نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۰ / شماره ٤ / ۱۳۹۵
DOI: http://dx.doi.org/10.22092/jwra.2017.109016

توسعه مدل بهینه‌سازی چند هدفه بهره‌برداری تلفیقی پساب و آب زیرزمینی در شبکه آبیاری ورامین

مریم یوسفی، جابر سلطانی[۱]*، محمد ابراهیم بنی حبیب، علی رحیمی‌خوب، عباس روزبهانی و الیاس سلطانی

دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. **yusefi@ut.ac.ir**

استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. **Jsoltani@ut.ac.ir**

دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. **banihabib@ut.ac.ir**

استاد گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. **akhob@ut.ac.ir**

استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. **roozbahany@ut.ac.ir**

استادیار گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان دانشگاه تهران. **elias.soltani@ut.ac.ir**

چکیده

به علت فعالیت‌های کشاورزی گسترده در سطح دشت‌ها و استفاده از کودهای شیمیایی حاوی نیترات، مقادیر قابل‌توجهی از این یون وارد سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. از سوی دیگر، پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان جایگزین یا مکمل منابع آب سطحی در شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورداستفاده قرار می‌گیرد، لذا ارائه راهکارهایی به‌منظور کاهش و کنترل میزان نیتروژن ورودی به خاک و سفره‌های آب زیرزمینی، مسئله‌ای مهم و حائز اهمیت است. در این پژوهش، توسعه و تدوین مدل بهینه‌سازی الگوی کشت با بهره‌برداری تلفیقی کمی- کیفی از منابع آب سطحی غیرمتعارف (پساب) و آب زیرزمینی با سه هدف حداکثرسازی سود حاصله از الگوی کشت، کاهش آبشویی نیتروژن و بهبود تغذیه آبخوان مدنظر قرارگرفت. مدل بهینه‌سازی سه‌هدفه غیرخطی، به‌منظور مدیریت یکپارچه کمی- کیفی منابع آب آبیاری و پساب برای هفت سناریو (تک هدفه، دو هدفه و سه هدفه) در سال آبی ۹۲-۹۱ در شبکه آبیاری ورامین اجرا شد. همچنین اطلاعات ورودی موردنیاز مدل از دو طریق (انجام آزمایشات منطقه‌ای و اخذ اطلاعات از دستگاه‌های مختلف) گردآوری شد. حل مدل تک هدفه با تابع هدف اول (سناریوی۱: افزایش درآمدزایی)، حاکی از بهبود سود خالص منطقه به میزان ۴۹ ٪ نسبت به وضع موجود بود. در تابع هدف دوم (سناریوی ۲: کاهش آبشویی نیتروژن)، کاهش میزان کود مصرفی به میزان ۹۵ ٪ و در تابع هدف سوم (سناریوی ۳: افزایش تغذیه آبخوان)، افزایش تغذیه به میزان ۱۲۰ ٪ نسبت به وضع موجود حادث شد. حل مدل سه هدفه (سناریوی ۷: ترکیب اهداف افزایش درآمدزایی، کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش تغذیه آبخوان)، نشان داد که با کاهش ۲۳ درصدی سطوح کشت، کاهش ۷۱ درصدی از میزان کود ازته مصرفی و همچنین کاهش ۱۳ درصدی از برداشت تلفیقی پساب و آب زیرزمینی، اهداف افزایش درآمدزایی به میزان ۶٪، افزایش تغذیه آبخوان به میزان ۲۹ ٪ و همچنین افزایش بهره‌وری مصرف آب به میزان ۲۲ ٪ محقق شد. لذا این سناریو به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. نتایج این پژوهش می‌تواند در استفاده بهینه منابع آب، افزایش درآمد کشاورزان و کاهش آبشویی نیتروژن در طرح‌های شبکه آبیاری مورداستفاده قرار گیرد. البته به این نکته باید توجه شود که اصولا استفاده از پسابها و فاضلابها در آبیاری محصولات خوراکی کشاورزی توصیه نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، آبشویی نیتروژن، تغذیه آبخوان.

---

۱ – آدرس نویسنده مسئول: تهران، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران.

*– دریافت: مرداد ۹۵ و پذیرش: آذر ۹۵

مقدمه

نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی برای تولید گیاهان زراعی به شمار می‌رود و درعین‌حال مصرف بی‌رویه آن خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی و افزایش گازهای گلخانه‌ای را در پی دارد.میزان کود نیتروژن باید براساس مقدار آن در منابع آب، خاک و نیاز گیاه در طول دوره رشد به زمین داده شود.این در حالی است که اکثر کشاورزان مقادیر بالای آب و نیتروژن را برای اطمینان از تامین نیاز گیاه استفاده می‌کنند و بدین ترتیب عناصر خاک در معرض آبشویی و انتقال به منابع آب زیرزمینی قرار می‌گیرند(راموس و همکاران،۲۰۱۲). محققین متعددی به مزایای کاربرد پساب اشاره کرده‌اند، به عنوان مثال فتا (۲۰۰۵)، استاندارد سازمان بهداشت جهانی[1](۲۰۰٦)، اورون (۲۰۰۷)، آسانو (۲۰۰۷)و نیز قاسمی و همکاران (۱۳۹۰)گزارش کرده‌اندکه کاربرد پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در آبیاری محصولات کشاورزی، مزایای متعددی از قبیل فراهم نمودن یک منبع آب ارزان و دائمی، کاهش هزینه‌های تصفیه، آزادسازی بخشی از منابع آب با کیفیت خوب برای سایر مصارف، کاهش میزان و هزینه‌های مصرف کودهای شیمیایی و کاهش اثرات نامطلوب ناشی از دفع پساب به منابع آبی را به همراه دارد. سینگ(۲۰۰۱) یک مدل برنامه‌ریزی خطی را برای تعیین الگوی کشت بهینه برای بیشینه‌سازی سود خالص با توجه به میزان موجودیت آب، در منطقه‌ای در هند ارائه نمود. همچنین، خاره و همکاران (۲۰۰٦) یک مدل بهینه‌سازی خطی اقتصادی ـ مهندسی را برای بررسی امکان بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با قیود مختلف مدیریتی و هیدرولوژیکی در اندونزی، تدوین نمودند. نتایج نشان داد گزینه بهره‌برداری تلفیقی می‌تواند سود کل فعالیت‌های کشاورزی را افزایش دهد.

در این رابطه، منتظر و ریاضی (۱۳۸۷) یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی را به‌منظور تخصیص منابع آب سطحی و زیرزمینی در شبکه آبیاری دشت قزوین توسعه دادند. نتایج نشان داد که با تغییر در الگوی کشت و تلفیق بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌توان میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی دشت را به حداقل رسانده و علاوه بر آن سود حاصل از محصولات کشاورزی را نیز در حد قابل قبولی حفظ نمود. بنی‌حبیب و همکاران (۱۳۹۰) مدل غیرخطی تخصیص آب کشاورزی در شرایط پرآبی و خشک‌سالی بر مبنای حداکثرسازی راندمان اقتصادی را ارائه دادند. الگوی کشت بهینه در سناریوهای مختلف با توجه به محدودیت‌های دسترسی به منابع آب تعیین شد که در بهترین حالت تا ٤۷ درصد راندمان اقتصادی بهبود پذیرفت. کارآموز و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی الگوی کشت با توجه به اولویت‌های تخصیص منابع آب و موجودیت منابع آب سطحی و زیرزمینی را در هشت شبکه آبیاری در استان تهران، توسعه دادند. نتایج، نشان‌دهنده تغییرات آشکار در سطوح کشت محصولات مختلف برای دستیابی به حداکثر سود اقتصادی بود. همچنین، علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) بهینه‌سازی الگوی کشت را در دوره برنامه‌ریزی ۱۰ ساله با هدف تعادل‌بخشی منابع آب زیرزمینی در دشت مشهد–چناران انجام دادند. داس و سینگ(۲۰۱٤) سیاست‌های تخصیص بهینه منابع آب و زمین را برای کشاورزی آبی پایدار در پروژه‌ای در کنار رودخانه ماهاندی در هند را با یک مدل برنامه‌ریزی خطی توسعه دادند. نتایج نشان داد که بهره‌برداری تلفیقی (۸۷ درصد از آب سطحی و ۱۳ درصد آب زیرزمینی)، سیاست تخصیص پایدار در منطقه است.

سینگ(۲۰۱۲) مدل بهینه‌سازی خطی کمی–کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی برای بیشینه‌سازی سود خالص کشاورزی را در منطقه‌ای در هند بررسی نمود. توابع تولید در مدل برای برآورد عملکرد گیاه تحت شرایط مختلف شوری آب آبیاری توسعه یافت. نتایج مدل نشان داد که تحت شرایط استفاده بهینه از منابع آب‌وخاک، استفاده از آب زیرزمینی افزایش می‌یابد که در مقابل

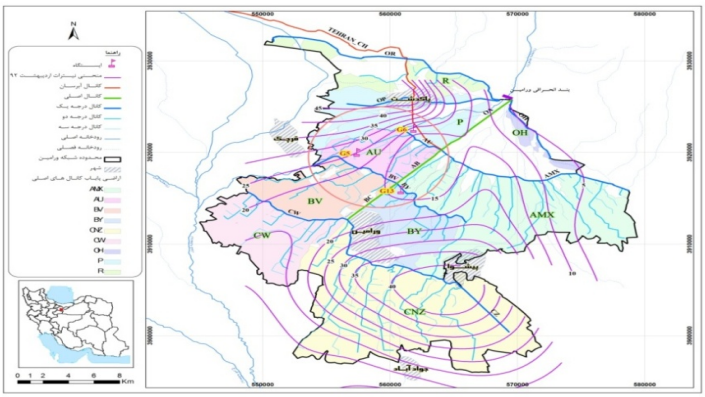
[1] WHO

مشکلات غرقاب شدن و شوری در منطقه مطالعاتی کاهش می‌یابد. سینگ و پاندا(۲۰۱۳) یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی را در منطقه‌ای در هند توسعه دادند که منابع آب‌وخاک موجود را به‌ترتیبی تخصیص می‌دهد که سود خالص سالیانه با حذف مشکلات شوری بیشینه شود. سپس، یک مدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی برای تعیین تاثیر بلندمدت استراتژی‌های مختلف مدیریت آب بر تراز سفره آب زیرزمینی با استفاده از نتایج مدل بهینه‌سازی، بکار گرفته شد. براساس نتایج مدل یک تغییر در الگوی کشت و همچنین افزایش برداشت از آب زیرزمینی باید مدنظر قرار گیرد. جوداوی و همکاران (۲۰۱۵) توسعه و کاربرد مدل بهینه‌سازی الگوی‌کشت و بهره‌برداری تلفیقی را با تأکید بر پارامترهای عدم قطعیت آبخوان، برای جلوگیری از فشار بر منابع آب زیرزمینی در دشت فیروزآباد فارس، تدوین کردند. نتایج نشان داد که الگوی‌کشت فعلی باید تغییر یابد و سطوح کشت برخی از محصولات به‌صورت قابل‌توجهی کاهش یابد.در کلیه مطالعات انجام‌شده تاکنون، مسئله بهینه‌سازی الگوی کشت با اهداف کمی نظیر افزایش سود یا کنترل بیلان آب زیرزمینی همراه بوده و اهداف کیفی تنها شامل کنترل میزان شوری آب زیرزمینی شده و تاکنون مطالعاتی در خصوص کنترل میزان نیتروژن ورودی به محیط خاک و آبخوان، ناشی از مصرف پساب، آب زیرزمینی و کودهای ازته انجام‌نشده است. به‌عبارت‌دیگر در مسئله بهینه‌سازی الگوی کشت تنها دیدگاه اقتصادی و منابع آبی مدنظر قرارگرفته ولی دیدگاه زیست‌محیطی به لحاظ کنترل آبشویی نیتروژن مدنظر قرار نگرفته بود. تحقیق حاضر با هدف توسعه و کاربرد مدل بهینه‌سازی سه هدفه الگوی کشت با بهره‌برداری تلفیقی کمی- کیفی پساب و منابع آب زیرزمینی با اهداف حداکثرسازی سود حاصله از الگوی کشت، کاهش آبشویی نیتروژن و بهبود تغذیه آبخوان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی شبکه ورامین) انجام‌گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

دشت ورامین در بخش شمالی ایران و در دامنه جنوبی البرز، در حدود ٤٠ کیلومتری جنوب شرق استان تهران، واقع‌شده است. بارندگی در دشت به‌طور متوسط حدود ١٤٥ میلی‌متر است. شبکه آبیاری ورامین دارای مساحت ۵۲ هزار هکتار است که دارای یک کانال اصلی به نام OABC بوده که نه کانال درجه دو در نقاط O,A,B,C از آن منشعب می‌شوند(شرکت مهندسان مشاور مهار آب عمران‌گستر،۱۳۹۳). در این پژوهش، بخشی از اراضی شبکه آبیاری ورامین به مساحت ۳۰۵۳ هکتار (تحت پوشش کانال درجه دو AU) در نظر گرفته-شده است. جانمایی شبکه آبیاری ورامین و موقعیت کانال AU در شکل (۱) نشان داده‌شده است.



شکل ۱- نقشه جانمایی شبکه آبیاری ورامین و موقعیت محدوده مطالعاتی (شرکت مهندسان مشاور مهارآب عمران گستر، ۱۳۹۳)

جدول ۱- آمار تامین آب اراضی پایاب کانال AU در سال آبی ۹۱-۹۲ (میلیون مترمکعب)*

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	جمع
چاه	۱/۳	۱/۳	۱/۳	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱/۹	۱۸
پساب	۰/۴	۰/۲۸	۰/۵۳	۰/۲	۰/۴۶	۰/۴۳	۱/۱۴	۱/۵۴	۰/۵	۰/۶	۰/۴۸	۰/۶۳	۷/۳
جمع	۱/۷	۱/۵۸۳	۱/۸۳۲	۰/۹	۱/۲۶	۱/۲۳	۳/۰۴	۳/۴۴	۲/۴	۲/۵	۲/۳۸	۲/۵۳	۲۵

*آمار شرکت مهندسان مشاور مهار آب عمران گستر

منابع آب شبکه ورامین

آمار منابع تامین‌کننده آب اراضی تحت پوشش کانال AU در سال آبی ۹۱-۹۲، در جدول شماره ۱ ارائه-شده است.

آزمایش‌های خاک منطقه

به‌منظور تعیین بافت، شوری، نیترات، نیتروژن و ماده آلی خاک مزارع الگوی کشت منطقه، نمونه‌برداری تصادفی در دونوبت، ابتدا و انتهای فصل کشت در سال زراعی ۹۵-۹۴ انجام گرفت.نتایج در جدول(۲)ارائه‌شده است.

آزمایش‌های پساب و آب زیرزمینی

برای تعیین مقادیر نیترات، نیتروژن کل پساب و آب زیرزمینی، برداشت نمونه در نقطه ابتدای شبکه(نقطه A) و مقادیر نیترات آب زیرزمینی با برداشت نمونه از چاه‌های شاخص منطقه (G5,G6,G13) در محدوده مطالعاتی کانال AU به‌صورت ماهانه در سال آبی ۹۲-۹۱ انجام شد.نتایج در جدول (۳) ارائه‌شده است. همچنین، برای تعمیم داده‌های برداشت‌های نقطه‌ای از چاه‌های شاخص منطقه به سفره آب زیرزمینی، منحنی‌های هم نیترات با استفاده از نرم‌افزار GIS ترسیم شد. نقاط پایش و منحنی‌های هم نیترات در شکل (۱) نمایش داده‌شده است.

جدول ۲- مقادیر نیتروژن کل، نیترات و ماده آلی نمونه‌های خاک تحت پوشش کانال AU- ابتدای فصل کشت

نوع کشت	نیتروژن کل- نمونه ۱ (gr N)	نیتروژن کل - نمونه ۲ (gr N)	نیتروژن کل - نمونه ۳ (gr N)	نیترات - نمونه ۱ (ppm)	نیترات - نمونه ۲ (ppm)	نیترات - نمونه ۳ (ppm)	ماده آلی* - نمونه ۱ (٪)	ماده آلی - نمونه ۲ (٪)	ماده آلی - نمونه ۳ (٪)
گندم	۰/۰۴۳	۰/۰۴۷	۰/۰۴۱	۲۳/۱۱	۲۲/۹۱	۲۳/۳۱	۰/۸۶۲	۰/۸۹۵	۰۸۶۲
جو	۰/۰۵۷	۰/۰۶۵	۰/۰۶۲	۱۱/۷۴	۱۳/۸۳	۱۳/۸	۱/۰۶	۱/۰۹	۱/۰۲
ذرت علوفه‌ای	۰/۰۳۹	۰/۰۴۱	۰/۰۳۶	۱۶/۶۷	۱۶/۷۷	۱۸/۱۵	۰/۹۲۸	۰/۵۹۶	۰/۶۲۹
یونجه	۰/۰۴۴	۰/۰۶۶	۰/۱	۱۶/۴۶	۱۶/۲	۱۵/۳۲	۱/۵۵۸	۱/۶۵۷	۱/۶۹۰
گوجه‌فرنگی**	۰/۰۶۴	۰/۰۵۸	۰/۰۵۹	۳۳/۴۷	۲۸/۲۱	۲۴/۲	۱/۳۲۶	۱/۲۰۹	۱/۱۱

* در حدود دو درصد از ماده آلی خاک در طول فصل کشت به نیتروژن تبدیل می‌شود(IPNI)

**نظر به درصد بیشتر محصول گوجه‌فرنگی در میان صیفی‌جات کشت‌شده در شبکه آبیاری ورامین، این محصول به‌عنوان شاخص صیفی‌جات منطقه انتخاب شد.

جدول ۳- مقادیر نیتروژن کل و نیترات پساب و آب زیرزمینی در نقاط پایش*

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
نیترات پساب- نقطه A- (mg/l)	۸۸	۷۰	۱۰	۱۹	۱۰۳/۸	۷۷	۳۷	۲۹	۷۰	۳۱	۳۸	۳۶
نیتروژن کل پساب- نقطه A- (mg/l)	۲۸	۲۸/۸	۱۰/۵	۱۵	۳۹/۶	۲۹/۶	۲۳/۷	۲۱	۳۰	۱۹/۷	۲۳/۳	۲۴/۴
نیترات آب زیرزمینی- mg/l-(G5,G6,G13)	۳۰	۳۰	۳۰	۸/۴۵	۸/۴۵	۸/۴۵	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۳/۳	۱۴/۳۷	۱۴/۳۷	۱۴/۳۷

* آماربرداری شرکت مهندسین مشاور یکم

برآورد نیاز آبی

برای تعیین نیاز آبی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان الگوی کشت، از مدل CROPWAT استفاده شد. این مدل براساس اطلاعات نشریه ٥٦ فائو است.اطلاعات ورودی مدل مشتمل بر داده‌های هواشناسی (درجه حرارت حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی)، داده‌های خاک (مقدار رطوبت موجود خاک، ضریب تخلیه مجاز، حداکثر عمق توسعه ریشه) و داده‌های گیاهی (ضرایب گیاهی، طول مراحل رشد فیزیولوژیک چهارگانه گیاه، تاریخ شروع کشت) می‌باشد و خروجی مدل مشتمل بر برآورد نیاز آبی و برنامه‌ریزی آبیاری می باشد. لازم به ذکر است که اطلاعات مورد نیاز مدل با گردآوری از دستگاههای مختلف و همچنین با انجام آزمایشات خاک حاصل شده است.

برآورد میزان عملکرد گیاهان

برای تعیین میزان عملکرد ماده خشک[1] گیاهان الگوی کشت به‌صورت ماهانه از مدل گیاهی AquaCrop، استفاده شد.این مدل براساس اطلاعات نشریه ۳۳ فائو است.اطلاعات ورودی به مدل مشتمل بر داده‌های هواشناسی(تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع، بارش روزانه، دمای حداقل و حداکثر روزانه و الگوی تمرکز گاز CO2)، داده‌های خاک(نقاط ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و رطوبت اشباع خاک)، داده‌های آب (برنامه‌ریزی آبیاری گیاه و شوری آب) و داده‌های گیاهی(طول دوره‌های چهارگانه رشد محصول، عمق ریشه و فواصل کشت) بود.

نتایج خروجی مدل نیز شامل عملکرد ماده خشک گیاه، بصورت روزانه و ماهانه می‌باشد.لازم به ذکر است که اطلاعات موردنیاز مدل با گردآوری از دستگاههای مختلف و همچنین با انجام آزمایشات خاک-وآب حاصل شده است.

برآورد نیاز کودی گیاهان

به‌منظور تعیین مقدار کود موردنیاز گیاهان از مفهوم غلظت بحرانی نیتروژن (یعنی کمینه غلظت نیتروژن کل در اندام‌های هوایی که بیشینه ماده خشک را در یک-زمان و موقعیت معین تولید می‌کند) استفاده شد. جاستس و همکاران در سال ۱۹۹٤ یک منحنی غلظت بحرانی نیتروژن (N_{ct}) برای مقادیر ماده خشک بخش هوایی در گیاهان زراعی ارائه دادند(رابطه ۱) :

$$N_{ct} = aDM^{-b} \qquad (۱)$$

که در آن:

DM مقدار ماده خشک تجمع یافته در بخش هوایی برحسب تن در هکتار، N_{ct} غلظت بحرانی نیتروژن در بخش هوایی برحسب درصد(گرم N در ۱۰۰ گرم از DM)، a ,b ضرایب معادله هستند. لازم به توضیح است که مقدار DM برحسب نتایج مدل گیاهی آکوکراپ به دست آمد و به‌منظور برآورد ضرایب a,b ازمتوسط مقادیری که در تحقیقات، جاستس(۱۹۹۷)، پلنت و لیمایر (۲۰۰۰)، تای (۲۰۰۲) و لیمایر (۲۰۰۸) به‌دست‌آمده، استفاده شد.

برای حصول اطمینان از نتایج مدل AquaCrop برای برآورد عملکرد گیاه و معادله غلظت بحرانی نیتروژن برای تعیین نیاز نیتروژن ماهانه گیاه در شبکه آبیاری ورامین، نتایج با آمار اخذ شده از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان پاکدشت درخصوص میزان عملکرد و مقادیر کود مصرفی منطقه مقایسه شد و صحت نتایج حاصله مورد تایید قرار گرفت. نتایج در جدول (٤) ارائه شده است.

[1] Biomass

جدول ۴- نتایج عملکرد گیاه و کود مصرفی محاسباتی توسط مدل و اطلاعات مدیریت جهاد کشاورزی پاکدشت

نام محصول	عملکرد (تن/هکتار) - آمارنامه کشاورزی	عملکرد تر(تن/هکتار) - مدل اکوکراپ	خودمصرفی(کیلوگرم/هکتار) مدیریت جهاد کشاورزی	کود(کیلوگرم/هکتار) معادله غلظت بحرانی نیتروژن
گندم	۴/۴	۴/۵۴	۱۵۰-۲۰۰	۱۵۹/۳
جو	۳/۶	۳/۲	۱۵۰-۲۰۰	۱۹۵/۶
ذرت علوفه‌ای	۴۸	۵۰	۲۰۰-۳۰۰	۱۸۶/۱
گوجه‌فرنگی	۱۴/۹	۱۵/۴۷	۱۵۰-۲۰۰	۱۷۰/۸
یونجه	۴۹/۷	۵۴/۶	۱۰۰	۱۱۹/۷

مدل بهینه‌سازی تلفیقی کمی-کیفی پساب و آب زیرزمینی

مدل بهینه‌سازی تلفیقی کمی-کیفی پساب و آب زیرزمینی با سه تابع هدف، تدوین‌شده است. تابع هدف اول، دیدگاه اقتصادی بهره‌برداری از شبکه را نشان می‌دهد، در این دیدگاه تحصیل درآمد بیشتر با افزایش سطوح کشت، مطلوبیت دارد. تابع هدف دوم، دیدگاه زیست‌محیطی بهره‌برداری از شبکه است، این تابع هدف، میزان آبشویی نیتروژن کل به محیط خاک و آبخوان را کاهش میدهد. تابع هدف سوم، دیدگاه مدیریت منابع آب در بهره‌برداری از شبکه است، این تابع هدف، وضعیت تغذیه و بیلان آبخوان را بهبود می‌بخشد. مدل بهینه‌سازی به فرم برنامه‌ریزی غیرخطی است. لذا حل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی غیرخطی به روش گرادیان کاهشی تعمیم-یافته[1] و با استفاده ازسالور اکسل[2] انجام شد. توابع هدف و محدودیت‌ها به شرح زیراست:

توابع هدف

تابع هدف اول(رابطه۲)، بهینه‌سازی سود حاصل از الگوی کشت است. در این تابع هدف، سود حاصل از عملکرد محصولات از هزینه‌های برداشت از پساب و آب زیرزمینی و همچنین هزینه‌های کود مصرفی، کسر شده تا سود خالص حاصل از مساحت کشت به دست آید. هزینه‌های کود مصرفی نیز مشتمل بر تامین کمبود نیاز کود ازته گیاه از میزان نیتروژنی است که به‌صورت بالقوه توسط نیتروژن پساب و نیترات آب زیرزمینی و نیتروژن اولیه خاک در اختیار گیاه قرارگرفته است.

$$\text{Max: } Z_1 = \sum_{j=1}^{5} NR_j . A_j - CCW \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} VCW_{ij} - CGW \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} VGW_{ij} - t\left[\left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TC_{ij}\right)(\mathrm{A_j}) - \left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TN_{ij}\left(VCW_{ij}\right)\right) + \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} Tk_{ij}\left(VGW_{ij}\right) + \left(\sum_{j=1}^{5} TM_j\right)(A_j) + \left(\sum_{j=1}^{5} OM_j\right)(A_j)\right] \quad (۲)$$

i شاخص ماه، j شاخص نوع گیاه، Z_1 سود خالص حاصل از منطقه(IR)، IR واحد پول، A_j مساحت تحت کشت محصول j (ha)، NR_j سود خالص گیاه j ام (IR/ha)، TC_{ij} نیاز کودی ماهانه گیاهان (kg/ha)، TN_{ij} غلظت نیتروژن کل پساب(ppm)، Tk_{ij} غلظت نیترات آب زیرزمینی (ppm)، TM_{ij} نیتروژن کل خاک در ابتدای فصل کشت(kg/ha)، OM_{ij} ماده آلی خاک در ابتدای فصل کشت (kg/ha)،VCW_i حجم پساب که برای آبیاری در ماهi ام به کار می‌رود(MCM)، CCW هزینه یک واحد آب کانال(پساب) (IR)، VGW_i حجم آب زیرزمینی که برای آبیاری در ماهi ام به کار می‌رود (MCM)، CGW هزینه یک واحد آب زیرزمینی (IR)، tهزینه یک کیلوگرم کود مصرفی (IR)

[1] Generalized Reduced Gradient (GRG2)
[2] Excell Solver

تابع هدف دوم(رابطه۳)، در خصوص حداقل‌سازی میزان آبشویی نیتروژنکل به محیط خاک و آبخوان است. بدین ترتیب که کسر مقادیر نیتروژن ورودی به خاک از خروجی آن، باید کمینه شود:

Min:

$$Z_2 = \left[\left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TN_{ij}\left(VCW_{ij}\right) + \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} Tk_{ij}\left(VGW_{ij}\right) + \left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TF_{ij}\right)(A_j) + \left(\sum_{j=1}^{5} TM_j\right)(A_j) + \left(\sum_{j=1}^{5} OM_j\right)(A_j)\right] - \left[\left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TC_{ij}\right)(A_j) + \left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TD_{ij}\right)(A_j) + \left(\sum_{j=1}^{5} TR_j\right)(A_j)\right] \quad (۳)$$

Z_2 میزان تلفات آبشویی ازت (kg/ha)، TF_{ij} کود داده-شده به گیاه (kg/ha)، TD_{ij} دینیتریفیکاسیون نیتروژن در خاک (kg/ha)، TR_{ij} نیتروژن باقیمانده در خاک در انتهای فصل کشت (kg/ha)

مقدار دنیتریفیکاسیون (TD_{ij}) از رابطه (٤) محاسبه می-شود:

$$\left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TD_{ij}\right) = \left[\left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TT_{ij}\left(VCW_{ij}\right) + \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} Tk_{ij}\left(VGW_{ij}\right) + \left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TF_{ij}\right)(A_j)\right] * \left(1-\exp^{(-0.01\times\Delta t)}\right) \quad (٤)$$

TT_{ij} غلظت نیترات پساب(ppm)، ΔT: ۳۰ روز

تابع هدف سوم(معادله شماره ۵)، در خصوص بهبود وضعیت تغذیه آبخواناست. بدین ترتیب که کسر میزان تغذیه آبخوان ناشی از نفوذ عمقی حاصل از آب سطحی و زیرزمینی به انضمام تغذیه ناشی از بارندگی از میزان برداشت از آبخوان، بیشینه شود.

Max:

$$Z_3 = \mathrm{RAL}\sum_{i=1}^{12}(VCW_i + VGW_i) + RRF\ \sum_{i=1}^{12} RF_i . A_i - \sum_{i=1}^{12} VGW_i \quad (۵)$$

Z_3 میزان تغذیه آبخوان (MCM)، RAL =۰/۳۷٤ ضریب تغذیه برای تلفات آب کاربردی، RRF ۰/۱۳ ضریب تغذیه برای بارندگی، RF_i بارش در ماه (گزارش مدل ریاضی کمی- کیفی آبخوان آبرفتی ورامین- مهندسین مشاور یکم-تیرماه ۱۳۹۲).

تابع سه هدفه وزنی

برای حل مسئله بهینه‌سازی چندهدفه با اهداف دوگانه و سه‌گانه از روش جمع وزنی استفاده شد. فرم کلی تابع سه هدفه وزنی مطابق با رابطه (٦)است.

$$MAX: \quad Z = W_1 Z_1 - W_2 Z_2 + W_3 Z_3 \quad (٦)$$

W_3, W_2, W_1 وزن‌های توابع هدف

محدودیت‌ها(قیود)

محدودیت نیاز کودی گیاه(رابطه۷)، که در این محدودیت، نیاز کود نیتروژنه گیاهان به‌طور کامل از منابع کودی موجود (پتانسیل کودی پساب و آب زیرزمینی، کود داده‌شده به زمین و مقادیر نیتروژن و ماده آلی اولیه خاک)، قابل تامین باشد.

$$\left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TC_{ij}\right)(\mathrm{A_j}) \le \left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TN_{ij}\left(VCW_{ij}\right) + \sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} Tk_{ij}\left(VGW_{ij}\right) + \left(\sum_{i=1}^{12}\sum_{j=1}^{5} TF_{ij}\right)(\mathrm{A_j}) + \left(\sum_{j=1}^{5} TM_j\right)(A_j) + \left(\sum_{j=1}^{5} OM_j\right)(A_j)\right) \quad (۷)$$

محدودیت سطوح زیرکشت (رابطه۸)، که مجموع سطوح زیرکشت محصولات در شبکه آبیاری ورامین باید کوچک‌تر یا مساوی مساحت تحت کشت منطقه باشد.

$$\sum_{j=1}^{5} \mathrm{A_{ij}} \le \mathrm{TA_j} \qquad \forall i \quad (۸)$$

$\mathrm{TA_j}$ مساحت کل کشت

محدودیت نیاز آبی گیاهان(رابطه ۹)، که نشان دهنده این است که، نیاز آبی گیاهان تحت‌کشت باید ماهانه به‌طور کامل از پساب در تلفیق با آب زیرزمینی پوشش داده شود.

$$\sum_{j=1}^{5} \mathrm{GIR_i} . \mathrm{A_i} - \sum_{j=1}^{5} \mathrm{VGW_i} - \sum_{j=1}^{5} \mathrm{VCW_i} = 0; \qquad \forall i \quad (۹)$$

GIR_i نیاز ناخالص ماهانه گیاه

محدودیت برداشت از پساب (رابطه۱۰)، که با اعمال این محدودیت، میزان برداشت از پساب، حداکثر به میزان حجم پساب در کانال در آن ماه محدود می‌شود.

$$VCW_i <= AVCW_i \quad \forall i \qquad (10)$$

$AVCW_i$حجم پساب در ماه i (MCM)

محدودیت برداشت از آب زیرزمینی(رابطه۱۱)، که با اعمال این محدودیت، میزان برداشت از آب زیرزمینی، حداکثر به میزان پتانسیل برداشت از آب زیرزمینی در آن ماه محدود می‌شود.

$$VGW_i <= AVGW_i \quad \forall i \qquad (11)$$

$AVGW_i$ حجم آب زیرزمینی در ماهi (MCM)

محدودیت تغییرات سطوح زیر کشت محصولات (رابطه۱۲)، که بیانگر بازه تغییرات سطوح کشت محصولات، براساس پتانسیل تولید منطقه طی سال‌های خشک‌سالی و پرآبی ۱۰ ساله منطقه بین مقدار صفر تا حداکثر است.

$$0 \leq A_j \leq TA_{jmax} \qquad (12)$$

TA_{jmax} بیشینه مساحت کشت محصول در دوره ۱۰ ساله

متغیر تصمیم

متغیرهای تصمیم مشتمل بر سطوح کشت محصولات، میزان تخصیص از پساب و آب زیرزمینی و همچنین مقادیر کود داده‌شده به گیاه به‌صورت ماهانه است.

سناریوهای پیشنهادی

در این تحقیق، هفت سناریو بعلاوه سناریوی وضع موجود منطقه مطابق ذیل در نظر گرفته شد: سناریوی وضع موجود: لحاظ وضعیت فعلی منطقه به لحاظ سطوح زیرکشت، کود مصرفی و مقادیر برداشت از پساب و آب زیرزمینی/سناریوی ۱:تابع هدف Z_1 (افزایش درآمدزایی منطقه)/ سناریوی ۲: تابع هدف Z_2(کاهش آبشویی نیتروژن کل)/ سناریوی ۳:تابع هدف Z_3 (افزایش تغذیه آبخوان)/ سناریوی ٤:توابع هدف Z_1, Z_2(افزایش درآمدزایی و کاهش آبشویی نیتروژن)/ سناریوی ۵:توابع هدف Z_1, Z_3 (افزایش توأمان درآمدزایی و تغذیه آبخوان)/ سناریوی ٦: توابع هدف Z_2, Z_3 (کاهش آبشویی نیتروژن و افزایش تغذیه آبخوان)/ سناریوی ۷:توابع هدف Z_1, Z_2, Z_3 (افزایش توأمان درآمدزایی و تغذیه آبخوان و کاهش آبشویی نیتروژن)

نتایج و بحث

مقادیر سطوح کشت در وضع موجود، ۲۱۲۰ هکتار بوده که با حل مدل بهینه‌سازی تک هدفه، دو هدفه و سه هدفه، مقادیر بهینه سطوح کشت در هفت سناریو در جدول (۵) ارائه‌شده است. براساس نتایج حاصله، مقدار سطوح بهینه کشت در تمامی سناریوها نسبت به وضع موجود کاهش‌یافته است، از دلایل کاهش سطوح کشت، می‌توان به حد برداشت مجاز از پساب و آب زیرزمینی، رعایت حدود مجاز تغییرات سطوح کشت، کاهش میزان آبشویی نیتروژن کل و بهبود تغذیه آبخوان اشاره کرد. این کاهش در سناریوهای ۲،۳، ۵ و ٦ بیش از ۵۰ درصد بوده که دو عامل، کاهش میزان آبشویی نیتروژن کل و بهبود تغذیه آبخوان، نقش اساسی‌تری در کاهش سطوح فوق داشته‌اند. در سناریوهای ۱، ٤ و ۷ نیز چون یکی از اهداف،افزایش درآمدزایی طرح است لذا کاهش سطوح کشت با آهنگ کمتری به ترتیب به میزان۲۳، ۳۷ و ۲۲ درصد نسبت به وضع موجود کاهش می‌یابد. در سناریوی ۷ با اعمال همه محدودیت‌ها، سطوح بهینه کشت، ١٦۵١ هکتار در شرایط تلفیق پساب و آب زیرزمینی خواهد بود که ترکیب کشت حاصله، علاوه بر افزایش درآمد طرح، میزان آبشویی نیتروژن کل و تغذیه آبخوان را نیز بهبود می‌بخشد.

جدول ۵- مقادیر سطوح کشت مدل در سناریوهای مختلف

محصول سطوح کشت سناریوهای مختلف(هکتار)	گندم	جو	ذرت علوفه‌ای	یونجه	گوجه فرنگی	الگوی کشت
سناریوی وضع موجود*	۵۴۸	۵۷۲	۲۹۱	۲۸۶	۴۲۳	۲۱۲۰
سناریو ۱	۳۹۸	۰	۵۷	۶۵۷	۵۰۶	۱۶۳۶
سناریو ۲	۱۴۹	۲۸۱	۷۳	۵۶۱	۰	۱۰۶۴
سناریو ۳	۰	۳۸۲	۰	۱۵۰	۰	۵۳۲
سناریو ۴	۱۸۴	۴۱۲	۳۷	۶۳۸	۵۸	۱۳۲۸
سناریو ۵	۲۳۰	۱۹۲	۱۸	۴۴۳	۱۸	۹۰۲
سناریو۶	۱۸۲	۲۲۴	۵۷	۳۲۵	۰	۷۸۸
سناریو۷	۶۱	۷۸۶	۳۶	۶۷۵	۹۳	۱۶۵۱

* الگوی کشت وضع موجود بر مبنای پتانسیل تولید منطقه طی سالهای خشک‌سالی و پرآبی ۱۰ ساله منطقه می‌باشد.

لازم به توضیح است که در تمامی سناریوها، مدل درصد کشت محصولات جو و یونجه را افزایش داده و در مقابل درصد کشت گندم را تا حدودی و درصد کشت محصولات ذرت و گوجه‌فرنگی را با آهنگ بیشتری کاهش داده است. از دلایل اصلی افزایش سطوح محصولات جو و یونجه می‌توان به نیاز آبی پایین‌تر گیاه جو نسبت به گیاه گندم در کشت‌های پاییزه و درآمدزایی بالای گیاه یونجه و همچنین نیاز کود ازته پایین‌تر یونجه در میان کشت‌های بهاره اشاره نمود.همچنین در سناریوی ۱ (افزایش سود اقتصادی)، علت کاهش سطوح کشت جو و افزایش سطوح کشت گوجه‌فرنگی، به ترتیب به دلیل درآمد بیشتر گیاه گندم نسبت به جو در کشت‌های پاییزه و سودآوری بیشترگوجه‌فرنگی پس از یونجه در کشت‌های بهاره نام برد.

نتایج ارزیابی سناریوها

مقایسه وضعیت سناریوهای مختلف با وضع موجود در شاخص‌های مساحت کل کشت، سطوح کشت گیاهان، مقادیر برداشت از آب سطحی و زیرزمینی، کود مصرفی، بهبود تغذیه آبخوان، سود خالص کل و بهره‌وری مصرف آب[1] انجام‌شده که نتایج در شکل (۲) نمایش داده‌شده است. شاخص، نسبت مقدار متغیرهای محاسباتی (مساحت کل زیرکشت، سطوح کشت گیاهان، کود مصرفی ونظایر آنها) به مقدار آن متغیر در وضع موجود، اطلاق می‌شود. لازم به توضیح است که کلیه اطلاعات مربوط به وضع موجود منطقه نظیر سطوح کشت گیاهان، کود مصرفی و هزینه و درآمد تولید محصولات از مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان پاکدشت و اطلاعات مربوط به مقادیر برداشت از آب سطحی و زیرزمینی از امور آب شهرستان پاکدشت اخذ شده است. همچنین اطلاعات سطوح‌کشت در وضع موجودبراساس پتانسیل تولید منطقه طی سال‌های خشکسالی و پرآبی ۱۰ ساله بوده حال آنکه مابقی اطلاعات فوق‌الذکر در سال آبی ۹۲-۹۱ برداشت شده است.

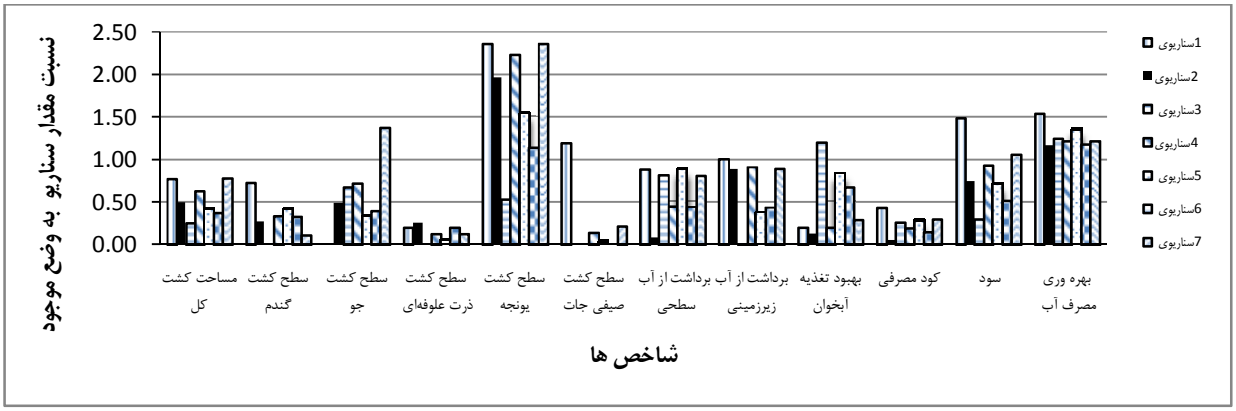
در شاخص برداشت از پساب، مدل، میزان تامین آب از پساب را در تمامی سناریوها نسبت به وضع موجود، کاهش داده است، این کاهش برداشت به دلیل حد برداشت مجاز از پساب و متعاقباً کاهش تلفات آبشویی نیتروژن کل است. در سناریوهای ۲، ٤ و ٦، مدل با کاهش برداشت قابل‌توجه از پساب به ترتیب به میزان ۹۲، ۵۵ و

[1] میزان سود محصول به ازاء واحد آب مصرفی می‌باشد که از تقسیم سود (برحسب ریال) برحجم آب مصرفی (برحسب مترمکعب) بدست می‌آید.

٥٦ درصد، مبادرت به کاهش تلفات آبشویی نیتروژن می‌کند، همچنین از ترکیب کشتی استفاده می‌کند که نیاز کود ازته کمتری داشته باشد و بدین ترتیب تلفات نیتروژن در این سناریوها کاهش می‌یابد.در مابقی سناریوها، که تابع هدف ۲، تابع اصلی نیست، تنها بهبودی در وضعیت آبشویی نیتروژن به دلیل وجود قید محدودیت نیاز کودی گیاه، حادث می‌شود.

در شاخص برداشت از آب زیرزمینی، تنها در سناریوی ۱، مدل حداکثر برداشت از آب زیرزمینی را به میزان وضع موجود انجام می‌دهد تا حداکثر درآمد در منطقه حاصل شود.این در حالی است که در سناریوی ۳ و ترکیبات آن نظیر سناریوی ۵ و ٦ که هدف بهبود وضعیت تغذیه آبخوان مدنظر است، از حداقل مقدار آب زیرزمینی به میزان یک، ۳۸و ٤٤ درصد برداشت می‌شود. مدل با کاستن از میزان برداشت از آبخوان به بهبود وضعیت بیلان آبخوان که در حال حاضر منفی است، کمک می‌کند. کاهش کود مصرفی، یکی از شاخص‌های مهم در این پژوهش است.در تمامی سناریوها میزان کود مورد نیاز نسبت به وضع موجود کاهش‌یافته است. در سناریوی ۱ که هدف افزایش درآمدزایی طرح است، میزان کود مورد نیاز الگوی کشت بهینه، ۵۷ درصد کمتر از میزان کود مصرفی در وضع موجود است،همچنین ترکیب کشت نیز به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که نیاز کودی الگوی کشت، کاهش یابد. در سناریوهای ۲، ٤ و ٦ که تابع کاهش آبشویی نیتروژن در آن‌ها ملحوظ است، با کاهش سطوح کشت و همچنین کاهش تلفات نیتروژن، میزان کود مورد نیاز الگوی کشت به میزان ۹۵، ۸۱ و ۸٦ درصد کاهش می‌یابد، چراکه با انتخاب ترکیب کشت مناسب و کاهش تلفات آبشویی نیتروژن، میزان نیاز کودی الگوی کشت، کاهش می‌یابد. در سناریو ۳ و ۵ که دارای تابع هدف ۲ نمی‌باشند و تنها قید تامین نیاز کودی گیاه منجر به کنترل مقدار کود موردنیاز می‌شود نیز مقدار کود موردنیاز الگوی کشت، اندکی افزایش می‌یابد. در سناریوی ۷ با انتخاب الگوی کشت بهینه در شرایط تامین همزمان سه هدف می‌توان از پتانسیل کودی پساب و آب زیرزمینی استفاده کرد که این امر منجر به کاهش مصرف کود ازته به میزان ۷۱ درصد و متعاقباً کاهش تلفات آبشویی نیتروژن شده و منجر به کاهش هزینه‌های خریداری کود نیز می‌شود.

در شاخص بهره‌وری مصرف آب، در تمام سناریوها، میزان بهره‌وری آب بالاتر از وضع موجود است. سناریوی ۱ دارای بالاترین میزان بهره‌وری آب است که نشان‌دهنده بالاترین سود خالص حاصله در مقابل واحد آب مصرفی در بین سناریوهای مختلف است که به دلیل انتخاب الگوی کشت با تراکم کشت بالای محصولات سودآورتر است. پس‌ازآن سناریوی ۵ دارای بالاترین میزان بهره‌وری است که به دلیل انتخاب الگوی‌کشت با سودآوری بالا و همچنین کاهش سطوح کشت به دلیل بهبود بیلان آبخوان، حادث می‌شود. در سناریوی۲ و٦ میزان بهره‌وری مصرف آب اندکی کاهش می‌یابد که به دلیل کاهش درآمد طرح در واحد سطح به دلیل انتخاب الگوی‌کشت مبتنی بر حداقل نمودن میزان آبشویی، حادث می‌شود. در سناریوهای ۳،٤ سطوح کشت و متعاقباً سود حاصله نسبت به وضع موجود به ترتیب به دلیل کاهش برداشت از آب زیرزمینی و کاهش برداشت از پساب، کاهش می‌یابد. در سناریوی ۷، هر دو شاخص بهره‌وری مصرف آب و همچنین میزان سود خالص شبکه نسبت به وضع موجود افزایش‌یافته است.



شکل ۲- نمایش شاخص‌های سناریوهای ۷ گانه

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدل بهینه‌سازی سه هدفه بهره‌برداری تلفیقی کمی- کیفی از پساب و آب زیرزمینی نشان داد که با تغییر در الگوی‌کشت و تلفیق بهینه پساب و آب زیرزمینی، می توان ضمن استفاده موثر از پتانسیل کودی پساب و آبزیرزمینی، میزان آبشویی نیتروژن را به محیط خاک و آبخوان، کاهش داده، همچنین میزان افت سطح آب زیرزمینی دشت را به حداقل رسانده و بیلان آبخوان را بهبود بخشید. علاوه بر آن، سود خالص حاصل از محصولات کشاورزی و نیز میزان بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد. لازم به ذکر است که تحقیق مشابهی تاکنون در این زمینه در داخل یا خارج از کشور انجام نشده است، تنها در مطالعات سینگ (۲۰۱۲) که در مقدمه گذشت، پژوهش مشابهی در خصوص بهینه‌سازی الگوی کشت با اهداف بیشینه‌سازی سود اقتصادی و بهبود وضعیت کمی- کیفی آبخوان به لحاظ اثرات شوری آب آبیاری، انجام شده است. در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی سه هدفه الگوی کشت با اهداف بیشینه‌سازی سود اقتصادی با محوریت کاربرد نیتروژن موجود در پساب و آب زیرزمینی بر کاهش مصرف کودهای ازته در منطقه و متعاقباً کاهش آبشویی نیتروژن و بهبود وضعیت کمی- کیفی آبخوان انجام شده است.به‌منظور بررسی گزینه‌های مختلف بهره‌برداری تلفیقیاز پساب و آب زیرزمینی، سناریوهای مختلفی به‌صورت مدل‌های تک هدفه، دو هدفه و سه هدفه با استفاده از ابزار بهینه‌سازی غیرخطی،موردمطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای سناریوهای مختلف نشان داد که براساس شاخص سود خالص شبکه و بهره‌وری مصرف آب، تنها در سناریوی ۱ و ۷،سود خالص نسبت به وضع موجود افزایش می‌یابد. در سناریوی ۱ چون تنها هدف افزایش درآمدزایی مدنظر است و شاخص‌های دیگر نظیر کنترل آبشویی و افزایش تغذیه آبخوان را بهبود نمی‌بخشد، علی‌رغم افزایش ٤۹ درصدی سود خالص و افزایش ٥٤ درصدی بهره‌وری مصرف آب، نمی‌تواند به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شود، هر چند که این سناریو می‌تواند مطلوبیت بیشتری برای کشاورز داشته باشد. حال‌آنکه سناریوی ۷ (حل مدل سه هدفه)، با کاهش ۲۳ درصدی سطوح کشت، کاهش ۷۱ درصدی از میزان کود ازته مصرفی و همچنین کاهش ۱۳ درصدی از برداشت تلفیقی از پساب و آب زیرزمینی، اهداف افزایش درآمدزایی به میزان ٦ درصد، افزایش تغذیه آبخوان به میزان ۲۹ درصد و همچنین افزایش بهره‌وری مصرف آب به میزان ۲۲ درصد را تأمین نموده است، لذا این سناریو به‌عنوان سناریوی برتر انتخاب شد. مدیریت یکپارچه کمی- کیفی منابع آب آبیاری و پساب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به لحاظ کنترل اثرات زیست‌محیطی آبشویی نیتروژن به محیط خاک و آبخوان، مسئله‌ای مهم و حائز اهمیت است و توصیه می‌شود برنامه‌ریزی منابع آبی- کودی گیاهان الگوی کشت با کاربرد مدل‌های بهینه‌سازی بهره‌برداری تلفیقی کمی-

کیفی، به‌صورت توأمان انجام شود تا اهداف اقتصادی، منابع آبی و زیست‌محیطی شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌صورت هم‌زمان محقق شوند و مدل سه هدفه پیشنهادی این تحقیق می‌تواند در تامین اهداف سه بخش کشاورزی، مدیریت منابع آب و محیط‌زیست مورداستفاده قرار گیرد. البته ذکر این نکته ضروری است که اصولا استفاده از پسابها و فاضلابها در آبیاری محصولات خوراکی کشاورزی توصیه نمی‌شود و استفاده از پسابها می‌بایست با مطالعه و دقت بالایی صورت پذیرد، بگونه‌ای که هم از فواید کاربرد پسابها بهره جست و هم خطرات زیست-محیطی و بهداشتی ناشی از مصرف پسابها را به حداقل، کاهش داد.

فهرست منابع

۱. داویجانی، م. ح.،م. ا. بنی حبیب. و س. ر.هاشمی. ۱۳۹۱. تدوین مدل تخصیص آب کشاورزی در شرایط پر آبی و خشکسالی بر مبنای حداکثرسازی راندمان اقتصادی (مطالعه موردی: حوضه کویر مرکزی).اولین همایش ملی مدیریت مدیریت آب در مزرعه، کرج، خرداد ۹-۱۰، ۱۳۹۱.

۲. ریاضی، ح. و ع. ا. منتظر.۱۳۸۷. ارزیابی استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی شبکه آبیاری قزوین. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

۳. شرکت مهندسان مشاور مهارآب عمران گستر،۱۳۹۳.گزارش مطالعات بازنگری و علاج بخشی شبکه آبیاری و زهکشی دشت ورامین.

٤. شرکت مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۲. مطالعات کیفی و آلودگی محدوده مطالعاتی ورامین. گزارش مدل ریاضی کمی- کیفی آبخوان آبرفتی ورامین.

۵. شرکت مهندسین مشاور یکم، ۱۳۹۲. مطالعات کیفی و آلودگی محدوده مطالعاتی ورامین. گزارش تجزیه و تحلیل داده‌های آلودگی منابع آب.

٦. علیزاده، ا.، ن.مجیدی.، م.قربانی. و ف. محمدیان. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی الگوی کشت با هدف تعادل بخشی منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی دشت مشهد-چناران). آبیاری و زهکشی ایران. جلد ٦. شماره ۱.

۷. قاسمی، س.ع.،ش.دانش، ا. علیزاده. ۱۳۹۰. ارزیابی پتانسیل تأمین آب آبیاری و ارزش کودی پساب تصفیه-خانه‌های فاضلاب شهری. آب و خاک. جلد ۲۵. شماره ۵. ۱۱۸۳-۱۱۷۲.

8. Asano, T. 2007. Water reuse: issues, technologies, and applications. McGraw-Hill Professional.

9. Das, B., A.Singh.,S.N.Panda., and H.Yasuda. 2015. Optimal land and water allocation policies for sustainable irrigated agriculture.Land Use Policy. 42:527-537.

10. Fatta, D., and N. Kythreotou. 2005. Wastewater as valuable water resource - concerns, constraints and requirements related to reclamation, recycling and reuse. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, Greece.

11. International Plant Nutrition Institute (IPNI). 2011. Nitrogen in soil organic matter, how much is released in your field, [Online]. Available at https://ipni.net. Norcross, Georgia 30092-2844 USA.

12. Joodavi, A., M.Zare., andM. Mahootchi. 2015. Development and application of a stochastic optimization model for groundwater management: crop pattern and conjunctive use consideration. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 29:1637–1648.

13. Justes, E., M.H.Jeuffroy., and B. Mary. 1997. The nitrogen requirement for major agricultural crops: wheat, barley and durum wheat. In Diagnosis of the nitrogen status in crops, G. Lemaire G (eds.), Springer-Verlag, Heidelberg, pp. 73-89.
14. Justes, E., B. Mary., J. M. Meynard., J.M. Machet., and Thelier-Huches. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. Annals Botany. 74:397-407.
15. Karamouz, M., B. Zahraie., R. Kerachian., and A. Eslami. 2010. Crop pattern and conjunctive use management: A Case Study.Irrigation and drainage. 59,2.
16. Khare, D. 2006. Assessment of counjunctive use planning options: A case study of sapon irrigation command area of Indonesia.Journal of Hydrology. 328 (3), 764-777.
17. Lemaire, G., M. Jeuffroy., andF. Gastal.2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage theory and practices for crop N management.Europ. J. Agronomy 28: 614–624.
18. Oron G., L. Gillerman., A. Bick., Y. Mnaor., N. Buriakovsky., and J. Hagin.2007. Advanced low quality waters treatment for unrestricted use purposes: Imminent challenges. Desalination, 213: 189-198.
19. Pl´enet, D., andG. Lemaire. 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Plant Soil. 216, 65–82.
20. Ramos, T.B., J. Šimu˚ nek.,M.C. Goncalves., J.C. Martins., A. Prazeres., andL.S. Pereira. 2012. Two-dimensional modeling of water and nitrogen fate from sweet sorghum irrigated with fresh and blended saline waters. Agric. Water Manag. 111, 87–104.
21. Singh, A. ۲۰۱٤ . Poor quality water utilization for agricultural production: An environmental perspective.Land Use Policy. 43, 259-262.
22. Singh, A., andS.N. Panda. 2013. Optimization and simulation modeling for managing the problems of water resources. Water resources management. 27 (9), 3421-3431.
23. Singh, A. 2012. Optimal allocation of resources for the maximization of net agricultural return. Irrigation and Drainage Engineering.138 (9), 830-836.
24. Singh, D. K., C.S. Jaiswal.,K.S. Reddy., R.M. Singh., and D.M. Bhandarkar.2001. Optimal cropping pattern in a canal command area.Agricultural water management. Vol. 50. Issue 1. Pages 1-8.
25. Tei, F., P. Benincasa., M. Guiducci. 2002. Critical nitrogen concentration in processing tomato. Eur J Agron. 18:45–55.
26. WHO. 2006. Guidelines for drinking water quality. 3 ed. Geneva: WHO, 2006.p. 190-1.