در سال ۱۳۸۶ مدلی را به منظور برنامه‌ریزی بهینه‌ی تحویل آب در کانال‌های آبیاری با هدف کاهش ظرفیت کانال‌های توزیع کننده و کاهش زمان مورد نیاز برای تکمیل برنامه‌ی آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. آنها پارامترهایی نظیر حد اکثر ظرفیت کانال‌ها، حد اکثر زمان مورد نیاز برای تکمیل برنامه‌ی آبیاری، دبی تحویلی به آبیگرها، تعداد آبیگرها، مدت زمان تحویل آب به آبیگرهای واقع در هر بلوک آبیاری، تعداد آبیگرهای واقع در هر بلوک آبیاری و فرکانس مجاز آبیاری را در نظر گرفتند. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان اظهار داشت که مدل توسعه یافته می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید در مدیریت توزیع آب در شبکه‌های آبیاری بکار گرفته شود.

موحد و منعم در سال ۱۳۸۶ مدلی را معرفی کردند که قادر است عملکرد کانال را ارزیابی کرده و براساس نیاز درچه‌های آبیگر، تنظیم بهینه‌ی سازه‌های آبیگر و کنترل را به منظور نیل به عملکرد بهینه در شرایط و محدودیت‌های واقعی طرح ارائه نماید. در این مدل از روش بهینه‌سازی SA (تبرید تدریجی) که یک روش عددی با ساختار هوشمند است در ترکیب با مدل هیدرو دینامیک شبیه‌سازی سیستم انتقال آب آبیاری (ICSS)^۱ استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل مورد نظر قادر است پاسخ معتبری را با صحت و دقت کافی در زمان نسبتاً کوتاهی ارائه نماید.

شعبانی و همکاران در سال ۱۳۸۶ یک مدل برنامه‌ریزی خطی را در زمینه مدیریت بهینه در مصرف آب و الگوی کشت در شرایط استفاده‌ی تلفیقی از منابع سطحی و زیرزمینی در سطح مزرعه ارائه دادند. نتایج مدل تهیه شده نشان داد که الگوی بهینه‌ی کشت در فصل اول گندم و در فصل دوم ذرت دانه‌ای و برنج می‌باشد. فتحی و زیبایی در سال ۱۳۸۸ با توجه به این که بین درآمد زارعین و پایداری در مزارعی که متکی بر آب‌های زیرزمینی هستند مبادله وجود دارد، مدل ریاضی جهت بررسی تأثیر میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی بر درآمد کشاورزان و پایداری کشت ارائه دادند. این مدل قادر است که الگوی کشت بهینه، استراتژی‌ها و روش‌های مناسب آبیاری را در سطوح مختلف دسترسی به آب آبیاری، تعیین نمایند و منجر به کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی در مقایسه با شرایط کنونی شود.

منعم و نوری در سال ۱۳۸۹ الگوریتم بهینه‌سازی دسته ذرات (PSO) را برای توزیع و تحویل بهینه آب در کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار دادند. در این مسأله که هدف حداقل سازی ظرفیت کانال و حداکثر استفاده از دوره‌ی آبیاری بوده، دبی و مدت تحویل بهینه‌ی آب به ۱۱ آبیگر با رعایت ظرفیت کانال و سازه‌ها و حداکثر دوره-

^۱ irrigation conveyance system simulation

ی آبیاری تعیین شد. با در نظر گرفتن ۳ بلوک آبیاری (حداکثر تعداد آبگیرهایی که همزمان آبیاری می‌کنند) ظرفیت کانال ۱/۶۴ متر مکعب در ثانیه به دست آمد که در مقایسه با کاربرد روش تبریدتدریجی در همین کانال به میزان ۳۲۰ لیتر در ثانیه کمتر است. نتایج حاصله نشان دهنده‌ی توانایی روش بهینه سازی دسته ذرات در حل مسأله‌ی برنامه‌ریزی بهینه توزیع آب در کانال‌های آبیاری می‌باشد.

چانگ و چن^۱ در سال ۱۹۹۸ از دو نوع از الگوریتم‌های ژنتیک با نام‌های واقعی و باینری برای بهینه سازی مدل مخزن کنترل سیل استفاده کردند. آنها مشاهده کردند که هر دو الگوریتم‌های ژنتیک بکار گرفته شده در مقایسه با روش جسنجوی تصادفی کارا و توانمندتر هستند و در بین این دو الگوریتم نیز الگوریتم واقعی از لحاظ کارایی و سرعت به مراتب بهتر از الگوریتم باینری است.

ووردلا و شریف^۲ در سال ۱۹۹۹ چندین فرمولاسیون از الگوریتم ژنتیک را برای مسأله‌ای قطعی که دارای چهار مخزن آب با افق زمانی محدود می‌باشد را ارزیابی کردند. آنها همچنین یک مسأله‌ی غیرخطی چهار مخزنه و یک مسأله‌ی پیچیده‌ی ده مخزنه را که دارای افق زمانی نامحدود می‌باشند را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم ژنتیک توانایی بالاتری در حل اینگونه مسائل دارد.

نادی متو^۳ و همکاران در سال ۱۹۹۹ یک روش بهینه‌سازی پویای ابتکاری ارائه کردند که مسأله‌ی برنامه‌ریزی آبیاری را به یک مسأله‌ی یک متغیره با یک تابع سود کاذب (تا گره‌ای که به دلیل کمبود متغیرهای حالت رخ می‌دهد را رفع کند) کاهش می‌دهد. این روش یک راه حل تقریبی نسبتاً دقیق بدست می‌آورد که دقت آن به تعداد تکرارها و گام‌های استفاده شده بستگی دارد. پس از اجرای روش ارائه شده این نتیجه حاصل شد که این الگوریتم اکتشافی در مقایسه با برنامه‌ریزی پویا و یا سایر رویکردهای پویا، بسیار کارآمدتر است.

سانسی و پانداریکن تان^۴ در سال ۲۰۰۰ به دلیل ملزومات محاسباتی و محدودیت‌های تکنیک‌های بهینه‌سازی در ساختار ریاضی از پیش تعریف شده شان به ارائه یک نظام توزیع چرخشی آب با توسعه‌ی یک رویکرد چند معیار بر اساس وزن پرداختند. نتایج بدست آمده نشان دهنده‌ی عملکرد بالای سیستم توزیع آب با مدل حاضر در مقایسه با روش زمان بندی مرسوم می‌باشد.

کواو^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۰ یک مدل برنامه‌ریزی آبیاری را (برای پشتیبانی از تصمیمات ارائه شده) با استفاده از الگوریتم ژنتیک در منطقه‌ی دلتا با هدف بهینه سازی سود اقتصادی، شبیه سازی تقاضای آب، افزایش بازده محصول و برآورد درصد محصول منطقه با در نظر گرفتن محدودیت‌های تامین آب و منطقه کشت با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که پارامترهای مناسب برای الگوریتم ژنتیک در این مطالعه برای تعداد نسل‌ها برابر با ۸۰۰، اندازه جمعیت برابر ۵۰، احتمال متقاطع برابر با ۰.۶، و احتمال جهش برابر با ۰.۰۲ می‌باشد.

¹ Chang and Chen

² Wardlaw and Sharif

³ Naadimuthu

⁴ Santhi and Pundarikanthan

⁵ Kuo

ریک^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۱ یک مدل بهینه سازی اقتصادی که متشکل از سه زیر مسأله بهینه سازی مستقل می باشد را برای تخصیص آب آبیاری بین نیازهای کشاورزی با هدف به حداکثر رساندن منافع کل اقتصادی ارائه کردند. نتایج حاصل از این تحقیق در آبیگرهای کوچکی در جنوب اسپانیا مورد استفاده قرار گرفت. نکسن^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۱ به منظور شناسایی برنامه تحویل آب در یک سیستم آبیاری کانال باز از الگوریتم ژنتیک با اهداف به حداکثر رساندن تعداد سفارشات در زمان درخواست شده و به حداقل رساندن تغییرات در نرخ جریان کانال و محدودیت ظرفیت کانال آبیاری استفاده کردند. نتایج نشان دهنده توانایی بالای الگوریتم ژنتیک برای ارائه یک برنامه ریزی مناسب است.

قهرمان و سپاس خواه در سال ۲۰۰۲ یک الگوریتم ترکیبی از برنامه ریزی خطی (با هدف به حداکثر رساندن کل درآمد مزرعه) و برنامه ریزی پویای استوکاستیکی (با هدف بهینه سازی درآمد مورد انتظار مزرعه در طول یک سال) جهت تخصیص بهینه آب از یک مخزن سد یک منظوره برای یک الگوی کشت (گندم، جو، چغندر قند و ذرت در ناحیه ای ارداک واقع در استان خراسان) ارائه کردند.

شانگوان^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۲ یک مدل کنترل مجدد برای تخصیص بهینه منابع آب آبیاری با هدف ماکزیم کردن کارایی ارائه کردند. مدل مورد نظر از سه سطح اساسی زیر تشکیل شده است: سطح اول شامل برنامه ریزی پویا برای بهینه سازی زمانبندی آبیاری محصول می باشد. سطح دوم سرو کار دارد با تخصیص بهینه ی منابع آبی به میان محصولات مختلف و سطح آخر مربوط به تخصیص بهینه ی منابع آبی به میان زیر مناطق مختلف می باشد. به عنوان یک آزمون از این مدل برای تخصیص بهینه ی چندین منبع آبی در چین استفاده شد. محاسبات نشان داد که نه تنها نتایج بدست آمده از مدل فوق منطقی است، بلکه از این روش نیز می توان به طور موثر بر موانع احتمالی که در برنامه ریزی پویا بوجود می آید فائق آمد.

بنلی و کودال^۴ در سال ۲۰۰۳ یک مدل بهینه سازی غیرخطی را به منظور تعیین توزیع بهینه مناطق زیر کشت، مقدار آب مورد نیاز برای محصولات زراعی و درآمد مزرعه تحت شرایطی که عرضه آب محدود و کافی است ارائه کردند. تابع هدف ارائه شده در این تحقیق بر اساس سود می باشد. نتایج حاصل از اجرای این مدل با نتایج بدست آمده از مدل برنامه ریزی خطی مقایسه شد و این نتیجه حاصل شد که مدل ارائه شده می تواند در شرایط کم آبیاری درآمد مزرعه را افزایش دهد.

راجو و نگش کومار^۵ در سال ۲۰۰۴ یک برنامه ریزی را در هند برای به حداکثر رساندن مزایای یک پروژه ی آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک به اجرا درآوردند. محدودیت هایی در نظر گرفته شده در این برنامه ریزی عبارت بودند از: زمین و آب مورد نیاز، تنوع محصول و محدودیت در ذخیره سازی آب موجود. نتایج بدست آمده توسط این الگوریتم با راه حل برنامه ریزی خطی مقایسه شد و این یافت شد که آنها بطور منطقی به همدیگر نزدیک هستند. در واقع الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این تحقیق یک ابزار بهینه سازی مؤثری برای برنامه ریزی

¹ Reca

² Nixon

³ Shangguan

⁴ Benli and Kodal

⁵ Raju and Nageshkumar

آبیاری برپا کرده است که از نتایج به دست آمده توسط آن می‌توان برای ارائه‌ی برنامه‌ریزی کارآمد در هر سیستم آبیاری استفاده کرد.

ووردلا و بک تیکال^۱ در سال ۲۰۰۴ یک الگوریتم ژنتیک را برای یک سیستم های آبیاری چرخشی با هدف بهره برداری بهینه از منابع آبی ارائه کردند. محدودیت‌های اساسی در نظر گرفته شده در این تحقیق حفظ تعادل رطوبت خاک و همچنین در نظر گرفتن ظرفیت کانال آبیاری می باشد. نتایج بدست آمده توسط این تحقیق نشان دهنده‌ی توانایی الگوریتم ژنتیک برای حل مشکلات آبیاری بخصوص برای بخش‌هایی است که با تنش‌های آبی در طول فرایند کشت مواجه هستند.

منعم و نامداری در سال ۲۰۰۵ از تکنیک بهینه‌سازی دسته ذرات به منظور ارائه‌ی یک برنامه‌ریزی چند هدفه استفاده کردند. مدل ارائه شده در این تحقیق، مدت زمان و سرعت آب را بر اساس حجم آب مورد نیاز در نقطه‌ی تحویل با هدف کاهش حجم آب کانال تعیین می‌کند. به منظور بررسی توانایی مدل ارائه شده نتایج حاصل از اجرای این مدل با دست‌آوردهای یک مدل صفرو یک که توسط ونگ^۲ انجام شده است مقایسه شد. و این نتیجه یافت شده که برنامه‌ریزی فوق در مدت زمان کمتری به اهداف ارائه شده دست می‌یابد.

جورجیو و پاپ مای کل^۳ در سال ۲۰۰۸ یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی را به منظور تعیین سیاست بهینه در نحوه‌ی استفاده از مخازن آب ارائه کردند. متغیرهای تصمیم در این تحقیق را منطقه‌ی زیر کشت و آب اختصاص داده شده به هر محصول تشکیل می‌دهد. ماکزیمم کردن درآمد زمین زیر کشت که خود براساس توابع تولید محصول، هزینه تولید و قیمت محصول محاسبه می‌شود به عنوان تابع هدف مدل و بارش باران، تبخیر و تعریق، جریان آب و فاصله‌ی زمانی آبیاری برای هر مرحله از رشد به عنوان ورودی‌های مدل و توزیع مطلوب مناطق زیر کشت، آب مورد نیاز برای هر محصول و کل درآمد کشت به عنوان خروجی‌های مدل ارائه شده می‌باشند. آنها از ترکیب دو الگوریتم SA و GDS^۴ به روشی دست یافتند که از آن برای حل مدل ذکر شده استفاده کردند. پس از اجرای عملی این تحقیق در شمال یونان این نتیجه حاصل شد که مدل حاصله به اندازه کافی پتانسیل مناسب را برای ارائه‌ی یک برنامه‌ریزی آبیاری دارد.

مدر^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۹ با کمک الگوریتم ژنتیک به ارائه‌ی یک زمانبندی بهینه برای کانال‌های آبیاری پرداختند. در اثر مقایسه انجام شده بین زمانبندی بدست آمده از طریق این الگوریتم با زمانبندی بدست آمده از طریق برنامه‌ریزی عدد صحیح (که در یکی از کانال‌های درجه دوم موجود در چین انجام شده است) این نتیجه حاصل شده که رویکرد الگوریتم ژنتیک به مراتب انعطاف پذیری بیشتری برای تصمیم‌گیری درمورد خروجی‌های مختلف موجود در هر کانال آبیاری دارد.

براون^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۰ روشی نو را در تصمیم‌گیری زمانبندی آبیاری مزارع به نام زمانبندی آبیاری

¹ Wardlaw and Bhaktikul

² wang

³ Georgiou and Papamichail

⁴ stochastic gradient descent

⁵ Mathur

⁶ Brown

کانتربری^۱ ارائه کردند که مناسب برای زمانی است که دسترسی به آبهای فصلی محدود می‌باشد. از جمله محدودیت‌های مهم در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارت است از: محدودیت مجموع آب مصرفی برای تک تک محصولات در کل بازه‌های زمانی، محدودیت آب مورد استفاده برای کشت محصولات متفاوت در یک بازه‌ی زمانی و محدودیت آب مصرفی برای هر محصول. روش ذکر شده به دلیل تطبیقش با مدل‌های واقعی کشت و زرع بطور قابل ملاحظه‌ای روش‌های موجود در این زمینه را بهبود بخشیده است. استراتژی‌های آبیاری تعریف شده توسط متغیرهای تصمیم موجود در این تحقیق با استفاده از روش تبرید تدریجی بهینه شده است. نتیجه این بهینه‌سازی استراتژی آبیاری است که توسط آن سود مورد انتظار مزرعه در آینده به حداکثر می‌رسد.

اُهک^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۰ توانایی الگوریتم ژنتیک را در حل مسائل برنامه‌ریزی آبیاری مورد بررسی قرار دادند. آنها مدل‌های مورد نظر را بر اساس الگوریتم ژنتیک فرموله کردند و کیفیت حل بدست آمده از این طریق را با کیفیت حل بدست آمده از طریق برنامه‌ریزی عدد صحیح مقایسه کردند. نتیجه بر توانایی و شایستگی الگوریتم ژنتیک در حل مسائل زمانبندی آبیاری اذعان دارد.

لیو^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۰ مدلی را جهت تخصیص بهینه منابع آبی برای مناطقی که تحت نفوذ آب شور می‌باشند با اهداف حداکثر کردن منافع اقتصادی، حداکثر کردن رضایت اجتماعی و به حداقل رساندن مقدار آب آلوده ارائه کردند. مدل ارائه شده از چهار بخش اساسی تشکیل شده که از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی آن بخش‌ها استفاده شده است. نتایج بدست آمده از حل مدل فوق بر توانایی مدل ارائه شده برای تخصیص بهینه منابع آبی اذعان دارد.

۳-۳ نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده این نتیجه مشهود است که روشهای معمول برای برنامه‌ریزی تحویل و توزیع آب در داخل کشور عموماً ابتکاری و مبتنی بر تجربه کارشناسان مربوطه بوده که مناسب‌ترین روش نمی‌باشند. لذا استفاده از روشهای تحلیلی و بهینه‌سازی می‌تواند بخشی از مشکلات موجود را رفع نماید.

اما مسأله‌ی برنامه‌ریزی توزیع و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری یک مسأله‌ی پیچیده‌ی بهینه‌سازی چند هدفه، چند متغیره، و چند محدودیتی با انواع متغیرها است که حل آن نیازمند کاربرد روش‌های توانمند بهینه‌سازی است. ولی با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده در این زمینه چه در سطح ملی و چه در سطح بین‌المللی این نتیجه مشهود است که اکثر مطالعات انجام شده صرفاً با در نظر گرفتن دو یا سه متغیر و محدودیت (که اکثر آنها در حوزه علوم تخصصی مهندسی کشاورزی می‌باشد) از مجموع متغیر و محدودیت‌های موجود می‌باشد. اما این در حالی است که در این تحقیق با دیدی به مراتب جامع‌تر یعنی با در نظر گرفتن متغیر و محدودیت‌هایی مازاد بر متغیرهای استفاده شد در مطالعات پیشین به ارائه این برنامه‌ریزی خواهیم پرداخت.

¹ Canterbury irrigation scheduler

² UI Haq

³ Liu

بنابراین برای بهینه کردن آب مصرفی در شالیزارها، مسأله‌ی زمانبندی آبیاری باید با دقت به مراتب بیشتری انجام شود. پارامترهایی که به عنوان معیار مهم برای ارائه‌ی یک زمانبندی مناسب در این تحقیق در نظر گرفته شده است عبارت است از:

۱. ارائه‌ی مدل‌هایی برای تخصیص بهینه‌ی ماشین‌آلات و نیروی کار (به دلیل کمبود آنها) به مناطق موجود در یک ناحیه در هر یک از مراحل کشت (شخم دوم، شخم سوم و نشاء، وجین اول و وجین دوم) به منظور مشخص کردن طول زمان هر یک از این فرآیندها تا در نتیجه آب، به شالیزارهای هر منطقه زمانی فرستاده شود که زمین‌های موجود در آن منطقه در حال بهره‌برداری است.

۲. استفاده از آب باران برای صرفه‌جویی در مصرف آب پشت سد (منابع آبی) بر مبنای بکار گیری پیش‌بینی-های هواشناسی.

۳. در نظر گرفتن پارامترهایی همچون تبخیر و تعرق و نشت آب در شالیزارها (که تابع دما و زمان هستند و وابسته به پیش‌بینی هواشناسی)، سرعت جریان آب در شبکه و... برای ارائه‌ی یک زمانبندی درست و دقیق.

بنابراین در این پژوهش ابتدا مدل‌هایی به منظور تخصیص بهینه‌ی ماشین‌آلات و نیروی کار برای هریک از فرآیندهای کشت (به منظور مشخص کردن طول مدت زمان هر یک از فرآیندهای کشت) ارائه می شود و سپس به ارائه‌ی یک مدل به منظور زمانبندی مناسب برای باز و بسته کردن آبگیرهای موجود در هر ناحیه خواهیم پرداخت.

ارائه مدل به منظور توسعه برنامه‌ریزی
زمانبند آبیاری

۴-۱ مقدمه

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که سیستم آبیاری فعلی براساس الگوی کشت تناوبی برنج است بطوریکه تمام شالیزارهای یک ناحیه بطور همزمان آبیاری می‌شوند. در این روش آبیاری در بازه‌های زمانی متناوب آب شبکه‌ی آبرسانی قطع و وصل می‌شود. شرط اصلی که این روش از آن پیروی می‌کند این است که آب شبکه‌ی آبرسانی در بازه‌های زمانی که فرآیندهای اصلی کشت (شخم دوم، شخم سوم، نشاء) انجام می‌شود وصل باشد و پس از آن با توجه به میزان ماندگاری آب در مزارع، نیاز آبی برنج و مقاومت آن در برابر خشکی، آبرسانی بطور تناوبی انجام شود. بنابراین برای بهینه کردن آب مصرفی در شالیزارها، مسأله‌ی زمانبندی آبیاری باید با دقت به مراتب بیشتری انجام شود. پارامترهایی که به عنوان معیار مهم برای ارائه‌ی یک زمانبندی مناسب در این تحقیق در نظر گرفته شده است عبارت است از:

۴. ارائه‌ی مدل‌هایی برای تخصیص بهینه‌ی ماشین‌آلات و نیروی کار (به دلیل کمبود آنها) به مناطق موجود در یک ناحیه در هر یک از مراحل کشت (شخم دوم، شخم سوم و نشاء، وجین اول و وجین دوم) به منظور مشخص کردن طول زمان هر یک از این فرآیندها تا در نتیجه آب، به شالیزارهای هر منطقه زمانی فرستاده شود که زمین‌های موجود در آن منطقه در حال بهره‌برداری است.

۵. استفاده از آب باران برای صرفه‌جویی در مصرف آب پشت سد (منابع آبی) بر مبنای بکارگیری پیش‌بینی‌های هواشناسی.

۶. در نظر گرفتن پارامترهایی همچون تبخیر و تعرق و نشت آب در شالیزارها (که تابع دما و زمان هستند و وابسته به پیش‌بینی هواشناسی)، سرعت جریان آب در شبکه و... برای ارائه‌ی یک زمانبندی درست و دقیق.

بنابراین در این فصل ابتدا مدل‌هایی به منظور تخصیص بهینه‌ی ماشین‌آلات و نیروی کار برای هریک از فرآیندهای کشت (به منظور مشخص کردن طول مدت زمان هر یک از فرآیندهای کشت) ارائه می‌شود و سپس به ارائه‌ی یک مدل به منظور زمانبندی مناسب برای باز و بسته کردن آبگیرهای موجود در هر ناحیه خواهیم پرداخت.

۴-۲ محدودیت‌های در نظر گرفته شده برای مدل‌های ۱، ۲ و ۳

۱. نیروی کار و ماشین‌آلات مورد نیاز هر منطقه باید برآورد شود. با توجه به ماهیت منطقه و سرعت کارگرها

۲. فاصله‌ی زمانی اتمام شخم (از ابتدای روز بعد) و شروع نشاء(اول روز) هر منطقه از یک مقدار ثابت بیشتر نیست این مقدار برای همه‌ی مناطق ثابت است.

۳. هر کدام از نیروی انسانی و ماشین‌آلات (تیلر- تراکتور- ماشین نشاء) در هر ساعت در یک منطقه کار می-کند(محدودیت عدم تداخل).

۴. هر کارگر در هر نیم روز فقط در یک منطقه می‌تواند کار کند.

۵. با اجتناب از فاصله‌ی زمانی بین مناطق غیرهمسایه هر کدام از ماشین‌آلات می‌توانند در یک نیم روز در مناطق مختلف کار کنند.

۶. هر فرد از ساعت ۸ صبح تا ۱۲ و از ۱۴ تا ۱۸ کار می‌کند. و فاصله‌ای بین زمانهای کاری آنها وجود ندارد، یعنی نمی‌تواند یک ساعت کار کند بعد دو ساعت کار نکنند و دوباره شروع به کار کند.

۷. شروع شخم هر منطقه $\geq$ اتمام آن

شروع نشاء هر منطقه $\geq$ زمان اتمام نشاء آنها

شروع وجین هر منطقه $\geq$ زمان اتمام وجین آنها

پایان شخم هر منطقه $\geq$ شروع نشاء آنها

پایان شخم دوم هر منطقه $\geq$ شروع شخم سوم آنها

پایان وجین اول هر منطقه $\geq$ شروع وجین دوم آنها

پایان نشاء هر منطقه $\geq$ شروع وجین اول آنها

۸. شخم نشاء و وجین از اول روز انجام می‌شود(ساعت ۸ صبح).

۹. بین شروع شخم ۳ و اتمام شخم ۲ و نیز شروع وجین اول و اتمام نشاء یک حداکثر و حداقل فاصله زمانی وجود دارد.

۱۰. محدودیت وابستگی متغیرها باید در نظر گرفته شود.

۱۱. محدودیت‌های عدم تداخل بین کارگرها در مناطق در ساعات مختلف باید در نظر گرفته شود.

۳-۴ اندیس‌های در نظر گرفته شده برای مدل‌ها

i: اندیس برای هر یک از مناطق، هر منطقه توسط یک آبگیر اصلی از همدیگر جدا و آبیاری می‌شود(شکل ۱)

$$(i = 1, \dots, A)$$

p: اندیس برای تعداد تراکتور موجود در تمام مناطق

$$(p = 1, \dots, Tr)$$

j: اندیس برای تعداد کارگرهای موجود در تمام مناطق

$$(j = 1, \dots, Wf)$$

s: اندیس برای تعداد ماشینهای نشاء موجود در تمام مناطق

$$(j = 1, \dots, nNe)$$

d: اندیس برای روزهای کاری

$$(d = 1, \dots, D)$$

t: اندیس برای ساعات کاری در هر روز

$$(t = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \text{ and } 8)$$

۴-۴ مشخصات مدل ۱

تخصیص بهینه ماشینآلات برای شخم دوم و تعیین زمان شروع و پایان مرحله‌ی شخم دوم هر منطقه و زمانبندی ماشینآلات موجود با هدف حداقل نمودن زمان اتمام کل پروژه

۴-۴-۱ پارامترها

A: تعداد کل مناطق در نظر گرفته شده

Tr: تعداد کل تراکتورهای موجود در مناطق

Wf: تعداد کل نیروی کار موجود در مناطق

Vtr: سرعت شخم هر دستگاه تراکتور در ساعت (بر حسب متر مربع) با فرض یک نوع بودن تراکتورهای موجود در کل مناطق

a_i : مساحت منطقه i (بر حسب متر مربع)

D: کران بالایی برای زمان اتمام پروژه

۴-۴-۲ متغیرهای تصمیم‌گیری

y_{ipdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر تراکتور p در روز d در ساعت t در منطقه i کار - کند y_{ipdt} برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.

STa_i : زمان شروع شخم منطقه i

FNa_i : زمان اتمام شخم منطقه i

c_{max} : زمان اتمام کل پروژه

rp_{iipdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر تراکتور p در روز d در ساعت t در منطقه i و در ساعت $t + 1$ در منطقه i کار کند rp_{iipdt} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود. به شرطی که:

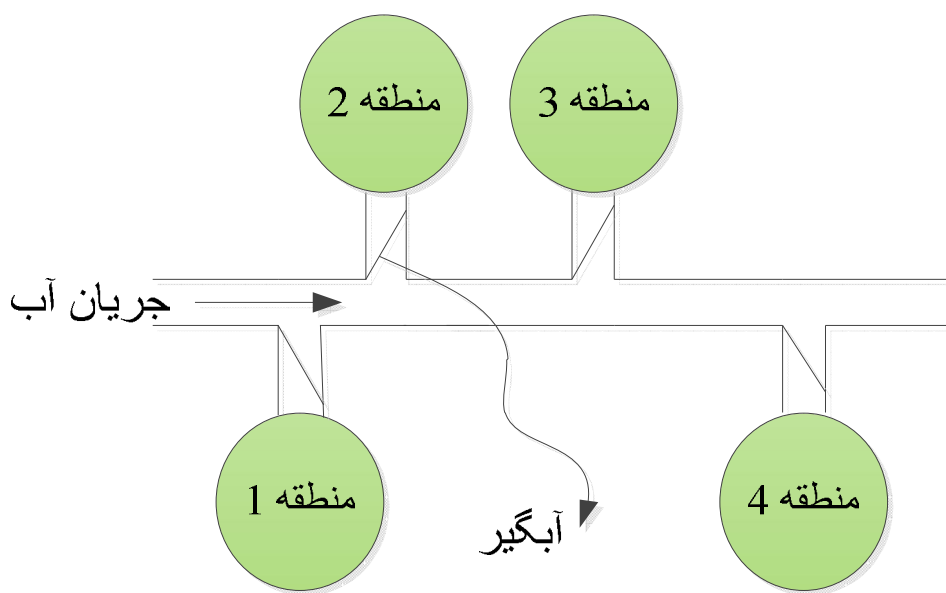
$$i \neq i', t \neq 4 \text{ و } t = 1, 2, 3, 5, 6, 7$$

ga_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع شخم منطقه i در روز d باشد ga_{id} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

gb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام شخم منطقه i در روز d باشد gb_{id} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

ka_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع شخم منطقه i در روزهای 1 تا d باشد ka_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

kb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام شخم منطقه i در روزهای 1 تا d باشد kb_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.



شکل ۴-۱ نمایی از یک ناحیه

۴-۴-۳ مدل ۱

$$Min = \alpha_1 * c_{max} + \alpha_2 * HH \quad (1.4)$$

$$HH = \left(\sum_p \sum_d \sum_{\substack{t=1 \\ t \neq 4}}^7 \sum_{i \neq \bar{i}} \sum_{i \neq i} rp_{i\bar{i}pdt} \right)$$

st:

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq \bar{i}}} y_{ipd(t+1)} \leq 1 - y_{\bar{i}pdt} \quad \forall \bar{i}, p, d, t \left(t = 1, 2, 3, 5, 6, 7 \right) \text{ and } t \neq 4 \quad (2.4)$$

$$y_{ipdt} + y_{\bar{i}pd(t+1)} \geq 2rp_{i\bar{i}pdt} \quad \forall i, \bar{i}, p, d, t (t = 1, \dots, 7), t \neq 4 \text{ and } i \neq \bar{i} \quad (3.4)$$

$$y_{ipdt} + y_{\bar{i}pd(t+1)} \leq 1 + rp_{i\bar{i}pdt} \quad \forall i, \bar{i}, p, d, t (t = 1, \dots, 7), t \neq 4 \text{ and } i \neq \bar{i} \quad (4.4)$$

$$STa_i \leq FNa_i \quad \forall i \quad (5.4)$$

$$FNa_i \leq c_{max} \quad \forall i \quad (6.4)$$

$$Vtr\left(\sum_p \sum_d \sum_t y_{ipdt}\right) \geq a_i \quad \forall \quad (7.4)$$

$$\sum_i y_{ipdt} \leq 1 \quad \forall \quad p, d \text{ and } t \quad (8.4)$$

$$\sum_d ga_{id} = 1 \quad \forall \quad i \quad (9.4)$$

$$\sum_d gb_{id} = 1 \quad \forall \quad i \quad (10.4)$$

$$\sum_p \sum_{\substack{d \\ d < d'}} \sum_t y_{ipdt} \leq M(1 - ga_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' = 1, \dots, (D - 1) \quad (11.4)$$

$$\sum_p \sum_{\substack{d \\ d > d'}} \sum_t y_{ipdt} \leq M(1 - gb_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' = 1, \dots, (D - 1) \quad (12.4)$$

$$\sum_p \sum_t y_{ipdt} \geq ga_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d \quad (13.4)$$

$$\sum_p \sum_t y_{ipdt} \geq gb_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d \quad (14.4)$$

$$ka_{i(d-1)} \geq ka_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (15.4)$$

$$kb_{i(d-1)} \geq kb_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (16.4)$$

$$ka_{id} \geq ga_{id'} \quad \forall \quad i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (17.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} ka_{id} \leq M(1 - ga_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' \quad (18.4)$$

$$kb_{id} \geq gb_{id'} \quad \forall \quad i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (19.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} kb_{id} \leq M(1 - gb_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' \quad (20.4)$$

$$STa_i = \sum_d ka_{id} \quad \forall \quad i \quad (21.4)$$

$$FN a_i = \sum_d kb_{id} \quad \forall \quad i \quad (22.4)$$

تابع هدف (۱) در مدل ارائه شده از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول تابع هدف همانگونه که ذکر شد به مینیمم کردن کل زمان شخم شالیزارهای موجود اشاره می‌کند. به دلیل اینکه یک فاصله‌ی زمانی یک ساعته برای حرکت تراکتورها از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر در نظر گرفته شده است (محدودیت‌های (۲)، (۳)، و (۴)) بنابراین برای مینیمم کردن تعداد دفعات نقض این موضوع بخش دوم تابع هدف در نظر گرفته شده است، و چون بخش اول تابع هدف، هدف اصلی برنامه‌ریزی فوق می‌باشد لذا $\alpha_1 \gg \alpha_2$ ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1$) است. به دلیل اینکه تراکتورها می‌توانند در فاصله‌ی بین بازه‌ی زمانی اول و دوم بدون هیچ گونه محدودیتی به منطقه‌ی دیگر حرکت کنند بنابراین ساعت آخر بازه‌ی زمانی اول ($t = 4$) از بخش دوم تابع هدف حذف شده است. محدودیت‌های (۵) و (۶) به زمان شروع و پایان عملیات شخم هریک از مناطق اشاره دارند. محدودیت (۷) به این نکته که تمام سطح زیر کشت باید در بازه‌ی زمانی مورد نظر شخم شود اشاره می‌کنند. با توجه به اینکه تراکتورها در هر ساعت فقط می‌توانند بر روی یک منطقه کار کنند لذا برای این منظور محدودیت (۸) مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای مورد استفاده در محدودیت‌های (۹) و (۱۰) با گرفتن مقدار یک به خود به این نکته که زمان شروع و پایان عملیات شخم در یک روز مشخص است اشاره می‌کنند. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) به محدوده‌ی زمانی انجام عملیات شخم اشاره دارد بطوری که بر طبق این محدودیت‌ها قبل از شروع و بعد از پایان عملیات شخم هیچ یک از ماشین‌آلات و نیروی کار مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. بر طبق محدودیت‌های (۱۳) و (۱۴) حتماً در زمان شروع و پایان عملیات شخم باید حداقل یکی از تراکتورهای موجود در منطقه‌ی مورد نظر حضور داشته باشند. با توجه به اینکه داشتن عدد مشخص برای شروع و پایان عملیات شخم از مبدأ زمان به منظور برنامه‌ریزی آبیاری در مدل دوم بسیار مهم است بنابراین محدودیت‌های (۱۵)، (۱۶)، (۱۷)، (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) زمینه را برای داشتن این اعداد در تساوی‌های (۲۱) و (۲۲) که به ترتیب اعداد مربوط به زمان شروع و پایان عملیات شخم از مبدأ زمان هستند فراهم می‌کنند.

۴-۵ مشخصات مدل ۲

تعیین زمان شروع و پایان مرحله‌ی شخم سوم و نشاء هر منطقه و زمانبندی ماشین‌آلات و نیروی کار موجود با هدف حداقل نمودن زمان اتمام کل پروژه (نشاء آخرین زمین).

۴-۵-۱ پارامترها

A : تعداد کل مناطق در نظر گرفته شده

Tr : تعداد کل تراکتورهای موجود در مناطق

Ne : تعداد کل ماشین‌های نشاء موجود در مناطق

Wf : تعداد کل نیروی کار موجود در مناطق

Vtr : سرعت شخم هر دستگاه تراکتور در ساعت (بر حسب متر مربع) با فرض یک نوع بودن تراکتورهای موجود در کل مناطق

V_{wf} : سرعت نشاء هر نفر در ساعت (بر حسب متر مربع) با فرض یکسان بودن قدرت کارگرهای موجود در کل مناطق

V_{ne} : سرعت نشاء هر دستگاه ماشین نشاء در ساعت (بر حسب متر مربع) با فرض یک نوع بودن ماشین‌های نشاء موجود در کل مناطق

a_i : مساحت منطقه i (بر حسب متر مربع)

at_i : حداکثر فاصله‌ی زمانی بین پایان شخم و شروع نشاء مناطق

D : کران بالایی برای زمان اتمام پروژه

۴-۵-۲ متغیرهای تصمیم‌گیری

y_{ipdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر تراکتور p در روز d در ساعت t در منطقه i کار - کند y_{ipdt} برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.

x_{ijdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر کارگر j در روز d در ساعت t در منطقه i کار کند x_{ijdt} برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.

$w_{isd t}$: یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر ماشین نشاء s در روز d در ساعت t در منطقه i کار کند $w_{isd t}$ برابر یک و در غیر اینصورت برابر صفر خواهد بود.

STa_i : زمان شروع شخم منطقه i

FNa_i : زمان اتمام شخم منطقه i

STb_i : زمان شروع نشاء منطقه i

FNb_i : زمان اتمام نشاء منطقه i

c_{max} : زمان اتمام کل پروژه

rp_{iipdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر تراکتور p در روز d در ساعت t در منطقه i و در ساعت $t + 1$ در منطقه i کار کند rp_{iipdt} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود. به شرطی که:

$$i \neq i', t \neq 4 \text{ و } t = 1, 2, 3, 5, 6, 7$$

$rs_{i\ddot{u}sdt}$: یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر ماشین نشاء s در روز d در ساعت t در منطقه i و در ساعت $t + 1$ در منطقه i' کار کند $rs_{i\ddot{u}sdt}$ برابر یک در غیر اینصورت صفر خواهد بود. به شرطی که:

$$i \neq i', t \neq 4 \text{ و } t = 1, 2, 3, 5, 6, 7$$

ga_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع شخم منطقه i در روز d باشد ga_{id} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

gb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام شخم منطقه i در روز d باشد gb_{id} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

ha_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع نشاء منطقه i در روز d باشد ha_{id} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

hb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام نشاء منطقه i در روز d باشد hb_{id} برابر یک و در غیر اینصورت صفر خواهد بود.

ka_{id} : یک متغیر تصمیم صفرو یک است، بطوریکه اگر زمان شروع شخم منطقه i در روزهای 1 تا d باشد ka_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

kb_{id} : یک متغیر تصمیم صفرو یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام شخم منطقه i در روزهای 1 تا d باشد kb_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

la_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع نشاء منطقه i در روزهای 1 تا d باشد la_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

lb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام نشاء منطقه i در روزهای 1 تا d باشد lb_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

۲-۵-۴ مدل ۲

$$Min = \alpha_1 * c_{max} + \alpha_2 * HH \quad (23.4)$$

$$HH = \left(\sum_s \sum_d \sum_{\substack{t=1 \\ t \neq 4}}^7 \sum_{i \neq i'} rs_{i\ddot{u}sdt} + \sum_p \sum_d \sum_{\substack{t=1 \\ t \neq 4}}^7 \sum_{i \neq i'} rp_{i\ddot{u}pdt} \right)$$

st:

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq \bar{i}}} y_{ipd(t+1)} \leq 1 - y_{ipdt} \quad \forall \quad \bar{i}, p, d, t \left(t = 1, 2, 3, 5, 6, 7 \right) \text{ and } t \neq 4 \quad (24.4)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq \bar{i}}} w_{isd(t+1)} \leq 1 - w_{isdt} \quad \forall \quad \bar{i}, s, d, t \left(t = 1, 2, 3, 5, 6, 7 \right) \text{ and } t \neq 4 \quad (25.4)$$

$$y_{ipdt} + y_{ipd(t+1)} \geq 2rp_{i\bar{i}pdt} \quad \forall \quad i, \bar{i}, p, d, t (t = 1, \dots, 7), t \neq 4 \text{ and } i \neq \bar{i} \quad (26.4)$$

$$y_{ipdt} + y_{ipd(t+1)} \leq 1 + rp_{i\bar{i}pdt} \quad \forall \quad i, \bar{i}, p, d, t (t = 1, \dots, 7), t \neq 4 \text{ and } i \neq \bar{i} \quad (27.4)$$

$$w_{isdt} + w_{isd(t+1)} \geq 2rs_{i\bar{i}sdt} \quad \forall \quad i, \bar{i}, s, d, t (t = 1, \dots, 7), t \neq 4 \text{ and } i \neq \bar{i} \quad (28.4)$$

$$w_{isdt} + w_{isd(t+1)} \leq 1 + rs_{i\bar{i}sdt} \quad \forall \quad i, \bar{i}, s, d, t (t = 1, \dots, 7), t \neq 4 \text{ and } i \neq \bar{i} \quad (29.4)$$

$$STa_i \leq FNa_i \quad \forall \quad i \quad (30.4)$$

$$STa_i \leq FNb_i \quad \forall \quad i \quad (31.4)$$

$$STb_i \geq 1 + FNa_i \quad \forall \quad i \quad (32.4)$$

$$STb_i \leq FNa_i + at_i \quad \forall \quad i \quad (33.4)$$

$$STb_i \leq FNb_i \quad \forall \quad i \quad (34.4)$$

$$FNa_i \leq c_{max} \quad \forall \quad i \quad (35.4)$$

$$Vtr \left(\sum_p \sum_d \sum_t y_{ipdt} \right) \geq a_i \quad \forall \quad i \quad (36.4)$$

$$Vne \left(\sum_s \sum_d \sum_t w_{isdt} \right) + Vwf \left(\sum_s \sum_d \sum_t x_{ijdt} \right) \geq a_i \quad \forall \quad i \quad (37.4)$$

$$\sum_i y_{ipdt} \leq 1 \quad \forall \quad p, d \text{ and } t \quad (38.4)$$

$$\sum_i x_{ijdt} \leq 1 \quad \forall \quad q, d \text{ and } t \quad (39.4)$$

$$\sum_i w_{isdt} \leq 1 \quad \forall \quad s, d \text{ and } t \quad (40.4)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq \bar{i}}} x_{ijdt} \leq M(1 - x_{i\bar{j}d1}) \quad \forall \quad t (t = 2, 3, 4), \bar{i}, d \text{ and } j \quad (41.4)$$

$$\sum_{\substack{i \\ i \neq \bar{i}}} x_{ijdt} \leq M(1 - x_{ijd5}) \quad \forall \quad t(t = 6, 7, 8), i, d \text{ and } j \quad (42.4)$$

$$x_{ijdt} \geq x_{ijd(t+1)} \quad t(t = 1, 2, 3, 5, 6, 7), i, j \text{ and } d \quad (43.4)$$

$$\sum_d ga_{id} = 1 \quad \forall \quad i \quad (44.4)$$

$$\sum_d gb_{id} = 1 \quad \forall \quad i \quad (45.4)$$

$$\sum_d ha_{id} = 1 \quad \forall \quad i \quad (46.4)$$

$$\sum_d hb_{id} = 1 \quad \forall \quad i \quad (47.4)$$

$$\sum_p \sum_{\substack{d \\ d < d'}} \sum_t y_{ipdt} \leq M(1 - ga_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' = 1, \dots, (D - 1) \quad (48.4)$$

$$\sum_p \sum_{\substack{d \\ d > d'}} \sum_t y_{ipdt} \leq M(1 - gb_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' = 1, \dots, (D - 1) \quad (49.4)$$

$$\sum_s \sum_{\substack{d \\ d < d'}} \sum_t w_{isdt} + \sum_j \sum_{\substack{d \\ d < d'}} \sum_t x_{ijdt} \leq M(1 - ha_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' = 2, \dots, D \quad (50.4)$$

$$\sum_s \sum_{\substack{d \\ d > d'}} \sum_t w_{isdt} + \sum_j \sum_{\substack{d \\ d > d'}} \sum_t x_{ijdt} \leq M(1 - hb_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' = 1, \dots, (D - 1) \quad (51.4)$$

$$\sum_p \sum_t y_{ipdt} \geq ga_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d \quad (52.4)$$

$$\sum_p \sum_t y_{ipdt} \geq gb_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d \quad (53.4)$$

$$\sum_s \sum_t w_{isdt} + \sum_j \sum_d \sum_t x_{ijdt} \geq ha_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d \quad (54.4)$$

$$\sum_s \sum_t w_{isdt} + \sum_j \sum_d \sum_t x_{ijdt} \geq hb_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d \quad (55.4)$$

$$ka_{i(d-1)} \geq ka_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (56.4)$$

$$kb_{i(d-1)} \geq kb_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (57.4)$$

$$la_{i(d-1)} \geq la_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (58.4)$$

$$lb_{i(d-1)} \geq lb_{id} \quad \forall \quad i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (59.4)$$

$$ka_{id} \geq ga_{id'} \quad \forall \quad i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (60.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} ka_{id} \leq M(1 - ga_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' \quad (61.4)$$

$$kb_{id} \geq gb_{id'} \quad \forall \quad i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (62.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} kb_{id} \leq M(1 - gb_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' \quad (63.4)$$

$$la_{id} \geq ha_{id'} \quad \forall \quad i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (64.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} la_{id} \leq M(1 - ha_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' \quad (65.4)$$

$$lb_{id} \geq hb_{id'} \quad \forall \quad i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (66.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} lb_{id} \leq M(1 - hb_{id'}) \quad \forall \quad i \text{ and } d' \quad (67.4)$$

$$STa_i = \sum_d ka_{id} \quad \forall \quad i \quad (68.4)$$

$$FNa_i = \sum_d kb_{id} \quad \forall \quad i \quad (69.4)$$

$$ST_i = \sum_d la_{id} \quad \forall \quad i \quad (70.4)$$

$$FNb_i = \sum_d lb_{id} \quad \forall \quad i \quad (71.4)$$

تابع هدف (۲۳) در مدل ارائه شده از دو بخش اصلی تشکیل شده است. بخش اول تابع هدف همانگونه که ذکر شد به مینیمم کردن کل زمان شخم و نشاء شالیزارهای موجود اشاره می کند. به دلیل اینکه یک فاصله‌ی زمانی یک ساعته برای حرکت ماشین‌آلات (تراکتور و ماشین نشاء) از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر در نظر گرفته شده است (محدودیت‌های (۲۴)، (۲۵)، (۲۶)، (۲۷)، (۲۸)، و (۲۹)) بنابراین برای مینیمم کردن تعداد دفعات نقض این موضوع بخش دوم تابع هدف در نظر گرفته شده است، و چون بخش اول تابع هدف، هدف اصلی برنامه‌ریزی فوق

می‌باشد لذا $\alpha_1 \gg \alpha_2$ ($\alpha_1 + \alpha_2 = 1$) است. به دلیل اینکه ماشین‌آلات می‌توانند در فاصله‌ی بین بازه‌ی زمانی اول و دوم بدون هیچ گونه محدودیتی به منطقه‌ی دیگر حرکت کنند بنابراین ساعت آخر بازه‌ی زمانی اول ($t = 4$) از بخش دوم تابع هدف حذف شده است. محدودیت‌های (۳۰)، (۳۱)، (۳۲)، (۳۳)، (۳۴) و (۳۵) به فاصله‌ی زمانی بین اتمام شخم و شروع نشاء هریک از مناطق اشاره دارند. دو محدودیت (۳۶) و (۳۷) به این نکته که تمام سطح زیر کشت باید در بازه‌ی زمانی مورد نظر شخم و نشاء شود اشاره می‌کنند. با توجه به اینکه هر کدام از ماشین‌آلات و نیروی کار در هر ساعت فقط می‌توانند بر روی یک منطقه کار کنند لذا برای این منظور محدودیت‌های (۳۸)، (۳۹) و (۴۰) مورد استفاده قرار گرفت. محدودیت‌های (۴۱)، (۴۲) و (۴۳) به این موضوع که نیروی کار فقط در فاصله‌ی زمانی بین ۴ ساعت اول و دوم (فاصله‌ی بین ساعت ۱۲ تا ۱۴) می‌توانند از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر انتقال پیدا کنند اشاره می‌کنند. متغیرهای مورد استفاده در محدودیت‌های (۴۴)، (۴۵)، (۴۶) و (۴۷) با گرفتن مقدار یک به خود به این نکته که زمان شروع و پایان هر یک از عملیات‌ها شخم و نشاء در یک روز مشخص است اشاره می‌کنند. محدودیت‌های (۴۸)، (۴۹)، (۵۰) و (۵۱) به محدوده‌ی زمانی انجام عملیات شخم و نشاء اشاره دارد بطوری که بر طبق این محدودیت‌ها قبل از شروع و بعد از پایان عملیات شخم و نشاء هیچ یک از ماشین‌آلات و نیروی کار مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. بر طبق محدودیت‌های (۵۲)، (۵۳)، (۵۴) و (۵۵) حتماً در زمان شروع و پایان عملیات شخم و نشاء باید حداقل یکی از ماشین‌آلات و نیروی کار موجود در منطقه‌ی مورد نظر حضور داشته باشند. با توجه به اینکه داشتن عدد مشخص برای شروع و پایان هر یک از عملیات‌های شخم و نشاء از مبدأ زمان به منظور برنامه‌ریزی آبیاری در مدل دوم بسیار مهم است بنابراین محدودیت‌های (۵۶)، (۵۷)، (۵۸)، (۵۹)، (۶۰)، (۶۱)، (۶۲)، (۶۳)، (۶۴)، (۶۵)، (۶۶) و (۶۷) زمینه را برای داشتن این اعداد در تساوی‌های (۶۸)، (۶۹)، (۷۰) و (۷۱) که به ترتیب اعداد مربوط به زمان شروع و پایان عملیات شخم و نشاء از مبدأ زمان هستند فراهم می‌کنند.

۴-۶ مشخصات مدل ۳

تعیین زمان شروع و پایان وجین اول و وجین دوم هر منطقه و زمانبندی نیروی کار موجود با هدف حداقل نمودن زمان اتمام کل پروژه.

۴-۶-۱ پارامترها

A : تعداد کل مناطق در نظر گرفته شده

Wf : تعداد کل نیروی کار موجود در مناطق

$Vwf1$: سرعت وجین اول هر نفر در ساعت (بر حسب متر مربع) با فرض یکسان بودن قدرت کارگرهای موجود در کل مناطق

$Vwf2$: سرعت وجین دوم هر نفر در ساعت (بر حسب متر مربع) با فرض یکسان بودن قدرت کارگرهای موجود در کل مناطق

a_i : مساحت منطقه i (بر حسب متر مربع)

$at1_i$: حداقا فاصله‌ی زمانی بین وجین اول و وجین دوم مناطق

$at2_i$: حداکثر فاصله‌ی زمانی بین وجین اول و وجین دوم مناطق

D : کران بالایی برای زمان اتمام پروژه

۴-۶-۲ متغیرهای تصمیم‌گیری

xa_{ijdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر کارگر j در روز d در ساعت t در منطقه i کار کند (به منظور وجین اول) xa_{ijdt} برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

xb_{ijdt} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر کارگر j در روز d در ساعت t در منطقه i کار کند (به منظور وجین دوم) xb_{ijdt} برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

STa_i : زمان شروع وجین اول منطقه i

FNa_i : زمان اتمام وجین اول منطقه i

STb_i : زمان شروع وجین دوم منطقه i

FNb_i : زمان اتمام وجین دوم منطقه i

c_{max} : زمان اتمام کل پروژه

ga_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع وجین اول منطقه i در روز d باشد برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

gb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام وجین اول منطقه i در روز d باشد برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

ha_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع وجین دوم منطقه i در روز d باشد برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

hb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام وجین دوم منطقه i در روز d باشد برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

ka_{id} : یک متغیر تصمیم صفرو یک است، بطوریکه اگر زمان شروع وجین اول منطقه i در روزهای 1 تا d باشد ka_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

kb_{id} : یک متغیر تصمیم صفرو یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام وجین اول منطقه i در روزهای 1 تا d باشد kb_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

la_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان شروع وجین دوم منطقه i در روزهای 1 تا d باشد la_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

lb_{id} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر زمان اتمام وجین دوم منطقه i در روزهای 1 تا d باشد lb_{id} در این فاصله‌ی زمانی برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

$$Min = c_{max} \quad (72.4)$$

st:

$$STa_i \leq FNa_i \quad \forall i \quad (73.4)$$

$$STa_i \leq FNb_i \quad \forall i \quad (74.4)$$

$$STb_i \geq 1 + FNa_i + ata_i \quad \forall i \quad (75.4)$$

$$STb_i \leq 1 + FNa_i + atb_i \quad \forall i \quad (76.4)$$

$$STb_i \geq 1 + FNa_i \quad \forall i \quad (77.4)$$

$$STb_i \leq FNb_i \quad \forall i \quad (78.4)$$

$$FNb_i \leq c_{max} \quad \forall i \quad (79.4)$$

$$Vwf1 \left(\sum_j \sum_d \sum_t xa_{ijdt} \right) \geq a_i \quad \forall i \quad (80.4)$$

$$Vwf2 \left(\sum_j \sum_d \sum_t xb_{ijdt} \right) \geq a_i \quad \forall i \quad (81.4)$$

$$\sum_t xa_{ijdt} \leq 1 \quad \forall j, d \text{ and } t \quad (82.4)$$

$$\sum_t xb_{ijdt} \leq 1 \quad \forall j, d \text{ and } t \quad (83.4)$$

$$\sum_{\substack{t \\ i \neq \bar{i}}} xa_{ijdt} \leq M \left(1 - xa_{ijd1} \right) \quad \forall t(t = 2, 3, 4), i, d \text{ and } j \quad (84.4)$$

$$\sum_{\substack{t \\ i \neq \bar{i}}} xa_{ijdt} \leq M \left(1 - xa_{ijd5} \right) \quad \forall t(t = 6, 7, 8), i, d \text{ and } j \quad (85.4)$$

$$xa_{ijdt} \geq xa_{ijd(t+1)} \quad \forall t(t = 1, 2, 3, 5, 6, 7), i, j \text{ and } d \quad (86.4)$$

$$\sum_{\substack{t \\ i \neq \bar{i}}} xb_{ijdt} \leq M \left(1 - xb_{ijd1} \right) \quad \forall t(t = 2, 3, 4), i, d \text{ and } j \quad (87.4)$$

$$\sum_{\substack{t \\ i \neq \bar{i}}} xb_{ijdt} \leq M \left(1 - xb_{ijd5} \right) \quad \forall t(t = 6, 7, 8), i, d \text{ and } j \quad (88.4)$$

$$xb_{ijdt} \geq xb_{ijd(t+1)} \quad \forall t(t = 1, 2, 3, 5, 6, 7), i, j \text{ and } d \quad (89.4)$$

$$\sum_d ga_{id} = 1 \quad \forall i \quad (90.4)$$

$$\sum_d gb_{id} = 1 \quad \forall i \quad (91.4)$$

$$\sum_d ha_{id} = 1 \quad \forall i \quad (92.4)$$

$$\sum_d hb_{id} = 1 \quad \forall i \quad (93.4)$$

$$\sum_j \sum_{\substack{d \\ d < d'}} \sum_t xa_{ijdt} \leq M \left(1 - ga_{id'} \right) \quad \forall i \text{ and } d' = 1, \dots, (D-1) \quad (94.4)$$

$$\sum_j \sum_{\substack{d \\ d > d'}} \sum_t xa_{ijdt} \leq M \left(1 - gb_{id'} \right) \quad \forall i \text{ and } d' = 1, \dots, (D-1) \quad (95.4)$$

$$\sum_j \sum_{\substack{d \\ d < d'}} \sum_t xb_{ijdt} \leq M \left(1 - ga_{id'} \right) \quad \forall i \text{ and } d' = 1, \dots, (D-1) \quad (96.4)$$

$$\sum_j \sum_{\substack{d \\ d > d'}} \sum_t xb_{ijdt} \leq M \left(1 - gb_{id'} \right) \quad \forall i \text{ and } d' = 1, \dots, (D-1) \quad (97.4)$$

$$\sum_j \sum_t xa_{ijdt} \geq ga_{id} \quad \forall i \text{ and } d \quad (98.4)$$

$$\sum_j \sum_t xa_{ijdt} \geq gb_{id} \quad \forall i \text{ and } d \quad (99.4)$$

$$\sum_j \sum_t xb_{ijdt} \geq ha_{id} \quad \forall i \text{ and } d \quad (100.4)$$

$$\sum_j \sum_t xb_{ijdt} \geq hb_{id} \quad \forall i \text{ and } d \quad (101.4)$$

$$ka_{i(d-1)} \geq ka_{id} \quad \forall i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (102.4)$$

$$kb_{i(d-1)} \geq kb_{id} \quad \forall i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (103.4)$$

$$la_{i(d-1)} \geq la_{id} \quad \forall i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (104.4)$$

$$lb_{i(d-1)} \geq lb_{id} \quad \forall i \text{ and } d = 2, \dots, D \quad (105.4)$$

$$ka_{id} \geq ga_{id} \quad \forall i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (106.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} ka_{id} \leq M(1 - ga_{id}) \quad \forall i \text{ and } d' \quad (107.4)$$

$$kb_{id} \geq gb_{id} \quad \forall i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (108.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} kb_{id} \leq M(1 - gb_{id}) \quad \forall i \text{ and } d' \quad (109.4)$$

$$la_{id} \geq ha_{id} \quad \forall i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (110.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} la_{id} \leq M(1 - ha_{id}) \quad \forall i \text{ and } d' \quad (111.4)$$

$$lb_{id} \geq hb_{id} \quad \forall i, d, d' \text{ and } d \leq d' \quad (112.4)$$

$$\sum_{\substack{d \\ d > d'}} lb_{id} \leq M(1 - hb_{id}) \quad \forall i \text{ and } d' \quad (113.4)$$

$$STa_i = \sum_d ka_{id} \quad \forall i \quad (114.4)$$

$$FNa_i = \sum_d kb_{id} \quad \forall i \quad (115.4)$$

$$ST_i = \sum_d la_{id} \quad \forall i \quad (116.4)$$

$$FNb_i = \sum_d lb_{id} \quad \forall i \quad (117.4)$$

تابع هدف (۷۲) همانگونه که ذکر شد به مینیمم کردن کل زمان وجین اول و دوم شالیزارهای موجود اشاره می‌کند. محدودیت‌های (۷۳)، (۷۴)، (۷۵)، (۷۶)، (۷۷)، (۷۸) و (۷۹) به فاصله‌ی زمانی بین اتمام وجین اول و شروع وجین دوم هریک از مناطق اشاره دارند. دو محدودیت (۸۰) و (۸۱) به این نکته که تمام سطح زیر کشت باید در بازه‌ی زمانی مورد نظر وجین اول و دوم شود اشاره می‌کنند. با توجه به اینکه هر کدام از نیروی کار در هر ساعت فقط می‌توانند بر روی یک منطقه کار کنند لذا برای این منظور محدودیت‌های (۸۲) و (۸۳) مورد استفاده قرار گرفته است. محدودیت‌های (۸۴)، (۸۵)، (۸۶)، (۸۷)، (۸۸) و (۸۹) به این موضوع که نیروی کار فقط در فاصله‌ی زمانی بین ۴ ساعت اول و دوم (فاصله‌ی بین ساعت ۱۲ تا ۱۴) می‌توانند از یک منطقه به منطقه‌ی دیگر انتقال پیدا کنند اشاره می‌کنند. متغیرهای مورد استفاده در محدودیت‌های (۹۰)، (۹۱)، (۹۲) و (۹۳) با

گرفتن مقدار یک به خود به این نکته که زمان شروع و پایان هر یک از عملیات‌های وجین اول و دوم در یک روز مشخص است اشاره می‌کنند. محدودیت‌های (۹۴)، (۹۵)، (۹۶) و (۹۷) به محدوده‌ی زمانی انجام عملیات وجین اول و دوم اشاره دارد بطوریکه بر طبق این محدودیت‌ها قبل از شروع و بعد از پایان عملیات وجین اول و دوم هیچ یک از نیروی کار مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. بر طبق محدودیت‌های (۹۸)، (۹۹)، (۱۰۰) و (۱۰۱) حتماً در زمان شروع و پایان عملیات وجین اول و دوم باید حداقل یک نیروی کار در منطقه‌ی موردنظر حضور داشته باشد. با توجه به اینکه داشتن عدد مشخص برای شروع و پایان هر یک از عملیات‌های وجین اول و دوم از مبدأ زمان به منظور برنامه‌ریزی آبیاری در مدل دوم بسیار مهم است بنابراین محدودیت‌های (۱۰۲)، (۱۰۳)، (۱۰۴)، (۱۰۵)، (۱۰۶)، (۱۰۷)، (۱۰۸)، (۱۰۹)، (۱۱۰)، (۱۱۱)، (۱۱۲) و (۱۱۳) زمینه را برای داشتن این اعداد در تساوی‌های (۱۱۴)، (۱۱۵)، (۱۱۶) و (۱۱۷) که به ترتیب اعداد مربوط به زمان شروع و پایان عملیات وجین اول و دوم از مبدأ زمان هستند فراهم می‌کنند.

۴-۷ مشخصات مدل ۴

تعیین زمان بهینه‌ی باز و بسته کردن آبیگرهای موجود در هر ناحیه جهت حداقل کردن آب مصرفی

۴-۷-۱ محدودیت‌ها

۱. محدودیت حداقل پوشش حجم آب مورد نیاز هر زمین در هر روز برای هر مرحله با توجه به تبخیر و تعریق، نفوذ آب در زمین، هدر رفت آب در شبکه، آب‌های موجود از مراحل قبل و آب موجود از بارش باران و ... اگر بارش باران کار را مختل کند این محدودیت زائد می‌شود.
۲. محدودیت رسیدن آب به آخرین کرت موجود در منطقه
۳. محدودیت بارش باران و اختلال باران که به دو صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:
 - اگر بارش باران سبب اختلال کار شود آنگاه آبیگر مربوطه بسته می‌شود.
 - اگر بارش باران کار را مختل نکند به حجم آب مورد نیاز اضافه می‌شود.

۴-۷-۲ اندیس‌های در نظر گرفته شده برای مدل

i : اندیس برای هر یک از مناطق، هر منطقه توسط یک آبیگر اصلی از همدیگر جدا و آبیاری می‌شود (شکل ۱)

$$(i = 1, \dots, A)$$

t : اندیس برای بازه‌های زمانی

$$(t = 1, \dots, T)$$

۴-۷-۳ پارامترها

A : تعداد کل مناطق در نظر گرفته شده

T : تعداد کل بازه‌های زمانی در نظر گرفته شده برای هر یک از مناطق (این مقدار از مدل اول بدست می‌آید)

v_i : حداکثر ارتفاع آب ورودی به منطقه i (بر حسب میلیمتر)
 e_{it} : پارامتری با مقدار صفر و یک است، بطوریکه اگر در روز t ام شدت بارش باران بقدری باشد که حداقل آب مورد نیاز آن روز تأمین شود e_{it} در آن روز مقدار یک بخود می‌گیرد در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

vol_i : حداقل ارتفاع آب مورد نیاز منطقه‌ی i در روز t ام (بر حسب میلیمتر)
 tt_{it} : میزان تبخیر، تبخیر و تعریق، نفوذ عمقی و هدر رفت آب در هر کرت بر حسب میلیمتر در هر روز برای هر منطقه

ab_{it} : ارتفاع آب حاصل از بارش باران (بر حسب میلیمتر) در روز t ام در منطقه i
 bo_i : ارتفاع آب موجود برای منطقه i (بر حسب میلیمتر) در ابتدای برنامه‌ریزی
 d_i : حداقل مدت زمان در نظر گرفته شده از مبدأ برای شروع برنامه‌ریزی آبیاری
 h_i : حداکثر زمان در نظر گرفته شده برای رسیدن آب به آخرین کرت هر منطقه. ($d_i > h_i$)

۴-۷-۴ متغیر تصمیم

Z_{it} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر در روز t ام منطقه i به آب نیاز داشته باشد $Z_{i(t-h_i)}$ برابر یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

f_{it} : مقدار آب موجود در هر کرت در انتهای هر روز بدون در نظر گرفتن حداقل و حداکثر مقدار مجاز آب برای هر کرت

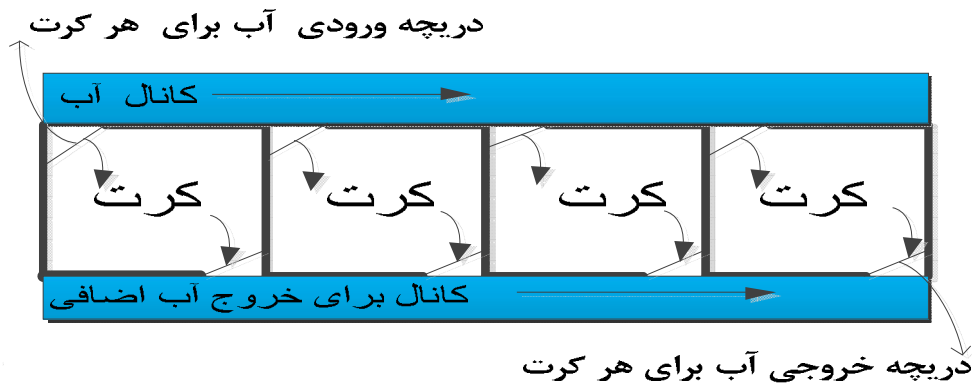
ff_{it} : مقدار آب موجود در هر کرت در انتهای هر روز ($0 \leq ff_{it} \leq v(i)$)

$g2_{it}$: یک متغیر تصمیم صفر و یک است بطوریکه اگر f_{it} در انتهای هر روز بین صفر و حداکثر مقدار تعیین شده باشد این متغیر با مقدار یک گرفتن به خود سبب $f_{it} = ff_{it}$ می‌شود.

$g1_{it}$: یک متغیر تصمیم صفر و یک است بطوریکه این متغیر با مقدار یک گرفتن به خود از منفی شدن ارتفاع آب در انتهای هر روز جلوگیری می‌کند ($ff_{it} = 0$).

$g3_{it}$: یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه اگر در روز t ام ارتفاع آب موجود در منطقه i از حداکثر مقدار تعیین شده بیشتر شد g_{it} با مقدار یک گرفتن به خود نقش دریچه‌های انتهایی هر کرت را ایفاء می‌کند (شکل ۲) و ارتفاع آب مورد نظر را به سطح حداکثر ارتفاع تعیین شده می‌رساند ($ff_{it} = v(i)$).

dd_{it} : یک متغیر تصمیم صفر و یک است، بطوریکه این متغیر با مقدار یک گرفتن به خود در هر روز مشخص می‌کند که در یچه‌ی آبیگر در آن روز باید باز باشد.



شکل ۲ نمایی از کرت‌های موجود در یک منطقه.

۴-۷-۵ مدل ۴

$$\min \quad \beta_1 * \sum_i \sum_t z_{it} + \beta_2 * \sum_i \sum_t ll_{it} \quad (116.4)$$

St:

$$f_{i1} = (bo_{i1} + ab_{i1} - tt_{i1}) \quad \forall \quad i \quad (117.4)$$

$$f_{it} = (ab_{it} + ff_{i(t-1)} - tt_{it}) \quad \forall \quad i \text{ and } 2 \leq t \leq (d_i) \quad (118.4)$$

$$f_{it} = \left((ab_{it} - tt_{it}) + \left(ff_{i(t-1)} * (1 - z_{i(t-(h_i+1))}) \right) + \left(v_i * z_{i(t-(h_i+1))} \right) \right) \quad (119.4)$$

$$\forall \quad i \text{ and } t \geq (d_i + 1)$$

$$f_{it} > v_i - M(1 - g3_{it}) \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (120.4)$$

$$f_{it} \leq v_i + M(1 - g2_{it}) \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (121.4)$$

$$f_{it} \geq -M(1 - g2_{it}) \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (122.4)$$

$$f_{it} < M(1 - g1_{it}) \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (123.4)$$

$$g1_{it} + g2_{it} + g3_{it} = 1 \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (124.4)$$

$$ff_{it} = (g2_{it} * f_{it}) + (g3_{it} * v_i) \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (125.4)$$

$$z_{i(t-h_i)} + e_{it} \leq 1 \quad \forall \quad i \text{ and } t \geq d_i \quad (126.4)$$

$$ff_{it} \geq vol_i + (M * z_{i(t-h_i)}) + (M * e_{it}) \quad \forall \quad i \text{ and } t \geq (d_i) \quad (127.4)$$

$$ff_{it} - (M * e_{it}) < vol_i + \left(M * (1 - z_{i(t-h_i)}) \right) \quad \forall \quad i \text{ and } t \geq (d_i) \quad (128.4)$$

$$z_{it} * \sum_t^{t+h_i} (dd_{it} - 1) = 0 \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (129.4)$$

$$ll_{it} \geq dd_{it} \quad \forall \quad i \text{ and } t \quad (130.4)$$

تابع هدف (۱۱۶) در مدل فوق از دو بخش تشکیل شده است بخش اول تابع هدف برای مینیمم کردن تعداد دفعات باز کردن دریچه‌ها و بخش دوم به منظور تعیین بازه‌ی زمانی باز بودن دریچه‌ی آبیگرها استفاده شده است. چون بخش اول تابع هدف، هدف اصلی برنامه‌ریزی فوق می‌باشد لذا $\beta_1 \gg \beta_2$ ($\beta_1 + \beta_2 = 1$) است. سه محدودیت‌های (۱۱۷)، (۱۱۸) و (۱۱۹) آب موجود در هر کرت را در انتهای هر روز بر حسب میلیمتر مشخص می‌کنند. چون آب موجود در هر کرت نباید از صفر کمتر و از v_i بیشتر باشد بنابراین برای این منظور متغیر ff_{it} و محدودیت‌های (۱۲۰)، (۱۲۱)، (۱۲۲)، (۱۲۳)، (۱۲۴) و (۱۲۵) در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از باز شدن دریچه‌ها هنگامی که بارش شدید باران را داریم محدودیت (۱۲۶) استفاده شده است زیرا بارش شدید باران سبب اختلال در کار شخم و نشاء می‌شود و باز بودن دریچه به معنی هدر رفت آب ذخیره شده می‌باشد. محدودیت‌های (۱۲۷) و (۱۲۸) زمان درست باز بودن دریچه‌ها را تعیین می‌کنند. از آنجایی که برنامه‌ریزی برای هریک از مناطق براساس آخرین کرت موجود در منطقه می‌باشد (شکل ۲) و با توجه به این دو موضوع که مقدار ff_{it} در آخر هر روز حساب می‌شود و هر کرت ظرف حداکثر چهار ساعت به حداکثر ارتفاع آب تعیین شده می‌رسد، لذا طول روزهای باز بودن دریچه‌ی آبیگرها برابر با حداکثر زمان در نظر گرفته شده برای رسیدن آب به آخرین کرت موجود در هر منطقه (h_i) به اضافه‌ی یک روز اختصاص داده شده برای آبیاری منطقه‌ی مورد نظر می‌باشد که این مقدار توسط محدودیت‌های (۱۲۹) و (۱۳۰) تأمین می‌شود.

کدبرنامه ریزی ارائه شده

۵-۱ کد مدل ۱

//***** In put

nA = 2;

nTr = 4;

Vtr = 0.21;

```
nD    = 20;
a     = [44, 62];
```

```
/****** Indices and Parameters
```

```
int  nA    = ... ;
int  nTr   = ... ;
float Vtr   = ... ;
int  nD    = ... ;
range area  = 1..nA;
range tractor = 1..nTr;
range day   = 1..nD;
range time  = 1..8;
int  a[area] = ... ;
```

```
/****** Decision Variables
```

```
dvar boolean y[area][tractor][day][time];
dvar boolean rp[area][area][tractor][day][time];
dvar boolean ga[area][day];
dvar boolean gb[area][day];
dvar boolean ka[area][day];
dvar boolean kb[area][day];
dvar int+    ST[area];
dvar int+    FN[area];
dvar int+    cmax;
```

```
/****** Time Restrictions
```

```
execute{
  cplex.tilim=80;
  cplex.epagap=0.001;
  cplex.submipnodelim=600;
}
```

```
/****** Objective Function
```

```
minimize 0.9*cmax+0.1 *(sum(p in tractor,d in day,t in time:(t!=4 && t!=8),i in area,i1 in
area:i1!=i)rp[i][i1][p][d][t]);
```

```
/****** Constraints
```

```
subject to {
forall(i1 in area,p in tractor,d in day,t in time:t!=8)
  sum(i in area:i!=i1)y[i][p][d][t+1]<=1-y[i1][p][d][t];
```

```
/******
```

```
forall(i in area,i1 in area:i!=i1,p in tractor,d in day,t in time:t!=4 && t!=8){
  y[i][p][d][t]+y[i1][p][d][t+1]>= 2*rp[i][i1][p][d][t];
  y[i][p][d][t]+y[i1][p][d][t+1]<=1+rp[i][i1][p][d][t];}
```

```
/******
```

```
forall(i1 in area,i2 in area ,p in tractor,d in day,t in time)
  if(i1==i2 || t==4 || t==8)rp[i1][i2][p][d][t]==0 ;
```

```
/******
```

```
forall(i in area)ST[i]<=FN[i];
```

```

forall(i in area)FN[i]<=cmax;
//*****
forall(i in area)Vtr *( sum(p in tractor,d in day,t in time)y[i][p][d][t])>=a[i];
//*****
forall(p in tractor,d in day,t in time)sum(i in area)y[i][p][d][t]<=1;
//*****
forall(i in area)sum(d in day)ga[i][d]==1;
forall(i in area)sum(d in day)gb[i][d]==1;
//*****
forall(i in area,d1 in day:d1!=1)
    (sum(p in tractor,d in day:d<d1,t in time)y[i][p][d][t])<=(nTr)*nD*8*(1-ga[i][d1]);
forall(i in area,d1 in day:d1!=nD)
    (sum(p in tractor,d in day:d>d1,t in time)y[i][p][d][t])<=(nTr)*nD*8*(1-gb[i][d1]);
//*****
forall(i in area,d in day){
    (sum(p in tractor,t in time)y[i][p][d][t])>=ga[i][d];
    (sum(p in tractor,t in time)y[i][p][d][t])>=gb[i][d];}
//*****
forall(i in area,d in day:d!=1){
    ka[i][d-1]>=ka[i][d];
    kb[i][d-1]>=kb[i][d];}
//*****
forall(i in area,d1 in day){
    forall(d in day:d<=d1)ka[i][d]>=ga[i][d1] ;
    sum(d in day:d>d1)ka[i][d]<=nD*(1-ga[i][d1]);
    forall(d in day:d<=d1)kb[i][d]>=gb[i][d1] ;
    sum(d in day:d>d1)kb[i][d]<=nD*(1-gb[i][d1]);}
//*****
forall(i in area){
    ST[i]==sum(d in day)ka[i][d];
    FN[i]==sum(d in day)kb[i][d];} }

```

۲-۵ کد مدل ۲

//***** In put

```

nA      = 2;
nTr     = 5;
nWf     = 8;
nNe     = 2;
Vtr     = 0.21;
Vwf     = 0.05;
Vne     = 0.16;
nD      = 30;
a       = [44, 62];
at      = [2,2];

```

//***** Indices and Parameters

```

int  nA    = ... ;
int  nTr   = ... ;
int  nWf   = ... ;
int  nNe   = ... ;
float Vtr   = ... ;
float Vwf   = ... ;
float Vne   = ... ;
int  nD    = ... ;
range area      = 1..nA;
range tractor   = 1..nTr;
range workforce = 1..nWf;
range nesha     = 1..nNe;
range day       = 1..nD;
range time      = 1..8;
int  a[area]    = ... ;
int  at[area]   = ... ;
//***** Decision Variables
dvar boolean y[area][tractor][day][time];
dvar boolean x[area][workforce][day][time];
dvar boolean w[area][nesha][day][time];
dvar boolean rp[area][area][tractor][day][time];
dvar boolean rs[area][area][nesha][day][time];
dvar boolean ga[area][day];
dvar boolean gb[area][day];
dvar boolean ha[area][day];
dvar boolean hb[area][day];
dvar boolean ka[area][day];
dvar boolean kb[area][day];
dvar boolean la[area][day];
dvar boolean lb[area][day];
dvar int+ STa[area];
dvar int+ STb[area];
dvar int+ FNa[area];
dvar int+ FNb[area];
dvar int+ cmax;
//***** Time Restrictions
execute{
    cplex.tilim=80;
    cplex.epagap=0.001;
    cplex.submipnodelim=600;
}
//***** Objective Function
minimize 0.9*cmax+0.1 *((sum(p in tractor,d in day,t in time:(t!=4 && t!=8),i in area,i1 in
area:i1 !=i)rp[i][i1][p][d][t])
    +(sum(s in nesha , d in day,t in time:(t!=4 && t!=8),i in area,i1 in
area:i1 !=i)rs[i][i1][s][d][t]));

```

```

//***** Constraints
subject to {
forall(i1 in area,p in tractor,d in day,t in time:t!=8)
    sum(i in area:i!=i1)y[i][p][d][t+1]<=1-y[i1][p][d][t];
forall(i1 in area,j in workforce,d in day,t in time:t!=8)
    sum(i in area:i!=i1)x[i][j][d][t+1]<=1-x[i1][j][d][t];
forall(i1 in area,s in nesha,d in day,t in time:t!=8)
    sum(i in area:i!=i1)w[i][s][d][t+1]<=1-w[i1][s][d][t];
//*****
forall(i in area,i1 in area:i!=i1,p in tractor,d in day,t in time:t!=4 && t!=8){
    y[i][p][d][t]+y[i1][p][d][t+1]>= 2*rp[i][i1][p][d][t];
    y[i][p][d][t]+y[i1][p][d][t+1]<=1+rp[i][i1][p][d][t];}
//*****
forall(i in area,i1 in area:i!=i1,s in nesha,d in day,t in time:t!=4 && t!=8){
    w[i][s][d][t] + w[i1][s][d][t+1] >= 2 * rs[i][i1][s][d][t];
    w[i][s][d][t] + w[i1][s][d][t+1] <= 1 + rs[i][i1][s][d][t];}
//*****
forall(i1 in area,i2 in area ,p in tractor,d in day,t in time)
    if(i1==i2 || t==4 || t==8)rp[i1][i2][p][d][t]==0 ;
forall(i1 in area,i2 in area,s in nesha,d in day,t in time)
    if(i1==i2 || t==4 || t==8)rs[i1][i2][s][d][t]==0;
//*****
forall(i in area)STa[i]<=FNa[i];
forall(i in area)STa[i]<=FNb[i];
forall(i in area)STb[i]>=FNa[i]+1;
forall(i in area)STb[i]<=FNa[i]+at[i];
forall(i in area)STb[i]<=FNb[i];
forall(i in area)FNb[i]<=cmax;
//*****
forall(i in area)Vtr *( sum(p in tractor,d in day,t in time)y[i][p][d][t])>=a[i];
forall(i in area)Vne *( sum(s in nesha,d in day,t in time)w[i][s][d][t])+Vwf*( sum(j in
    workforce,d in day,t in time)x[i][j][d][t])>=a[i];
//*****
forall(p in tractor,d in day,t in time)sum(i in area)y[i][p][d][t]<=1;
forall(s in nesha,d in day,t in time)sum(i in area)w[i][s][d][t]<=1;
forall(j in workforce,d in day, t in time)sum(i in area)x[i][j][d][t]<=1;
//*****
forall(i1 in area,j in workforce, d in day,t in 2..4)
    sum(i in area:i!= i1)x[i][j][d][t] <= nA * (1-x[i1][j][d][1]) ;
forall(i1 in area,j in workforce,d in day,t in 6..8)
    sum(i in area:i != i1)x[i][j][d][t] <= nA * (1- x[i1][j][d][5]) ;
//*****
forall(i in area,j in workforce,d in day,t in time:(t!=4 && t!=8))
    x[i][j][d][t]>= x[i][j][d][t+1];
//*****
forall(i in area)sum(d in day)ga[i][d]==1;

```

```

forall(i in area)sum(d in day)gb[i][d]==1;
forall(i in area)sum(d in day)ha[i][d]==1;
forall(i in area)sum(d in day)hb[i][d]==1;
//*****
forall(i in area,d1 in day:d1!=1)
    (sum(p in tractor,d in day:d<d1,t in time)y[i][p][d][t])<=(nTr)*nD*8*(1-ga[i][d1]);
forall(i in area,d1 in day:d1!=nD)
    (sum(p in tractor,d in day:d>d1,t in time)y[i][p][d][t])<=(nTr)*nD*8*(1-gb[i][d1]);
//*****
forall(i in area,d1 in day:d1!=1)
    (sum(j in workforce,d in day:d<d1, t in time)x[i][j][d][t]+sum(s in nesha,d in day:d<d1,t
in time)w[i][s][d][t])<=(nNe+nWf)*nD*8*(1-ha[i][d1]);
forall(i in area,d1 in day:d1!=nD)
    (sum(j in workforce,d in day:d>d1, t in time)x[i][j][d][t]+sum(s in nesha,d in day:d>d1,t
in time)w[i][s][d][t])<=(nNe+nWf)*nD*8*(1-hb[i][d1]);
//*****
forall(i in area,d in day){
    (sum(p in tractor,t in time)y[i][p][d][t])>=ga[i][d];
    (sum(p in tractor,t in time)y[i][p][d][t])>=gb[i][d];
    (sum(s in nesha,t in time)w[i][s][d][t]+ sum(j in workforce,t in
time)x[i][j][d][t])>=ha[i][d];
    (sum(s in nesha,t in time)w[i][s][d][t]+ sum(j in workforce,t in
time)x[i][j][d][t])>=hb[i][d];}
//*****
forall(i in area,d in day:d!=1){
    ka[i][d-1]>=ka[i][d];
    kb[i][d-1]>=kb[i][d];
    la[i][d-1]>=la[i][d];
    lb[i][d-1]>=lb[i][d];}
//*****
forall(i in area,d1 in day){
    forall(d in day:d<=d1)ka[i][d]>=ga[i][d1] ;
    sum(d in day:d>d1)ka[i][d]<=nD*(1-ga[i][d1]);
    forall(d in day:d<=d1)kb[i][d]>=gb[i][d1] ;
    sum(d in day:d>d1)kb[i][d]<=nD*(1-gb[i][d1]);
    forall(d in day:d<=d1)la[i][d]>=ha[i][d1];
    sum(d in day:d>d1)la[i][d]<=nD*(1-ha[i][d1]);
    forall(d in day:d<=d1)lb[i][d]>=hb[i][d1];
    sum(d in day:d>d1)lb[i][d]<=nD*(1-hb[i][d1]);}
//*****
forall(i in area){
    STa[i]==sum(d in day)ka[i][d];
    FNa[i]==sum(d in day)kb[i][d];
    STb[i]==sum(d in day)la[i][d];
    FNb[i]==sum(d in day)lb[i][d];} }

```

```

**** In put
nA      = 2;
nWf     = 8;
Vwf1    = 0.15;
Vwf2    = 0.25;
nD      = 30;
a       = [44 62];
ata     = [10 10];
atb     = [15 15];

***** Indices and Parameters
int  nA      = ... ;
int  nWf     = ... ;
float Vwf1   = ... ;
float Vwf2   = ... ;
int   nD     = ... ;
range area   = 1..nA;
range workforce = 1..nWf;
range day    = 1..nD;
range time   = 1..8;
int  a[area] = ... ;
int  ata[area] = ... ;
int  atb[area] = ... ;

***** Decision Variables
dvar boolean xa[area][workforce][day][time];
dvar boolean xb[area][workforce][day][time];
dvar boolean ga[area][day];
dvar boolean gb[area][day];
dvar boolean ha[area][day];
dvar boolean hb[area][day];
dvar boolean ka[area][day];
dvar boolean kb[area][day];
dvar boolean la[area][day];
dvar boolean lb[area][day];
dvar int+ STa[area];
dvar int+ STb[area];
dvar int+ FNa[area];
dvar int+ FNb[area];
dvar int+ cmax;

***** Time Restrictions
execute{
    cplex.tilim=80;
    cplex.epagap=0.001;
    cplex.submipnodelim=600;
}

```

```

//***** Objective Function
minimize cmax;
//***** Constraints
subject to {
forall(i in area)STa[i]<=FNa[i];
forall(i in area)STa[i]<=FNb[i];
forall(i in area)STb[i]>=FNa[i]+1;
forall(i in area)STb[i]<=FNa[i]+atb[i];
forall(i in area)STb[i]>=FNa[i]+ata[i];
forall(i in area)STb[i]<=FNb[i];
forall(i in area)FNb[i]<=cmax;
//*****
forall(i in area)Vwf1*( sum(j in workforce,d in day,t in time)xa[i][j][d][t])>=a[i];
forall(i in area)Vwf2*( sum(j in workforce,d in day,t in time)xb[i][j][d][t])>=a[i];
//*****
forall(j in workforce,d in day, t in time)sum(i in area)xa[i][j][d][t]<=1;
forall(j in workforce,d in day, t in time)sum(i in area)xb[i][j][d][t]<=1;
//*****
forall(i1 in area,j in workforce, d in day,t in 2..4)
    sum(i in area:i!= i1)xa[i][j][d][t] <= nA * (1-xa[i1][j][d][1]) ;
forall(i1 in area,j in workforce,d in day,t in 6..8)
    sum(i in area:i != i1)xa[i][j][d][t] <= nA * (1- xa[i1][j][d][5]) ;

forall(i1 in area,j in workforce, d in day,t in 2..4)
    sum(i in area:i!= i1)xb[i][j][d][t] <= nA * (1-xb[i1][j][d][1]) ;
forall(i1 in area,j in workforce,d in day,t in 6..8)
    sum(i in area:i != i1)xb[i][j][d][t] <= nA * (1- xb[i1][j][d][5]) ;

//*****
forall(i in area,j in workforce,d in day,t in time:(t!=4 && t!=8))
    xa[i][j][d][t]>= xa[i][j][d][t+1];
forall(i in area,j in workforce,d in day,t in time:(t!=4 && t!=8))
    xb[i][j][d][t]>= xb[i][j][d][t+1];
//*****
forall(i in area)sum(d in day)ga[i][d]==1;
forall(i in area)sum(d in day)gb[i][d]==1;
forall(i in area)sum(d in day)ha[i][d]==1;
forall(i in area)sum(d in day)hb[i][d]==1;
//*****
forall(i in area,d1 in day:d1!=1)
    (sum(j in workforce,d in day:d<d1,t in time)xa[i][j][d][t])<=(nWf)*nD*8*(1-ga[i][d1]);
forall(i in area,d1 in day:d1!=nD)
    (sum(j in workforce,d in day:d>d1,t in time)xa[i][j][d][t])<=(nWf)*nD*8*(1-gb[i][d1]);
//*****
forall(i in area,d1 in day:d1!=1)
    (sum(j in workforce,d in day:d<d1, t in time)xb[i][j][d][t])<=(nWf)*nD*8*(1-ha[i][d1]);

```

```

forall(i in area,d1 in day:d1!=nD)
  (sum(j in workforce,d in day:d>d1, t in time)xb[i][j][d][t])<=(nWf)*nD*8*(1-hb[i][d1]);
//*****
forall(i in area,d in day){
  (sum(j in workforce,t in time)xa[i][j][d][t])>=ga[i][d];
  (sum(j in workforce,t in time)xa[i][j][d][t])>=gb[i][d];
  (sum(j in workforce,t in time)xb[i][j][d][t])>=ha[i][d];
  (sum(j in workforce,t in time)xb[i][j][d][t])>=hb[i][d];}
//*****
forall(i in area,d in day:d!=1){
  ka[i][d-1]>=ka[i][d];
  kb[i][d-1]>=kb[i][d];
  la[i][d-1]>=la[i][d];
  lb[i][d-1]>=lb[i][d];}
//*****
forall(i in area,d1 in day){
  forall(d in day:d<=d1)ka[i][d]>=ga[i][d1] ;
  sum(d in day:d>d1)ka[i][d]<=nD*(1-ga[i][d1]);
  forall(d in day:d<=d1)kb[i][d]>=gb[i][d1] ;
  sum(d in day:d>d1)kb[i][d]<=nD*(1-gb[i][d1]);
  forall(d in day:d<=d1)la[i][d]>=ha[i][d1];
  sum(d in day:d>d1)la[i][d]<=nD*(1-ha[i][d1]);
  forall(d in day:d<=d1)lb[i][d]>=hb[i][d1];
  sum(d in day:d>d1)lb[i][d]<=nD*(1-hb[i][d1]);}
//*****
forall(i in area){
  STa[i]==sum(d in day)ka[i][d];
  FNa[i]==sum(d in day)kb[i][d];
  STb[i]==sum(d in day)la[i][d];
  FNb[i]==sum(d in day)lb[i][d];} }

```

۴-۵ کد مدل ۴

```

MODEL:
DATA:
A=2;
T=18;
ENDDATA
SETS:
area/1..A/;
time/1.. T/;
sdlink(area):v,bo,d,h,vol;
hhlink(area,time):z,e,f,ff,tt,dd,ab,ll,g1,g2,g3;
ENDSETS
min=0.99*@sum(area(i):(@sum(time(t):z(i,t))))+0.01*@sum(area(i):(@sum(time(t):ll(i,t)
)));

```

```

.....;
@for(area(i):@for(time(t):f(i,1)=(bo(i)+ab(i,1)-tt(i,1))));
@for(area(i):@for(time(t)|t#GE#2#AND# t#LE#d(i):f(i,t)=(ff(i,t-1))+ab(i,t)-tt(i,t)));
@for(area(i):@for(time(t)|t#GE#d(i)+1:f(i,t)=ab(i,t)-tt(i,t)+(ff(i,t-1)))*(1-z(i,t-
(h(i)+1))))+v(i)*z(i,t-(h(i)+1))));
!.....;
@for(area(i):@for(time(t):f(i,t)>v(i)-1000*(1-g3(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):f(i,t)<=v(i)+1000*(1-g2(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):f(i,t)>=-1000*(1-g2(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):f(i,t)<+1000*(1-g1(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t): g1(i,t)+g2(i,t)+g3(i,t)=1));
@for(area(i):@for(time(t):ff(i,t)=g2(i,t)*f(i,t)+g3(i,t)*v(i)));
!.....;
@for(area(i):@for(time(t)|t#GE#d(i):z(i,t-h(i))+e(i,t)<=1));
!.....;
@for(area(i):@for(time(t)|t #GE#(d(i)):ff(i,t) >=vol(i)-1000*z(i,t-h(i))-(1000*e(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t)|t #GE#(d(i)):ff(i,t)-1000*e(i,t) <vol(i)+1000*(1-z(i,t-h(i))));
@for(area(i):@for(time(t)|t #GE#(d(i)):z(i,t-h(i))=@if(ff(i,t)#EQ#vol(i),0,z(i,t-h(i))));
!.....;
@for(area(i):@for(time(t): z(i,t)*(@sum(time(p) | p #GE# t # AND # p #LE#
t+(h(i):(dd(i,p)-1))) = 0));
@for(area(i):@for(time(t):ll(i,t)>=dd(i,t)));
!.....;
@for(area(i):@for(time(t):@bin(g1(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):@bin(g2(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):@bin(g3(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):@bin(z(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):@bin(dd(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):@free(ff(i,t))));
@for(area(i):@for(time(t):@free(f(i,t))));
DATA:
h =1 2;
d =2 4;
v =50 50;
bo=0 0;
vol=20 20;
tt =7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7
7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7;
ab = 2 1 3 4 3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 1 3 4 3 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
e =0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
ENDDATA
END

```


نتایج و پیشنهادات

۶-۱ نتیجه گیری

در این فصل در ابتدا به حل سه مدل اول ارائه شده در فصل قبل با استفاده از نرم افزار سی پلکس^۱ خواهیم پرداخت و سپس با توجه به نتایج مدل اول (به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی برای سایر مدل ها و مراحل) مدل

^۱ CPLEX

چهارم رابا استفاده از نرم افزار لینگو^۱ ارزیابی خواهیم کرد. در انتها بعد از مقایسه‌ی نتایج حاصل از اجرای این مدل با شرایط کنونی پیشنهاداتی را در زمینه‌ی افزایش کارایی و گستره‌ی عملکرد مدل فوق ارائه خواهیم داد. قابل ذکر است که اطلاعات مورد استفاده در مدل‌ها از سند ملی آب و مطالعات میدانی بدست آمده است.

جدول ۵-۱. جدول نتایج

مدل	زمان شروع شخم دوم منطقه ۱	زمان شروع شخم دوم منطقه ۲	زمان اتمام شخم دوم منطقه ۱	زمان اتمام شخم دوم منطقه ۲	ماکزیمم زمان
۱	۲	۱	۱۳	۸	۱۳
مدل	زمان شروع شخم سوم منطقه ۱	زمان شروع شخم سوم منطقه ۲	زمان اتمام شخم سوم منطقه ۱	زمان اتمام شخم سوم منطقه ۲	ماکزیمم زمان
۲	۲	۱	۱۹	۸	۱۹
مدل	زمان شروع نشاء منطقه ۱	زمان شروع نشاء منطقه ۲	زمان اتمام نشاء منطقه ۱	زمان اتمام نشاء منطقه ۲	ماکزیمم زمان
۲	۲۰	۱۰	۲۸	۲۶	۳۰

به منظور ارزیابی توانایی‌های مدل ارائه شده اطلاعات مربوط به دو منطقه مورد مطالعه با مساحت ۴۴ و ۶۲ هکتار مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است که در شرایط کنونی کشاورزان در استان گیلان برای انجام شخم از محدود تراکتورهای موجود در مناطق به صورت نوبتی استفاده می‌کنند، که این عمل علاوه بر هزینه‌بر بودن و ایجاد دغدغه‌هایی مانند سردرگمی ناشی صاحبان تراکتورها برای کشاورز، سبب هدر رفت حجم بسیار زیادی از آب ذخیره شده به دلیل طولانی شدن فرآیند کشت می‌شود، بطوریکه با وجود تخصیص یک بازه‌ی زمانی ۲۰ تا ۲۵ روزه آب بطور همزمان برای آبیاری هریک از مناطق در شرایط کنونی، ممکن است در پاره‌ای از اوقات شخم زمین‌های مورد نظر به پایان نرسیده باشد.

اما با توجه به نتایج دو مدل فوق که به ترتیب با استفاده از نرم افزار *CPLEX* و نرم افزار *LINGO* به دلیل توانایی‌هایشان در حل مدل‌های خطی و غیر خطی در یک کامپیوتر پنج هسته‌ای با $CPU=2.30GHz$ بدست آمد، حداکثر تعداد روزهای کاری برای شخم هر یک از مناطق برابر با ۷ - ۱۴ روز به ترتیب برای منطقه اول و دوم حاصل شد که پس از قرار دادن مقادیر بدست آمده در مدل دوم طول بازه‌ی زمانی باز بودن درجه‌ی آبیگرها برای دو منطقه برابر ۶ - ۶ روز شد که در مقایسه با شرایط واقعی این عمل به مفهوم صرفه‌جویی حداقل ۷۰٪ و حداکثر ۷۶٪ روز آب به ترتیب برای منطقه‌ی یک و دو است (جدول ۱ و ۲).

¹ LINGO

جدول ۵-۲. جدول نتایج

مدل	زمان شروع وجین اول منطقه ۱	زمان شروع وجین اول منطقه ۲	زمان پایان وجین اول منطقه ۱	زمان پایان وجین اول منطقه ۲	ماکزیمم زمان
۳	۱	۱	۱۴	۷	۱۴
مدل	زمان شروع وجین دوم منطقه ۱	زمان شروع وجین دوم منطقه ۲	زمان پایان وجین دوم منطقه ۱	زمان پایان وجین دوم منطقه ۲	
۳	۲۰	۲۸	۲۳	۳۰	۳۰
مدل	طول دوره	تعداد باز شدن آبگیرها- ی منطقه ۱	روز	تعداد باز شدن آبگیرهای منطقه ۲	روز
۴	۱۶	۳	۳-۴	۲	۱-۳
			۹-۱۰		۷-۹
			۱۴-۱۵		

با توجه به اینکه غالب مزارع موجود در شبکه‌ی آبیاری فومانات از لحاظ تعداد تراکتورها، رقم برنج تحت کشت و خصوصیات شبکه‌ی آبیاری دارای ویژگی‌های یکسانی هستند و نیز در نظر گرفتن این مطلب که از حدود ۱۳۵۵ میلیون متر مکعب آب اختصاص داده شده در طول ۱۲۰ روز برای آبیاری مزارع حداقل ۲۰ روز آن برای شخم زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا با یک حساب سرانگشتی و در نظر گرفتن حداقل صرفه‌جویی صورت گرفته می‌توان اذعان داشت که از حدود ۲۵۵.۸۳ میلیون متر مکعب آب اختصاص داده شده برای شخم مزارع در استان گیلان حداقل ۱۷۹.۰۸ میلیون متر مکعب صرفه‌جویی در آب آبیاری بدست می‌آید که با این مقدار آب صرفه‌جویی شده علاوه بر گسترش سطح زیر کشت محصولات آبی می‌توان زمینه‌های رونق اقتصادی در سایر صنایع موجود را نیز فراهم کرد.

جدول ۵-۳. جدول تحلیل جز به جز تراکتورها برای شخم دوم

منطقه	روز															ساعت	تراکتور
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵		
۱	۱	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	Off	Off	۱
	۲	On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
	۳	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
	۴	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
	۵	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
	۶	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
	۷	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
	۸	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲
۲	۱	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۲	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۳	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۴	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۵	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۶	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۷	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۸	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
۳	۱	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۲	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۳	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۴	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۵	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۶	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۷	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲
	۸	Off	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	Off	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	Off	۲

جدول ۴-۵. جدول تحلیل جز به جز تراکتورها برای شخم دوم

منطقه	روز																تراکتور
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵		
۴	۱	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۲	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۳	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۴	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۵	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۶	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۷	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
	۸	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	Off	On	On	On	Off	Off	Off	Off	Off	Off	۲	
۵	۱	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۲	Off	Off	Off	Off	On	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۳	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۴	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۵	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	Off	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۶	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۷	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	
	۸	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	On	On	On	On	On	Off	Off	۱
		On	On	On	On	On	On	On	On	Off	Off	On	Off	Off	Off	۲	

۲-۶ پیشنهادات

- در این پژوهش از روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح استفاده شده است. پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های برنامه‌ریزی موجود نیز استفاده و نتایج آن با نتایج مدل حاصله مقایسه شود.
- در برنامه‌ریزی فوق هدف اصلی در سه مدل اول، کاهش زمان کشت و در نتیجه کاهش بازه‌ی زمانی آبیاری می‌باشد. پیشنهاد می‌شود برنامه‌ریزی فوق با رویکرد چند هدفه (افزایش درآمد کشاورزان، کاهش هزینه‌های کشت و ...) انجام شود.
- جهت افزایش دقت در نتایج پیشنهاد می‌شود برای سایر ورودی‌ها بخصوص داده‌های هواشناسی مدلی ارائه شود.
- برای افزایش دقت پیشنهاد می‌شود مدل مورد بررسی با رویکرد فازی ارائه شود.
- پیشنهاد می‌شود روش حلی با استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری موجود برای کاهش زمان حل مدل‌های مورد بررسی ارائه شود.

۶. همانگونه که مشهود است مدل‌های فوق در مورد فرآیندهای کشت و زمانبندی آبیاری به صورت جداگانه و مستقل از هم ارائه شده‌اند پیشنهاد می‌شود که مدلی جامع که ترکیبی از مدل‌های فوق می‌باشد ارائه - شود و نتایج حاصل از آن با نتایج مدل‌های فوق مقایسه شود.
۷. برای داشتن اطلاعات به صورت جامع، مدیریت بهتر و سرعت بخشیدن به کار پیشنهاد می‌شود یک سیستم اطلاعاتی جامع (IIS) طراحی شود.

مراجع

- آبایی، ب. (۱۳۸۷). استفاده از روش های ایزوتوپیک و اتمی در ارزیابی بازده مصرف آب. دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه های آبیاری سطحی، کرج: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صص. ۱۱-۱۶.
- اتقایی کردکلایی، م. و کاوسی کلاشمی، م. (۱۳۹۰). سنجش شکست اراضی شالیکاری در چهارچوب رهیافت تابع هزینه. اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۱، شماره ۲۵، صص. ۸۵-۸۹.
- اخوت، م. و وکیلی، د. (۱۳۷۶). برنج (کاشت، داشت، برداشت). تهران: فاریابی.
- آذر، ع. (۱۳۸۳). تحقیق در عملیات، چاپ ۳. تهران: نیل.
- آریانزاد، م. و مدیری، م. (۱۳۸۵). تحقیق در عملیات. تهران: دانشگاه علم و صنعت.
- اصغری، م. ج. (۱۳۸۱). تحقیق در عملیات پیشرفته، جلد ۴، چاپ ۲. تهران: دانشگاه تهران.
- اصفهانی، م. (۱۳۷۷). مقدمه ای بر فیزیولوژی و اکولوژی برنج. رشت: دانشگاه گیلان.
- امیری، ا. و کاوه، ف. (۱۳۸۵). مدیریت آبیاری در شالیزار. اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. اهواز: دانشگاه شهید چمران اهواز، صص. ۱۱-۱۶.
- پذیرا، ا. (۱۳۷۸). مدیریت آبیاری و زهکشی در شالیزارها با توجه به ویژگی های بیولوژیکی برنج. پنجمین کارگاه فنی زهکشی محیط زیست، تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی، صص. ۵۱-۷۱.
- تقدیسی حیدریان، س. ر. و رشیدزاده، ف. (۱۳۸۸). بررسی اقتصادی شوری زدایی آب کشاورزی با استفاده از دستگاه های آب شیرین کن با تأکید بر حوضه آبریز کشف رود. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صص. ۳۶۲-۳۵۱.
- حاج شیر محمدی، ع. و بهرامی، ف. (۱۳۸۴). یک مدل بهینه سازی زمان پرداخت های کارفرما به پیمانکار به منظور بیشینه سازی ارزش فعلی مجموع منافع خالص طرفین. دومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران: گروه پژوهشی آریانا، صص. ۲۳-۳۴.
- حافظ نیا، م. ر. (۱۳۸۹). مقدمه ی بر روش تحقیق در علوم انسانی، چاپ ۱۷، تهران: سمت.
- حیدری، خ. و چراغی، د. (۱۳۸۱). بررسی نقش تولید و تجارت برنج در امنیت غذایی خانوارهای ایرانی در سالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۸۷. فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، جلد ۱، شماره ۲۴، صص. ۱۶۱-۱۳۷.

ربیع زاده، ف. و ربیعی جیلدانی، م. (۱۳۸۱). بررسی تاثیر دوره های مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزاء عملکرد برنج (رقم هاشمی). تهران: صفار.

زارع مهرجردی، م. ر. (۱۳۹۰). تعیین الگوی کشت بهینه و ارزشگذاری آب با استفاده از تلفیق روش های برنامه ریزی ریاضی تحت ریسک و ارزش مانده، پژوهش آب در کشاورزی. پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۲، شماره ۲۵، صص. ۱۳۲-۱۲۱.

زمانی، ق. و علیزاده، م. ر. (۱۳۸۶). مجموعه خصوصیات و فرآوری ارقام مختلف برنج ایران. تهران: پلک.

ستایش، م. ح. و کاظم نژاد، م. (۱۳۸۸). کاربرد الگوریتم ژنتیک در تعیین ساختار بهینه سرمایه شرکت های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران. بررسی های حسابداری و حسابرسی، جلد ۵۶، شماره ۱۶، صص. ۵۸-۳۹.

سلحشور دلیوند، ف. و ناظمی، ا. ح. (۱۳۸۸). بهبود مدیریت توزیع آب در اراضی شالیزاری، تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۴، شماره ۱۱، صص. ۳۳۴-۳۱۹.

سلیمانی، ع. و امیری لاریجانی، ب. (۱۳۸۴). اصول بهزرایی برنج. تهران: انتشارات آروید.

شعبانی، م. ک. 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، جلد ۴۴، شماره ۱، صص. ۶۶-۵۳.

صنوبر، ع. و دهقانی، ف. (۱۳۸۹). اثر دور آبیاری بر عملکرد، کارایی مصرف آب و برخی از خصوصیات کیفی ارقام گندم نان. پژوهش آب در کشاورزی، جلد ۱، شماره ۲۵، صص. ۴۰-۳۱.

عالم تبریز، ا. و زندیه، م. (۱۳۸۷). الگوریتم های فرا ابتکاری در بهینه سازی. تهران: اشراقی.

عبدالعلی زاده شهیر، س. و عشقی، ک. (۱۳۸۲). کاربرد الگوریتم ژنتیک در انتخاب یک مجموعه دارایی از سهام بورس اوراق بهادار. فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران، جلد ۱، شماره ۱۷، صص. ۱۹۲-۱۷۵.

علیزاده، م. (۱۳۸۹). بررسی تأثیر توامان مواد آلی و ژئولیت روی خصوصیات هیدرولیکی خاک و جلوگیری از بروز درز و ترک در آبیاری غرقابی تناوبی. تهران: دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی.

کوپاهی، م. و سادات باریکانی، س. ح. (۱۳۸۸). اثر کاربرد نهادهها بر ریسک تولید برنج استان گیلان. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۴۸، شماره ۱۲، صص. ۳۶۴-۳۵۶.

کریمی، ه. (۱۳۶۷). گیاهان زراعی. تهران: دانشگاه تهران.

فتحی، ف. و زیبایی، م. (۱۳۸۹). عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه ریزی چند هدفه. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد ۵۳، شماره ۱۳، صص. ۱۶۴-۱۵۵.

محسنی موحد، س. ا. و منعم، م. ج. (۱۳۸۶). معرفی یک مدل ریاضی جدید برای ارزیابی و بهینه‌سازی عملکرد کانال‌های آبیاری. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۴، شماره ۱۱، صص. ۲۵-۱۳.

محمدی، م. (۱۳۷۴). آبیاری برنج. اصول و عملیات تولید برنج. تهران: انتشارات فنی معاونت ترویج کشاورزی.

منعم، م. ج. و نجفی، م. ر. (۱۳۸۶). برنامه ریزی بهینه تحویل آب در کانال‌های آبیاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک. تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۱، شماره ۳، صص. ۱۱۰-۱۰۰.

منعم، م. ج. و نوری، م. ع. (۱۳۸۹). کاربرد الگوریتم بهینه‌سازی PSO در توزیع و تحویل بهینه آب در شبکه‌های آبیاری. آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۱، شماره ۴، صص. ۸۲-۷۳.

مهرگان، م. ر. (۱۳۸۵). پژوهش عملیاتی (چاپ ۲۶). تهران: شابک.

مهرگان، م. ر. (۱۳۸۸). مدل‌سازی ریاضی (چاپ ۳). قم: مهر.

مهندسین مشاور پندام. (۱۳۸۰). مطالعات بهسازی شبکه آبیاری و زهکشی سپیدرود گیلان گزارش نهایی، جلد ۲. گیلان: آب منطقه ای گیلان.

یزدانی، م. ر. و پارسی نژاد، م. (۱۳۸۳). طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری. اولین کارگاه آموزشی مبانی طراحی در تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری. گیلان: دانشگاه گیلان، صص. ۵۸-۳۳.

یزدانی، م. ر. و پارسی نژاد، م. (۱۳۸۱). مدیریت آبیاری و زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری. تهران: دانشگاه تهران، صص. ۱۸-۱۱.

یزدانی، م. ر. و موسوی، س. ف. (۱۳۷۶). مطالعه تاثیر رسوب زدایی سد سپیدرود بر شبکه آبیاری سد سپیدرود. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۲، شماره ۱، صص. ۳۰-۲۱.

- Benli, B. and Kodali, S. (2003). A non-linear model for farm optimization with adequate and limited water supplies: Application to the South-east Anatolian Project (GAP) Region. *Agricultural Water Management*, Vol. 62, No. 3, PP.187-203.
- Brown, P. D., Cochrane, T. A. and Krom, T. D. (2010). Optimal on-farm irrigation scheduling with a seasonal water limit using simulated annealing. *Agricultural Water Management*, Vol. 97, No. 6, PP.892-900.
- Chang, F. J. and Chen, L. (1998). Real-Coded Genetic Algorithm for Rule-Based Flood Control Reservoir Management. *Water Resources Management*, Vol. 12, No. 3, PP.185-198.
- Eiben, A. E. and Smith, J. E. (2003). *Introduction to Evolutionary Computing*. New York: Springer.
- Fukuda, H. and Tsutsu, H. (1973). *Rice Irrigation in Japan*. Tokyo: FAO.
- Georgiou, P. E. and Papamichail, D. M. (2008). Optimization model of an irrigation reservoir for water allocation and crop planning under various weather conditions. *Irrigation Science*, Vol. 26, No. 6, PP.487-507.
- Ghahraman, B. and Sepaskhah, A. R. (2002). Optimal allocation of water from a single purpose reservoir to an irrigation project with pre-determined multiple cropping patterns. *Irrigation Science*, Vol. 21, No. 3, PP.127-137.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. C. (1995). Particle Swarm Optimization. Proc. IEEE International Conference on Neural Networks (Perth, Australia), PP.1942-1948.
- Kijne, J. W., Barker, R. and Molden, D. (2003). *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. London: CABI.
- Kuo, S. F., Gary, P. M. and Chen, W. L. (2000). Decision support for irrigation project planning using a genetic algorithm. *Agricultural Water Management*, Vol. 45, No. 3, PP.243-266.
- Liu, D., Chen, X. and Lou, Z. (2010). A Model for the Optimal Allocation of Water Resources in a Saltwater Intrusion Area: A Case Study in Pearl River Delta in China. *Water Resour Manage*, Vol. 24, No.1, PP.63–81.

Mathur, Y.P., Sharma, G. and Pawde, A.W. (2009). Optimal Operation Scheduling of Irrigation Canals Using Genetic Algorithm. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, Vol. 12, No.5, PP.11-15.

Metropolis, N., Rosenbluth, A.W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H. and Teller, E. (1953). Equation of State Calculation by Fast Computing Machines. *Journal of Chemical Physics*, Vol. 21, No.6, PP.1087-1091.

Monem, M. J. and Namdarian, R. (2005). Application Of Simulated Annealing (SA) Techniques For Optimal Water Distribution In Irrigation Canals. *Irrig. and Drain*, Vol. 54, No.4, PP.365–373.

Naadimuthu, G., Raju, S. K. and Lee, E. (1999). A Heuristic Dynamic Optimization Algorithm for Irrigation Scheduling. *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 30, No.8, PP.169-183.

Nixon, J. B., Dandy, G. C. and Simpson, A. R. (2001). A genetic algorithm for optimizing off-farm irrigation scheduling. *journal of hydroinformation*, Vol. 3, No.1, PP.11-22.

Poli, R., Kennedy, J. and Blackwell. T. (2007). Particle swarm optimization. *Swarm Intelligence*, Vol. 1, No.1, PP.33–57.

Reca, J., Roldan, J., Alcaide, M., Lopez, R. and Camacho, E. (2001). Optimisation Model For Water Allocation In Deficit Irrigation Systems. *Agricultural Water Management*, Vol. 48, No.2, PP.103-116.

Santhi. C. and Pundarikanthan. N.V. (2000). A new planning model for canal scheduling Of Rotational Irrigation. *Agricultural Water Management*, Vol. 43, No.3, PP.327-343.

Shangguan, Z., Shao, M., Horton, R., Lei, T., Qin, L. and Ma, J. (2002), A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its application . *Agricultural Water Management*, Vol. 52, No.2, PP.139-154.

Sharif, M. and Wardlaw, R. (2000). Multireservoir systems optimization using genetic algorithms. *J. Comp. Civil Engin. ASCE*, Vol. 14, No.4, PP.255–263.

Srinivasa raj, K. and Nagesh kumar, D. (2004). Irrigation Planning using Genetic Algorithms. *Water Resources Management*, Vol. 18, No.2, PP.163–176.

Ul Haq, Z. and Anwar, A. A. (2010). Irrigation Scheduling with Genetic Algorithms. *Journal Of Irrigation And Drainage Engineering* , Vol. 136, No.10, PP.704-714.

Wakayama, C. and Petrasek, S. (2005). Simulated Annealing Algorithms. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, Vol. 34, No.3, PP.510-516.

Wardlaw, R. and Bhaktikul, K. (2004). Comparison of Genetic Algorithm and Linear Programming Approaches for Lateral Canal Scheduling. *Journal of Irrig. Drain Eng*, Vol. 130, No.4, PP. 311–317