تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۵/شماره ۹۴ /بهار ۱۴۰۳/صفحه ۱۷-۳۸

نوع مقاله: پژوهشی

تأثیر اصلاح الگوی کشت بر بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری محصولات زراعی در استان فارس (بررسی موردی: دشت قادرآباد–مادرسلیمان)

امیر اسلامی[1*]، عبدالرسول شیروانیان[2] و غلامرضا زارعیان[3]

[1*]استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران
[2] استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران
[3] استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، شیراز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۶ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۵/۰۲

چکیده

افت شدید سطح آب سفره‌های آب زیرزمینی دشت‌ها، نشان از نبود رویکرد مناسب برای ایجاد هم‌افزایی بین تمامی ذی‌نفعان حوزهٔ آب در مدیریت منابع آب است. انکارناپذیر بودن محدودیت منابع آب، موجب شده اتخاذ مدیریت یکپارچهٔ منابع آب به‌عنوان یک الزام مورد توجه قرار گیرد. در این خصوص، باید در هر دشت کشاورزی تطابق برداشت از منابع آب زیرزمینی با آب قابل‌برنامه‌ریزی وجود داشته باشد تا از شدت بحران کاسته شود و به‌مرورزمان به تعادل‌بخشی دشت کمک شود. ازاین‌رو، اجتناب از توسعهٔ افقی در بخش کشاورزی و پرداختن به افزایش بهره‌وری آب باید در دستور کار تصمیم‌گیران، به ویژه در مبحث برنامه‌ریزی الگوی کشت، قرار گیرد. این پژوهش با هدف نقش اصلاح الگوی کشت در ارتقای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در دشت قادرآباد–مادرسلیمان استان فارس به انجام رسیده است. داده‌های مورد نیاز محصولات شامل تقویم زراعی، قیمت محصول در زمان برداشت، هزینهٔ تولید، عملکرد، میزان آب قابل برنامه‌ریزی ماهانهٔ دشت و میزان آب آبیاری ماهانهٔ هر یک از محصولات مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ بوده است که به صورت اسنادی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان فارس جمع‌آوری گردید. داده‌ها به روش برنامه‌ریزی ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار GAMS تجزیه‌وتحلیل شدند. نتایج تحقیق نشان داد، اصلاح الگوی کشت در این دشت سبب صرفه‌جویی سالانه ۸/٦٤ میلیون مترمکعب آب (معادل ۲٦ درصد کاهش نسبت به مصرف الگوی کشت فعلی دشت)، افزایش ۱۱ درصد در بهره‌وری فیزیکی و افزایش ۳۹/٤ درصد در بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به الگوی فعلی کشت شده است.

واژه‌های کلیدی: آب قابل برنامه‌ریزی، تغییر اقلیم، کمبود آب، معیشت بهره‌بردار

مقدمه

کشاورزی بخش کلیدی در توسعهٔ اقتصادی و اجتماعی در کشورهای در حال توسعه است. این بخش نقش حیاتی در تأمین امنیت غذایی، تنوع اقتصادی، کاهش فقر و ایجاد رفاه اجتماعی دارد. در حال حاضر، ایران و به ویژه استان فارس با قرار گرفتن در اقلیم خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت‌های اساسی در منابع پایه ازجمله آب و خاک مواجه است و با افزایش جمعیت و تغییر سلیقه‌ها و ذائقه‌ها، روزبه‌روز بر تقاضای مواد غذایی بخش کشاورزی، هم از بعد کمّی و هم از بعد کیفی، افزوده می‌شود. این موضوع اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش فشار بر منابع پایه (آب‌وخاک) از یک‌سو و از سوی دیگر، تأمین امنیت غذایی را به یک مسئولیت سیاسی، اقتصادی و اجتماعی برای تصمیم

نگارنده مسئول : **Email**: amireslami50@gmail.com **https://doi.org**/10.22092/IDSER.2024.366325.1583

گیرندگان و متولیان بدل کرده است. در این راستا، برنامه‌ریزی الگوی کشت شیوه‌ای است که با تجمیع تمام هدف‌های به‌ظاهر متضاد، امکان نیل به هدف‌های یادشده را ممکن می‌سازد. در بُعد عملیاتی، در هر الگوی کشت مواردی مانند تعیین نظام کشاورزی مبتنی بر مزیت اقتصادی پایدار با تکیه‌بر سیاست‌های کلان کشور، دانش بومی کشاورزان و بهره‌گیری بهینه از پتانسیل‌های منطقه‌ای با رعایت اصول اکو فیزیولوژیک تولید محصولات کشاورزی در راستای حفظ محیط‌زیست مورد توجه قرار می‌گیرد.

در حال حاضر آنچه برای اکثر قریب به‌اتفاق دشت‌های کشور و به ویژه دشت‌های استان فارس رخداده است افت شدید سطح آب سفره‌های آب زیرزمینی است. بر اساس آخرین آمار موجود، سطح آب زیرزمینی دشت‌های استان فارس در فاصلهٔ زمانی شهریورماه ۱۳۸۳ تا شهریورماه ۱۳۹۷ به میزان ۱۰/۸۶ متر افت داشته است (Report on water resources & consumption, 2017). این موضوع از نبود رویکرد مناسب برای ایجاد هم‌افزایی بین کلیه ذی‌مدخلان و ذی‌نفعان حوزهٔ آب به ویژه وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی در مدیریت منابع آب نشان دارد. از سوی دیگر، انکارناپذیر بودن محدودیت منابع آب موجب شده اتخاذ مدیریت یکپارچه منابع آب به‌عنوان یک الزام و اجبار مورد توجه قرار گیرد. در این خصوص، آنچه باید به آن اذعان کرد دوری‌جستن از توسعهٔ افقی در بخش کشاورزی و پرداختن به افزایش بهره‌وری آب و به عبارت دیگر، توسعه عمودی است. باید توجه داشت که شاخص بهره‌وری آب از دو بُعد فنی و اقتصادی می‌تواند در دستور کار قرار گیرد. بهره‌وری فیزیکی آب، میزان تولید کشاورزی به ازای هر واحد آب مصرفی در تولید محصولات کشاورزی است. بهره‌وری اقتصادی آب، ارزش تولید حاصل از هر واحد آب مصرفی است (Askari Bezaye *et al.*, 2019). در ادامه به برخی از سوابق تحقیقات در زمینهٔ بهره‌وری آب، میزان آب آبیاری و اصلاحات الگوی کشت پرداخته می‌شود.

نتایج تحقیقات نشان داد که عوامل مختلفی شامل آبیاری و زهکشی مناسب، مدیریت حاصلخیزی خاک، کاهش عملیات خاک‌ورزی، حفظ رطوبت خاک و استفاده از ارقام مقاوم به خشکی و بیماری در بهبود بهره‌وری آب کشاورزی تأثیرگذار هستند (Fischer *et al.*, 2009; Geerts & Raes, 2009; De Vries *et al.*, 2010; Arora *et al.*, 2011; Balwinder *et al.*, 2011).

به‌عنوان یک اصل مهم در بهره‌وری آب کشاورزی، زمانی تنش آب به‌تنهایی به بهبود بهره‌وری آب کمک خواهد کرد که دیگر تنش‌ها (کمبود مواد مغذی، علف‌های هرز و بیماری) نیز کاهش داده شده یا حذف شده باشند (Bouman, 2007). برای مثال، مدیریت آب باید توأم با مدیریت تغذیه، مدیریت خاک و مدیریت آفات باشد (Bindraban *et al.*, 2000; Rockström & Barron, 2007).

رضوی و همکاران (Razavi *et al.*, 2021) در خصوص ارزیابی بازدهی کاربرد آب در مزارع گندم، چغندرقند، لوبیا و یونجه با روش آبیاری سطحی، در شرایط کشاورزان استان آذربایجان غربی تحقیق کردند. بر اساس نوع مدیریت، قطعات زراعی انتخاب و سپس اندازه‌گیری بده ورودی، رواناب خروجی، رطوبت قبل و بعد از آبیاری، عمق توسعهٔ ریشه و دیگر عوامل لازم برای محاسبه بازدهی کاربرد آب اجرا گردید. نتایج تحقیق نشان داد که متوسط بازدهی کاربرد آب آبیاری در اکثر مزارع تحت مطالعه نسبت به میانگین ارقام گزارش شده کشور بیشتر و مقادیر آن بسته به مدیریت کشاورز، روش آبیاری و نوع محصول متغیر است. حداقل و حداکثر بازدهی کاربرد آب در مزارع تحت مطالعه به ترتیب ۳۶ و ۹۵ درصد به دست آمد. عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2014) حجم آب مصرفی به روش بیلان آب را برآورد کردند که بر اساس این ارقام و آمار مربوط به تولید محصولات زراعی و باغی کشور در سال‌های مختلف، مقادیر بهره‌وری آب از ۰/۹۴ تا ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر و متوسط آن ۱/۰۷ کیلوگرم بر مترمکعب است.

با مقایسهٔ نتایج مشخص شد که شاخص بهره‌وری آب در کشور طی ۱۰ سال گذشته منتهی به سال ۱۳۹۴ روند صعودی داشته است که این روند به معنای اثربخشی فعالیت‌ها در خصوص افزایش تولید و کاهش حجم آب مصرفی در کشور است. شاهرخ‌نیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022) در یک سال زراعی با اندازه‌گیری آب آبیاری و محاسبه بهره‌وری آب در ۳۰ مزرعه گندم در سه منطقه آب و هوایی مختلف استان فارس نشان دادند که متوسط مقدار آب آبیاری کاربردی در مزارع گندم معادل ۵۳۴۰ مترمکعب در هکتار و میزان بهره‌وری آب آبیاری ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب است. تفاوت بهره‌وری آب آبیاری در منطقهٔ گرم با منطقهٔ سرد و منطقهٔ گرم با منطقهٔ معتدل در سطح پنج درصد معنی‌دار بوده است. شاهرخ‌نیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022) در تحقیق دیگری بهره‌وری آب و میزان آب داده شده در ۷۰ باغ لیموترش مناطق مختلف استان فارس را در سال زراعی ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۰ اندازه‌گیری کردند. در بین باغ‌های انتخابی، میزان حجم آب آبیاری از حدود ۶۰۰۰ تا ۲۱۰۰۰ مترمکعب در هکتار در سال متفاوت بود. میانگین کل حجم آب آبیاری ۱۳۳۷۶ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. میزان بهره‌وری آب آبیاری در باغ‌های انتخابی بین ۰/۶۹ تا ۳/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب و به‌طور متوسط ۱/۵۲ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. نخجوانی مقدم (Nakhjavani Moghaddam, 2018) میزان آب مصرفی پنبه در مزارع تحت مدیریت کشاورزان را در استان‌های برتر تولیدکنندهٔ این محصول در سال زراعی ۱۳۹۷ اندازه‌گیری کرد. در کل کشور ۱۲۱ مزرعهٔ پنبه در استان‌های خراسان رضوی، فارس، گلستان، خراسان شمالی، اردبیل، سمنان و البرز انتخاب شد. میانگین آب مصرفی پنبه در کشور در دو روش آبیاری سطحی و قطره‌ای به ترتیب برابر ۹۰۹۷ و ۷۲۴۵ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. میانگین عملکرد پنبه، حجم آب مصرفی و بهره‌وری آب در سطح کشور به ترتیب ۳۳۸۴ کیلوگرم در هکتار، ۸۹۸۰ مترمکعب در هکتار و ۰/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. براساس شاخص NBPD[1] (سود خالص به ازای واحد حجم آب مصرفی) استان‌های فارس، خراسان شمالی و اردبیل به ترتیب بیشترین و دو استان سمنان و البرز به ترتیب کمترین میزان بهره‌وری اقتصادی آب در تولید پنبه را دارا بودند. سپهری صادقیان و همکاران (Sepehri Sadeghian *et al.*, 2022) در پروژه‌ای تحقیقاتی حجم آب کاربردی و عملکرد آلو در ۱۷۷ باغ منتخب در هشت استان قطب تولید این محصول در کشور (استان‌های آذربایجان غربی، فارس، تهران، خراسان رضوی، همدان، البرز، قزوین و گلستان) به‌طورمستقیم طی یک سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اندازه‌گیری کردند و نشان دادند تفاوت عملکرد، حجم آب آبیاری و آب کاربردی و شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های یادشده بسیار معنی‌دار است. حجم آب آبیاری آلو در مناطق مورد مطالعه از ۴۰۶۴ تا ۱۰۶۱۹ مترمکعب در هکتار متغیر بود و میانگین وزنی آن ۷۸۲۳ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. در خصوص شاخص عملکرد آلو در استان‌های مورد مطالعه، میانگین عملکرد از ۱۱۵۳۹ تا ۱۹۲۱۳ کیلوگرم بر هکتار متغیر و میانگین وزنی آن ۱۵۰۲۲ کیلوگرم بر هکتار بود. میانگین وزنی بهره‌وری آب آبیاری در تمامی مزارع منتخب معادل ۲/۲۷ کیلوگرم بر مترمکعب تعیین شد. محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2014) به بهینه‌سازی الگوی کشت با تاکید بر منافع اجتماعی در بهره‌برداری منطقی آب در تولید محصولات زراعی در شهرستان مرودشت پرداخته‌اند. به‌منظور تعیین الگوهای بهینهٔ کشت در سطح دشت از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است. بخشی از داده‌های مورد نیاز در این مطالعه از جمله عملکرد تولید هریک از محصولات زراعی، قیمت و هزینهٔ تولید محصولات زراعی و میزان نهاده‌های مورد نیاز برای تولید محصولات مختلف زراعی از یک هکتار زمین با استفاده از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای و از طریق مصاحبهٔ

[1] Net Benefit Per Depth

حضوری و تکمیل پرسشنامه با ۹۷ نفر از کشاورزان در شهرستان مرودشت جمع‌آوری شده است. نتایج حاصل از تعیین الگوی کشت بهینه با هدف حداکثر کردن منافع اجتماعی نشان می‌دهد که مجموع سطح زیرکشت در این حالت نسبت به کل سطح زیرکشت فعلی در سطح شهرستان مرودشت تغییر نکرده است؛ اما در این الگو محصولاتی مانند گندم آبی، گندم دیم، ذرت دانه‌ای، هندوانه، خیار، پیاز، عدس آبی و لوبیا از برنامه حذف شده و جو دیم، خربزه و پیاز (به ترتیب ۳۳۱۹۳، ۱۴۷۷ و ۴۳۱۲۶ هکتار) وارد الگوی کشت گردیده‌اند. از طرفی، سطح زیرکشت گوجه‌فرنگی به میزان ۹۳ هکتار افزایش یافته است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که در الگوی حداکثر کردن منافع اجتماعی، میزان منافع اجتماعی و بازده برنامه‌ای نسبت به الگوی فعلی به ترتیب به میزان ۱۶۲۷۱۷۰ و ۱۴۸۲۹۱۵ میلیون ریال افزایش یافته است. سبزواری و همکاران (Sabzevari *et al.*, 2019) به بررسی الگوی کشت محصولات زراعی به‌عنوان راهکاری برای کاهش مخاطرات امنیت غذایی کشور پرداختند. در این مطالعه انتخاب الگوی کشت از اصلی‌ترین عوامل افزایش بهره‌وری تولید در کشاورزی محسوب شده است و تخصیص بهینهٔ اراضی و تعیین محصولات مناسب کشت هر منطقه برای جلوگیری از مصرف بی‌رویهٔ نهاده‌ها و کاهش مخاطرات ناشی از کمبود منابع تأمین غذا، پس از بررسی علمی عوامل مؤثر بر الگوی کشت و با در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف قابل دستیابی ارزیابی شده است. آن پژوهش به تعیین عوامل مؤثر بر الگوی کشت و اولویت‌بندی آن‌ها در پهنهٔ کشاورزی سیلاخور واقع در دورود لرستان پرداخته بود. روش تحقیق آن پژوهش کتابخانه‌ای، مصاحبه با خبرگان و پیمایشی (گردآوری پرسشنامه از کشاورزان) بود. برای اولویت بندی کشت محصولات کشاورزی از روش تاپسیس مبتنی بر آنتروپی شانون استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد چهار معیار دسترسی به سرمایهٔ نقدی مورد نیاز کشت و کار (۰/۲۳۶)، نیاز آبی محصول (۰/۲۳۳)، سود محصول (۰/۰۹۸) و بیشتر از یک هکتار بودن واحد بهره برداری (۰/۰۳۹) بیشترین اولویت را در انتخاب الگوی کشت داشته‌اند. نتایج تحقیق مبتنی بر روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ تاپسیس نشان داد که کشت‌های چغندرقند پاییزه (۰/۵۹۸)، گندم (۰/۵۸۹)، جو (۰/۵۵۸)، کلزا (۰/۵۵۶)، نخود پاییزه (۰/۵۱۵)، برنج (۰/۴۹۹)، کینوا (۰/۴۷۱) و زعفران (۰/۳۹۰) به ترتیب، در اولویت الگوی کشت منطقه قرار دارند. رضوی اصل و همکاران (Rezaei Asl *et al.*, 2022) الگوی کشت در منطقه سیستان را با تأکید بر توزیع بهینهٔ آب، دانش کشاورزی و تولید پایدار ارزیابی کردند. در این مطالعه، با استفاده از برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه با هدف حداکثرسازی سودخالص و حداقل‌سازی میزان آب آبیاری، مصرف کود و سموم شیمیایی الگوی کشت بهینه محصولات زراعی منطقهٔ سیستان پیشنهاد شد. داده‌های مورد نیاز پژوهش از طریق سالنامه‌های آماری کشاورزی و مصاحبه با کارشناسان هر شهرستان و تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه گردآوری شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد الگوی کشت موجود در منطقهٔ سیستان بهینه نیست و با ادامه این الگو مشکلاتی مانند کمبود آب و آلودگی زیست‌محیطی به دلیل مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی در منطقه‌ایجاد خواهد شد. با در نظر گرفتن هدف‌هایی مانند بیشینه‌سازی سود ناخالص و کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری، کود و سموم شیمیایی و ریسک، سطح زیرکشت بعضی محصولات منتخب به دلایلی مانند درآمد محصول و میزان استفاده از نهاده‌ها با کاهش و برخی با افزایش مواجه شد. بر اساس یافته‌های این تحقیق پیشنهاد شد سهم آب محصولاتی که به ازای هر مترمکعب آب مصرف شده درآمد بیشتری به دست آورده بودند افزایش یابد. با توجه به یافته‌های این مطالعه توجه به اهداف اثرهای زیست محیطی از جمله کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی در بهینه‌سازی الگوی کشت امری ضروری است. با استفاده از مدل پیشنهادی می‌توان علاوه بر انتخاب الگوی مناسب و استفادهٔ بهینه از منابع آب و زمین، در راستای افزایش سود و کاهش اثرهای زیست محیطی گام مؤثری برداشت. درزی

نفتچالی و همکاران (Darzi-Naftchali *et al.*, 2023) در پژوهشی در استان مازندران یک مدل کشت پایدار (CP[1]) با توسعه تابع چند هدفه را ارائه دادند که بتواند حداکثر سود را تأمین کند و در عین حال مشکلات زیست محیطی را به حداقل برساند و همزمان سبب بالا بردن شاخص‌های اجتماعی گردد. برای این کار از فرایند ارزیابی چرخهٔ عمر (LCA[2]) و یک شاخص امنیت اقتصادی (ESI[3]) به ترتیب، برای بررسی اثرهای زیست محیطی و عملکرد اقتصادی CP استفاده شد. با استفاده از شاخص‌هایی از جمله همبستگی اجتماعی، امنیت اجتماعی، مشارکت و کیفیت زندگی، پیامدهای اجتماعی طرح نیز ارزیابی گردید. برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز، از پرسشنامه کاملی که در اختیار کشاورزان و کارشناسان قرار داده شده بود و نیز از آمارنامه-های رسمی دولتی استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان داد که کشاورزان کمترین توجه را به کشت حبوبات داشتند. پنج محصول برتر که مورد توجه کشاورزان قرار داشت به ترتیب اولویت شامل هندوانه، خیار، شبدر، برنج و لوبیا بودند. بر اساس اهمیت پارامترهای محیطی، محصولاتی مانند خربزه، سیر، خیار، گوجه‌فرنگی و ذرت به‌عنوان بهترین محصولات زراعی شناخته شدند در حالی‌که تنباکو کمترین میزان تناسب را داشت. کمترین و بیشترین ESI به ترتیب مربوط به پنبه (۰/۰۳۴) و خیار (۰/۲۰۸) بود. سود حاصل از کشت سیب‌زمینی، برنج، خیار، سیر، لوبیا و گوجه‌فرنگی بیش از ۱۰۰۰ دلار در هکتار بود در حالی که سویا، گندم، ذرت، جو، شبدر و پنبه کمتر از ۵۰۰ دلار در هکتار سود داشتند. دستیابی به کشاورزی پایدار در منطقه مستلزم کاهش ۱۵/۲۰ درصد در سطح زیر کشت بود که منجر به کاهش ۱۳/۳۶ درصد سود ناخالص و کاهش ۱۴/۵۳ و ۱۴/۷۰ درصد مصرف آب و کود شیمیایی می‌شد. مدل ایجاد شده در این مطالعه برای کشت پایدار CP می‌تواند سبب کاهش تبعیضات اجتماعی شود و درعین‌حال هم‌افزایی بین سود اقتصادی کشاورزان و منافع زیست‌محیطی را ایجاد کند.

در یک جمع‌بندی از ادبیات موضوع، نتایج تحقیقات گذشته دلالت بر اهمیت و تأثیر عوامل مختلف در بهینه‌سازی الگوی کشت دارد، هرچند به موضوع تأثیر اصلاح الگوی کشت در بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب کمتر پرداخته شده است. ازاین‌رو، در تحقیق حاضر به این مورد پرداخته خواهد شد.

دشت قادرآباد-مادرسلیمان یکی از دشت‌های بحرانی استان فارس از نظر منابع آب است و جامعیت اطلاعات مورد نیاز را برای تدوین الگوی کشت نیز دارد. بر این اساس، در تحقیق حاضر، این دشت برای مطالعه انتخاب گردید. هدف اصلی این پژوهش مقایسهٔ بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری محصولات زراعی در الگوی کشت فعلی و الگوی کشت بهینهٔ این دشت است.

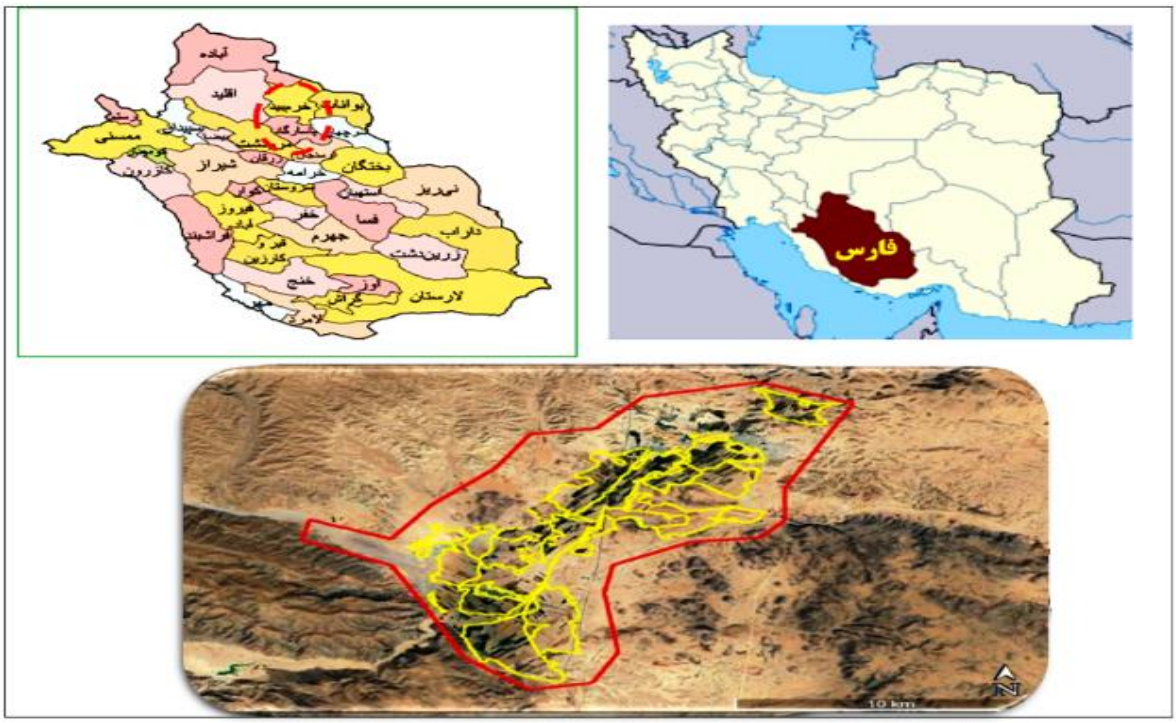
مواد و روش‌ها

خصوصیات دشت مورد مطالعه

دشت قادرآباد-مادرسلیمان با ارتفاع ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در محدوده جغرافیایی شهرستان‌های خرم‌بید و پاسارگاد در استان فارس قرار دارد (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی دشت بین ۳۰ درجه و ۰۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۰۶ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است. بر اساس داده‌های موجود، مساحت‌های دشت مورد مطالعه و حوزه آبریز به ترتیب ۱۵۶/۵ و ۲۸۷۰/۶ کیلومتر مربع محاسبه شده است. بررسی آمار طولانی مدت ایستگاه سینوپتیک صفاشهر (خرمبید) به‌عنوان ایستگاه مبنا نشان دهندهٔ آن است که میانگین طولانی مدت دمای سالانه و بارندگی سالانهٔ این ایستگاه به ترتیب ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد و ۲۰۵/۳ میلی‌متر است. میانگین رطوبت نسبی سالانه این دشت ۳۷/۲ درصد

[1] Cropping pattern
[2] Life Cycle Assessment
[3] Economic Security Index

گزارش شده است و دشت مذکور سالانه حدود ۲۲۰۰ میلی‌تر توانایی تبخیر دارد. بررسی اقلیم به روش دومارتن نشان می‌دهد دشت در اقلیم نیمه‌خشک سرد واقع شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مرز حوزه آبریز و محدودهٔ مطالعاتی دشت قادرآباد- مادر سلیمان واقع در استان فارس

Fig. 1- Geographical location of the border of the watershed and the study area of Qaderabad-Mader Solaman plain located in Fars province

روش تحقیق

روش پژوهش حاضر به بخش‌های مختلفی تقسیم شده است که در ادامه به تشریح روش تحقیق در هر قسمت پرداخته می‌شود:

تعیین منابع آب و مصارف آب کشاورزی دشت

مبنای تعیین میزان منابع آب دشت، محاسبات آب قابل برنامه‌ریزی است که پیش‌ازاین وزارت نیرو به تمامی استان‌ها از جمله استان فارس ابلاغ کرده است. برای تطابق میزان آب قابل برنامه‌ریزی (مترمکعب در سال) هر دشت با میزان مصرف کشاورزی دشت مورد مطالعه آمار چاه‌های مورد بهره‌برداری و ساعت کارکرد آن‌ها در ماه‌های مختلف سال جمع‌آوری گردید؛ بنابراین، میزان برداشت آب از چاه‌ها در هرماه و نسبت آن به آب قابل برنامه‌ریزی به‌دست آمد. بدین ترتیب و با داشتن این نسبت، میزان آب قابل برنامه‌ریزی دشت در هرماه به‌دست آمد.

در بخش مصارف آب کشاورزی برای تعیین آب آبیاری مورد نیاز در هرماه، ابتدا اطلاعات تقویم زراعی گیاهان زراعی و باغی دشت از مدیریت‌های زراعت و باغبانی سازمان جهاد کشاورزی اخذ و پس از آن در جلسات کارشناسی با حضور کارشناسان مراکز خدمات منطقه مورد مطالعه، راستی آزمایی و صحت سنجی گردید. سپس، با استفاده از نتایج طرح کلان تحقیقاتی "تعیین آب مصرفی محصولات زراعی و باغی کشور" و گزارش‌های مرتبط با محصولات کشاورزی استان فارس، میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) برای هر محصول تعیین شد. بدین ترتیب، برای هر محصول پارامترهایی مانند تعداد نوبت‌های آبیاری، عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، حجم آب در هر آبیاری (مترمکعب در هکتار)،

تقویم آبیاری (ماه‌هایی که محصول آبیاری می‌شود) و حجم ماهانه آبیاری (مترمکعب در هکتار) محاسبه گردید. بر این اساس، میزان حجم آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) تمامی محصولات در هرماه برای وضعیت موجود هر دشت به‌دست آمد. توجه به این نکته ضروری است که این مقدار نباید از میزان آب قابل برنامه‌ریزی همان ماه بیشتر شود؛ بنابراین، این شاخص باید به‌عنوان یک عامل محدود کننده در برنامه‌ریزی الگوی کشت دشت محسوب شود. بدین ترتیب، مبنای تعیین الگوی کشت بهینه در دشت مورد مطالعه، حد مجاز آب قابل برنامه‌ریزی است که برای رعایت این حد، نیاز به حذف یا کاهش سطح کشت برخی محصولات و همچنین انتخاب گیاهان کم‌آب‌بر، تغییر تاریخ کشت، رعایت اصول بهزراعی و به‌باغی است. بدین‌ترتیب، با توجه به مجموعه موارد یادشده، حجم آب آبیاری (میلیون مترمکعب) مورد استفاده برای وضع موجود کشت و الگوی بهینه دشت، تعیین و میزان صرفه‌جوئی آب به‌دست می‌آید.

بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری

ساده‌ترین روشی که در مزارع کشاورزان برای برآورد بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری گیاه می‌توان به‌کار برد، اندازه‌گیری عملکرد و مقدار آب آبیاری در فصل زراعی است. با داشتن این مقادیر و با توجه به رابطهٔ ۱، بهره‌وری فیزیکی آب محاسبه می‌شود (Abbasi *et al.*, 2014).

$$WP_p = \frac{Y}{I} \qquad (۱)$$

که در آن، WP_p بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) و I عمق آب آبیاری (مترمکعب بر هکتار) است.

محاسبات اقتصادی و بازده برنامه‌ای دشت

یکی از اولویت‌های اساسی در تدوین الگوی کشت هر دشت، حداکثرسازی بازده برنامه‌ای است. این موضوع از جمله مباحث اقتصادی است که در پرداختن به آن سه شاخص هزینهٔ تولید، درآمد تولید و بازده خالص اقتصادی مورد توجه قرار می‌گیرد (Shariati *et al.*, 2021). در خصوص محصولاتی زراعی که فرآیند داشت آن‌ها بیش از یک سال است (مانند زعفران، یونجه، آنغوزه و ...) با استفاده از تکنیک‌های اقتصاد مهندسی، هزینه تولید آن محصولات به تعداد سال‌های عملکردی تقسیم شده و به صورت سالانه مورد استفاده قرار گرفت (Skonjad, 2019).

به منظور محاسبهٔ درآمد کل دشت، لازم است درآمدهای اصلی و فرعی هر یک از فعالیت‌های زراعی محاسبه و با یکدیگر جمع شود. با توجه به اینکه دورهٔ تولید برخی محصولات بیش از یک سال است، به پیروی از اسکونژاد (Skonjad, 2019) با استفاده از روش‌های اقتصاد مهندسی، درآمدها به دوره زمانی یکسان تبدیل گردید. در راستای تبدیل درآمدها به ارزش زمانی یکسان، روش متداول استفاده از روش تنزیل ارزش آینده به ارزش کنونی است. بدین منظور از رابطهٔ ۲ استفاده شد (Skonjad, 2019; Zarea, *et al.*, 2014). که در آن، TR درآمد کل دشت (ریال)، MY_{it} میزان تولید محصول اصلی به‌دست آمده از فعالیت زراعی i ام در سال t (کیلوگرم)، P_{MYi} قیمت هر کیلوگرم از محصول اصلی حاصل از فعالیت زراعی i ام در سال t (ریال)، SY_{it} میزان محصول فرعی در هر هکتار از فعالیت زراعی i ام در سال t (کیلوگرم)، P_{SYit} قیمت هر کیلوگرم از محصول فرعی به‌دست آمده از فعالیت زراعی i ام در سال t (ریال) و $\left[\frac{1}{(1+r)^t}\right]$ فاکتور ارزش فعلی یک‌بار پرداخت، r نرخ بهره است.

به‌منظور محاسبهٔ هزینهٔ کل دشت، مقدار مصرف نهاده‌ها یا به‌کارگیری آن‌ها در هر یک از مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت هر یک از محصولات کشاورزی با توجه به ارزش هر واحد از این نهاده‌ها به‌دست آمد. با توجه به اینکه

$$\text{؟} = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{I}\frac{(MY_{it}\times P_{MYit})}{(1+r)^t} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{M}\frac{(SY_{it}\times P_{SYit})}{(1+r)^t} \qquad (۲)$$

دورهٔ بهره‌برداری در برخی از محصولات، بیش از یک سال است، در خصوص این دسته از محصولات کشاورزی با استفاده روش تنزیل ارزش آینده به ارزش کنونی، هزینه‌ها به دوره زمانی یکسان تبدیل شد. بدین ترتیب، برای محاسبهٔ هزینه کل دشت از رابطه ۳ استفاده شد (Skonjad, 2019; Zarea, *et al.*, 2014):

$$TC = \sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{M}\sum_{k=1}^{K}\frac{(X_{ikt} \times P_{Xikt})}{(1+r)^t} \qquad (۳)$$

که در آن، TC هزینهٔ کل دشت (ریال)، X_{ikt} میزان مصرف یا به‌کارگیری نهادهٔ k ام در فعالیت زراعی i ام در سال t (کیلوگرم)، P_{Xikt} قیمت هر واحد از نهادهٔ k ام مصرف یا به‌کارگیری شده در فعالیت زراعی i ام در سال t است (ریال)، دیگر متغیرها پیش‌ازاین تعریف شده‌اند.

با در اختیار داشتن درآمد کل و هزینهٔ کل هر یک از محصولات کشاورزی، بازده خالص برنامه‌ای دشت با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید:

$$NM = TR - TC \qquad (۴)$$

که در آن، NM بازده خالص برنامه‌ای دشت (ریال) است. دیگر متغیرها پیش‌ازاین تعریف شده‌اند.

بهره‌وری اقتصادی آب

بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری با اندازه‌گیری بازده خالص اقتصادی (سود) و مقدار آب آبیاری در فصل زراعی به‌دست می‌آید. با داشتن این مقادیر و با توجه به رابطهٔ ۵ بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری محاسبه شد (Abbasi *et al.*, 2014).

$$WP_e = \frac{NM}{I} \qquad (۵)$$

که در آن، WP_e بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری (ریال بر مترمکعب) است. دیگر متغیرها پیش‌ازاین تعریف شده‌اند.

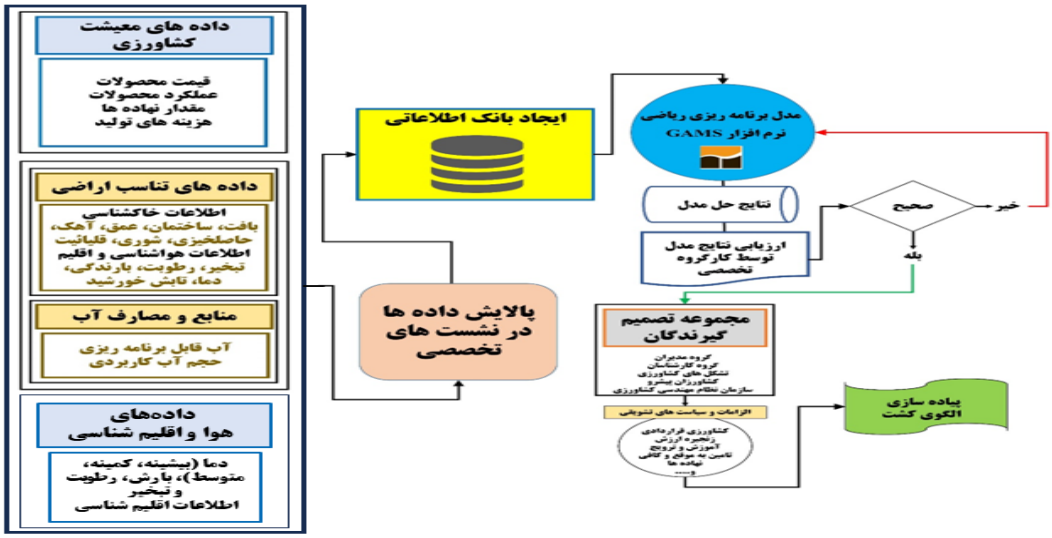
مدل برنامه‌ریزی ریاضی

رویکرد متداول در تدوین الگوی کشت، استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی است. بر این اساس، در این پژوهش به منظور بهینه‌سازی الگوی کشت دشت قادرآباد-مادرسلیمان استان فارس از نرم‌افزار گمز (GAMS[1]) استفاده شد. این مدل با بهره‌گیری از الگوی ریاضی چند هدفه ضمن پرداختن به محدودیت‌ها به دنبال حداکثرسازی سود، تأمین امنیت غذایی، مصرف آب کشاورزی بر مبنای آب برنامه‌ریزی شده و رعایت تناسب اراضی است. لازم است گفته شود فرآیند اجرای این تحقیق در قالب مدل مفهومی در شکل ۲ ارائه شده است.

بانک داده (ورودی نرم‌افزار)

بانک داده شامل تمامی داده‌های مرتبط با محصولات کشاورزی است که در حال حاضر در دشت مورد تحقیق کشت می‌شوند و نیز تمامی محصولاتی است که بر اساس شرایط اقلیمی دشت، امکان کاشت آن‌ها وجود دارد. این داده ها مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و دربرگیرنده قیمت محصولات در زمان برداشت، هزینهٔ تولید محصولات در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، عملکرد آنها (در قالب محصولات اصلی و فرعی)، میزان آب قابل برنامه‌ریزی ماهانهٔ دشت، میزان آب آبیاری ماهانه هر یک از محصولات و تقویم زراعی آن‌هاست. این داده‌ها، به پیروی از دیدگاه‌های شریعتی و همکاران (Shariati *et al.*, 2021)، به صورت اسنادی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان فارس به‌دست آمد. به‌منظور پالایش داده‌ها، پانل تخصصی مشتمل بر متخصصان زراعت، باغبانی، آب، خاک، هوا و اقلیم و اقتصاد کشاورزی، تشکیل و در ادامه این بانک در قالب یک فایل اکسل به‌عنوان بانک داده ارائه گردید.

[1] General Algebraic Modeling System



شکل ۲ - مدل مفهومی روند تحقیق

Fig. 2- Conceptual model of the research process

بانک داده (ورودی نرم‌افزار)

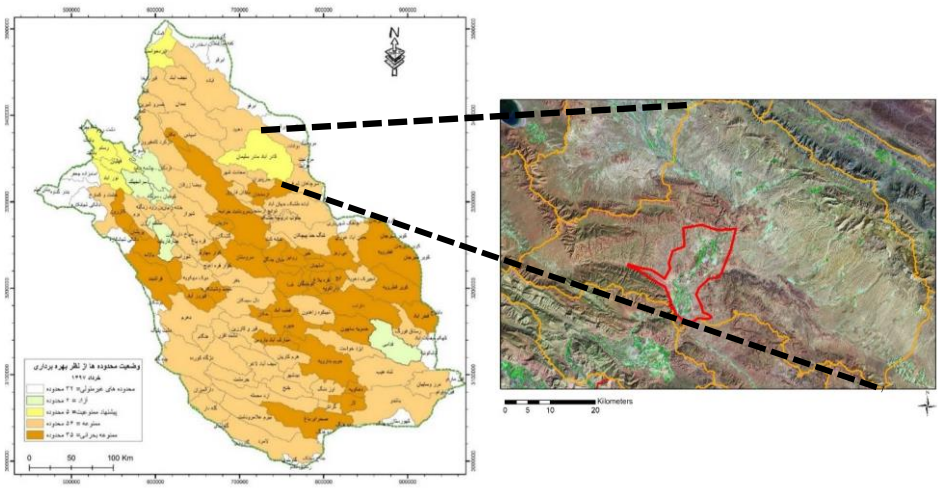
بانک داده شامل تمامی داده‌های مرتبط با محصولات کشاورزی است که در حال حاضر در دشت مورد تحقیق کشت می‌شوند و نیز تمامی محصولاتی است که بر اساس شرایط اقلیمی دشت، امکان کاشت آن‌ها وجود دارد. این داده‌ها مربوط به سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ و دربرگیرنده قیمت محصولات در زمان برداشت، هزینهٔ تولید محصولات در مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت، عملکرد آن‌ها (در قالب محصولات اصلی و فرعی)، میزان آب قابل برنامه‌ریزی ماهانهٔ دشت، میزان آب آبیاری ماهانه هر یک از محصولات و تقویم زراعی آن‌هاست. این داده‌ها، به پیروی از دیدگاه‌های شریعتی و همکاران (Shariati *et al.*, 2021)، به صورت اسنادی از سازمان جهاد کشاورزی و شرکت آب منطقه‌ای استان فارس به‌دست آمد. به منظور پالایش داده‌ها، پانل تخصصی مشتمل بر متخصصان زراعت، باغبانی، آب، خاک، هوا و اقلیم و اقتصاد کشاورزی، تشکیل و در ادامه این بانک در قالب یک فایل اکسل به‌عنوان بانک داده ارایه گردید.

نتایج و بحث

منابع آب و حجم آب قابل برنامه‌ریزی دشت

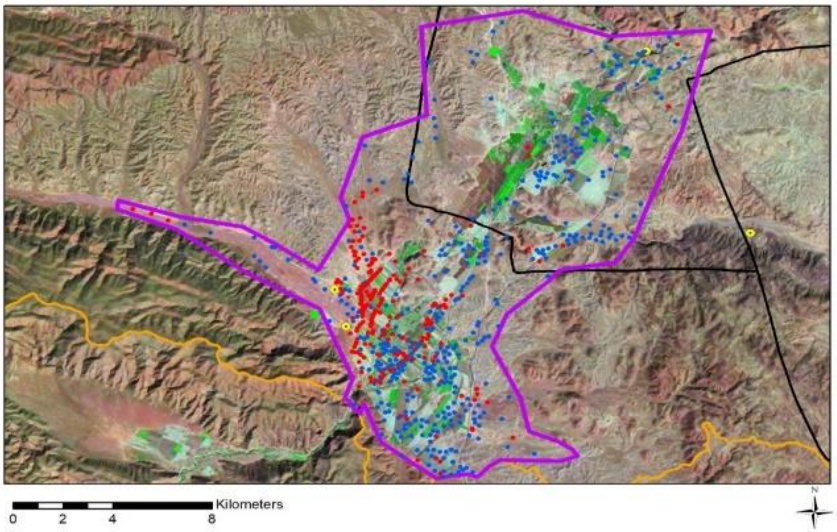
شکل ۳ وضعیت محدوده مطالعاتی را از نظر وضعیت توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و موقعیت دشت در این محدوده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد محدوده موردنظر در طبقهٔ پیشنهاد ممنوعیت قرار دارد. محدوده قرمز رنگ محدوده دشت (قادرآباد-مادرسلیمان) و خط نارنجی رنگ محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد. این دشت با مساحت حدود ۲۰ هزار هکتار، ۱۴ درصد از سطح محدوده مطالعاتی را شامل می‌گردد که ۹۹۲۵ هکتار از سطح آن در شهرستان پاسارگاد و ۱۰۱۸۴ هکتار آن در شهرستان خرمبید واقع شده است.

در محدودهٔ مطالعاتی قادرآباد-مادر-سلیمان ۶۸۷ حلقه چاه وجود دارد. از این تعداد چاه، ۴۳۱ حلقه مجاز و ۲۵۶ حلقه غیرمجاز است (شکل ۴). وضعیت چاه‌های این دشت و میزان آب قابل برنامه‌ریزی از منابع آب زیرزمینی در جدول (۱) نشان داده شده است. بر اساس آمار میان مدت ۱۰ ساله، میزان آب قابل برنامه‌ریزی بخش کشاورزی در این دشت ۲۴/۵ میلیون مترمکعب در سال است (Report on water resources & consumption, 2023).



شکل ۳- محدوده‌های مطالعاتی استان فارس از نظر وضعیت توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و موقعیت مکانی دشت قادرآباد-مادرسلیمان (مرز قرمز) در محدوده مطالعاتی (مرز نارنجی)

Fig. 3 - The study areas of Fars province in terms of the development status of the exploitation of underground water resources and the location of Qaderabad-Madarsolaman plain (red border) in the study area (orange border)



شکل ۴- پراکنش چاه‌ها در دشت قادراباد-مادرسلیمان استان فارس؛ آبی رنگ (مجاز) قرمز رنگ (غیر مجاز)

Fig. 4 - Distribution of wells in the Qaderabad-Madarsolaman plain of Fars province; Blue color (allowed) Red color (not allowed)

از ۲۵۶ حلقه چاه غیر مجاز، ۹ حلقه در شهرستان خرمبید و ۲۴۷ حلقه در شهرستان پاسارگاد است که پراکنش آن‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. مطابق با آخرین اطلاعات شرکت آب منطقه‌ای فارس با توجه به اینکه بیشتر چاه‌های غیر مجاز متروکه و فاقد آبدهی هستند، میزان برداشت سالانه از این چاه‌های غیرمجاز در حدود ۳/۷ میلیون مترمکعب برآورد شده است. در دشت قادرآباد-مادرسلیمان، منبع تأمین آب سطحی تنها شامل رودخانهٔ تنگ حنا و چشمهٔ بناب می‌گردد. در جدول ۲، متوسط میزان آب قابل تأمین سالانه از منابع آب سطحی در این دشت آورده شده است (Report on water resources & consumption, 2023).

جدول ۱- وضعیت تعداد چاه‌ها و حجم آب قابل برنامه‌ریزی (م.م.م) از منابع آب زیرزمینی در دشت قادرآباد - مادر سلیمان

Table 1- The status of the number of wells and programmable water volume (million cubic meters) from underground water sources in the Qaderabad-Madarsolaman

گروه مصرف Consumption group	تعداد حلقه چاه No. Wells	حجم کل (م.م.م)* Total volume (MCM)	درصد مصرف (٪) Consumption percentage (%)
کشاورزی	۳۷۵	۲۴/۵	۸۲
شرب	۱۰	۳/۱	۱۰/۳
صنعت	۴۶	۲/۳	۷/۷
مجموع	۴۳۱	۲۹/۹	۱۰۰

*: واحد اختصاری م.م.م معادل میلیون مترمکعب است.

جدول ۲- وضعیت میزان آب قابل تأمین سالانه از منابع آب سطحی در دشت قادرآباد – مادر سلیمان

Table 2 - Status of the amount of water that can be supplied annually from surface water sources in the Qaderabad-Madarsolaman

منبع تأمین آب Water Supply Source	حجم کل (م.م.م) Total Volume (MCM)	درصد مصرف در بخش کشاورزی (٪) The Percentage of Consumption in the Agricultural Sector (%)
تنگ حنا	۳	۲۵
چشمه بناب	۹	۷۵
مجموع	۱۲	۱۰۰

با توجه به جدول‌های ۱ و ۲، مجموع آب قابل برنامه‌ریزی زیرزمینی و سطحی در دشت مورد تحقیق معادل ۳۶/۵ م.م.م. است که از این میزان ۷ م.م.م. برای باغ‌ها به مصرف می‌رسد و ۲۹/۵ م.م.م. برای برنامه‌ریزی الگوی کشت در نظر گرفته شد.

شکل ۵ توزیع ماهانه حجم آب قابل برنامه‌ریزی به نسبت ۲۴/۵ (م.م.م.) در دشت قادرآباد-مادرسلیمان را نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات این شکل، بیشترین میزان حجم آب قابل برنامه‌ریزی در فصل تابستان به میزان ۲/۸ م.م.م. در هرماه و کمترین آن در ماه‌های دی و بهمن به مقدار ۰/۸۲ م.م.م. ماهانه تخصیص یافته است. توزیع در دیگر ماه‌های سال ترتیب مشخصی ندارد، بطوریکه بعد از خردادماه (۲/۷۴ م.م.م.) مهرماه (۲/۶۲ م.م.م.) و سپس اردیبهشت‌ماه (۲/۴۵ م.م.م.) قرار گرفته است.

تقویم زراعی و میزان آب آبیاری محصولات زراعی

در جدول ۳، تقویم زراعی و مساحت زیر کشت محصولات زراعی در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ آورده شده است. لازم است یادآوری شود مساحت باغ‌های دشت که در منطقه قادرآباد واقع شده‌اند، ثابت در نظر گرفته شد. ازاین‌رو منابع آب سطحی نیز که در منطقهٔ قادرآباد وجود دارند، برای آبیاری باغ‌های موجود استفاده خواهند شد و در برنامه‌ریزی الگوی کشت وارد نمی‌شوند.

در شکل ۶ میزان آب آبیاری محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت دشت قادرآباد-مادر سلیمان آورده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، بیشترین میزان آب آبیاری (مترمکعب در هکتار) به ترتیب مربوط به چغندرقند بهاره، ۱۳۰۰۰؛ پیاز، ۱۱۷۰۰؛ گوجه‌فرنگی، ۱۰۰۰۰؛ یونجه، ۱۰۰۰۰؛ سیب‌زمینی، ۹۷۰۰؛ خیار سبز، ۸۰۰۰؛ لوبیا، ۷۵۰۰؛ ذرت سیلوئی، ۷۴۰۰؛ نخود، ۶۵۰۰؛ گندم و کلزا، ۵۵۰۰؛ و جو، ۴۵۰۰ مترمکعب در هکتار است.

حجم آب آبیاری و سطح زیر کشت در وضعیت موجود

با توجه به مقادیر سطح زیر کشت (جدول ۳) و میزان آب آبیاری (شکل ۶) محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت مقادیر حجم آب آبیاری (م.م.م.) محاسبه شد (شکل ۷). با مشاهدهٔ این شکل مشخص است که جو و گندم (محصولات استراتژیک) بیشترین سطح زیر کشت و درنتیجه، بیشترین حجم آب را به خود اختصاص داده‌اند. این در حالی است که میزان آب آبیاری جو و گندم به ترتیب ۳۵ و ۴۲ درصد آب آبیاری چغندرقند است (شکل ۶)؛ بنابراین، در انتخاب الگوی بهینه باید به این نکته توجه داشت که شاخص میزان آب آبیاری محصول (مترمکعب در هکتار) به‌تنهایی نمی‌تواند در برنامه‌ریزی الگوی کشت لحاظ گردد. در شکل ۷ دیده می‌شود بیشترین حجم آب مربوط به محصولاتی مانند گندم و جو است اما به دلیل سیاست‌های کلان و استراتژیک بودن این محصولات حفظ آن‌ها در الگوی پیشنهادی، جزئی از اهداف اصلاح و بهینه‌سازی الگوی کشت است.

حجم کل آب آبیاری مورد استفاده از منابع آب زیرزمینی برای ۱۲ محصول در وضعیت موجود دشت بر اساس داده‌های شکل ۷ معادل ۳۳/۱۴ (م.م.م.) به‌دست آمد. بدین ترتیب، در الگوی فعلی کشت، ۲۶ درصد آب بیشتری نسبت به آب قابل برنامه‌ریزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر اساس جدول ۳، مجموع سطح زیر کشت ۱۲ محصول زراعی در الگوی فعلی دشت معادل ۵۳۰۳ هکتار به‌دست آمده است. در این الگو بیشترین و کمترین سطح کشت به ترتیب مربوط به جو، ۲۳۷۲ هکتار و سیب‌زمینی، ۲ هکتار است.

الگوی پیشنهادی کشت بر اساس مدل GAMS

در شرایط فعلی ۸/۶۴ میلیون مترمکعب آب بیشتر از آب قابل برنامه‌ریزی استفاده می‌شود، ازاین‌رو برای اصلاح الگو، سناریوی اصلاح و تعدیل سطح زیرکشت در مدل اجرایی شد. از سوی دیگر، برای جبران کاهش معیشت کشاورزان دشت، با استفاده از دیدگاه‌های کارشناسی اعضای پانل تخصصی، شش محصول جدید به الگوی فعلی اضافه و سپس مدل اجرا گردید. نتایج به‌دست آمده از سطوح زیرکشت، هزینهٔ تولید، درآمد و بازده اقتصادی الگوی پیشنهادی بر اساس خروجی مدل در جدول ۴ ارائه شده است. بر اساس نتایج این جدول، سطح زیرکشت در الگوی پیشنهادی معادل ۳۸۶۱ هکتار به‌دست آمده است. بازده خالص اقتصادی دشت تیز در الگوی پیشنهادی معادل ۲۰۳۵/۶۰ میلیون ریال است. این شاخص برای الگوی فعلی معادل ۱۹۷۵/۳۷ میلیون ریال است.

نکتهٔ قابل توجه این است که در محصول یونجه بازده خالص اقتصادی معادل ۱۳۱/۶۷- میلیون ریال در هکتار محاسبه شده که نشان‌دهندهٔ بالاتر بوده هزینهٔ تولید نسبت به درآمد برای کشاورزان است.

بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب آبیاری

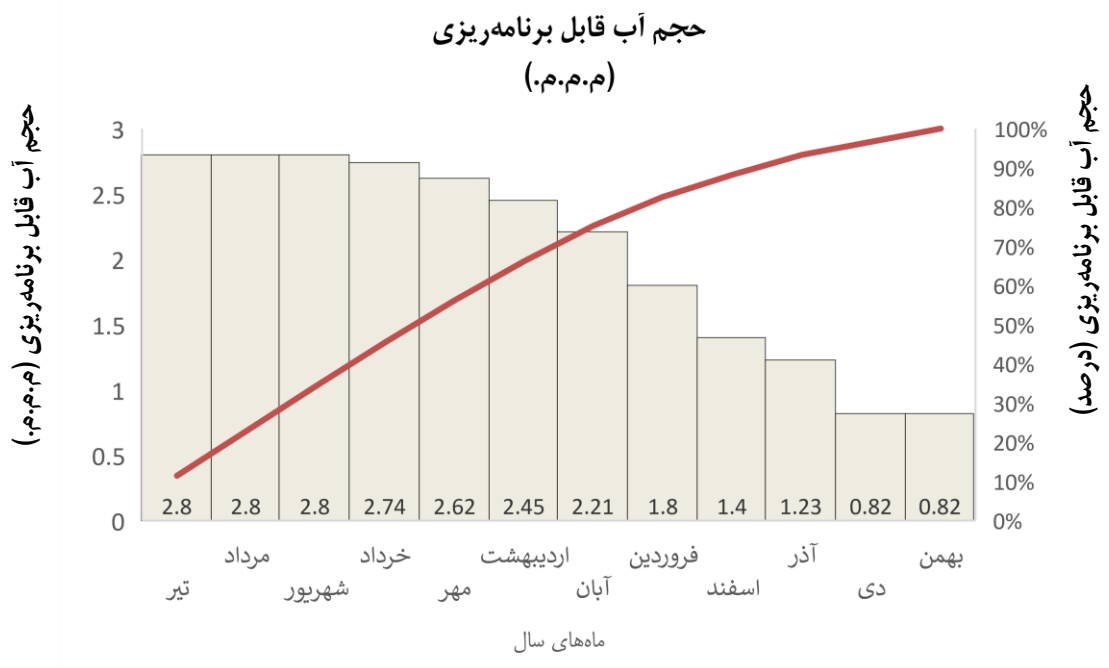
با توجه به داده‌های شکل ۶ و جدول ۴، شاخص بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و شاخص اقتصادی آب (ریال بر مترمکعب) محاسبه و نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بالاترین میزان شاخص بهره‌وری فیزیکی آب آبیاری برای سه محصول ذرت سیلویی، گوجه‌فرنگی و چغندرقند به ترتیب ۷/۴۳، ۵/۵۰ و ۵/۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین آن در محصولات آویشن شیرازی، آنغوزه و زعفران به ترتیب ۰/۰۲۱، ۰/۱۵۰ و ۰/۰۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمده است. این در حالی است که شاخص بهره‌وری اقتصادی آب آبیاری در محصولات آنغوزه، زعفران و آویشن شیرازی به ترتیب ۱۱۲۱۸۷۵، ۶۹۵۶۲۷ و ۵۸۳۱۱۸ ریال بر مترمکعب بیشترین مقادیر را دارد. کمترین مقدار این شاخص در محصولات ذرت سیلویی، گوجه‌فرنگی و یونجه به ترتیب ۲۰۸۴۲، ۱۷۴۷۰ و ۱۳۱۶۷- به‌دست آمده است.

جدول ۳- تقویم زراعی و سطح زیرکشت محصولات زراعی الگوی کشت فعلی دشت قادرآباد-مادرسلیمان در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰

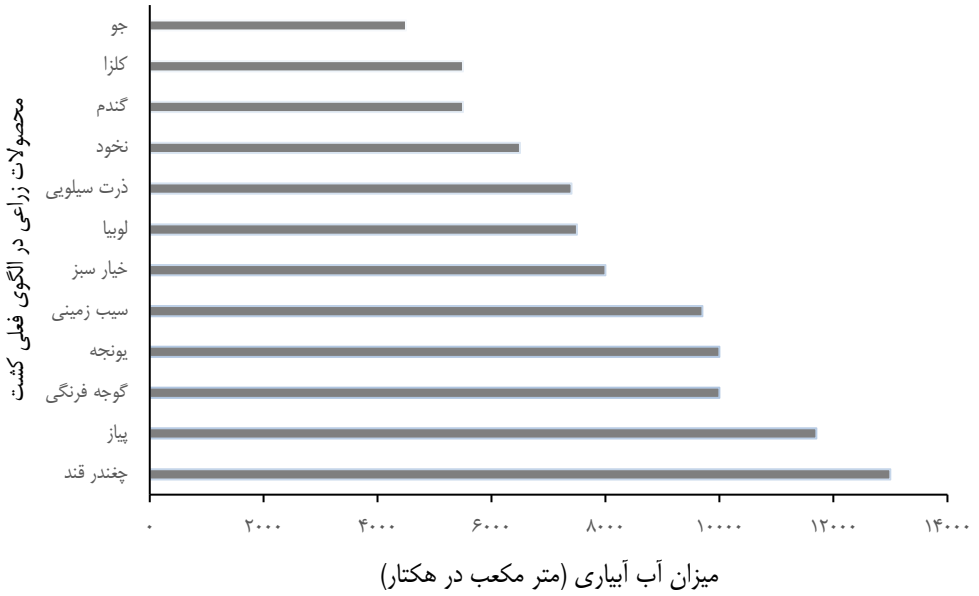
Table 3 - Agricultural calendar and cultivated area of crops of the current cultivation pattern of Qaderabad-Madarsolaman plain in 2021-2022

ردیف Row	نام محصول Product Name	تاریخ کاشت Planting Date	تاریخ برداشت Harvest Date	سطح کشت (هکتار) Cultivated Area (ha)
۱	گندم	۱۵ آبان	۴ تیر	۱۲۹۲
۲	جو	۵ آذر	۱۵ خرداد	۲۳۷۲
۳	کلزا	۲۰ شهریور	۲۵ خرداد	۸
۴	سیب‌زمینی	۲۵ اسفند	۲۵ تیر	۲
۵	گوجه‌فرنگی	۱۷ اردیبهشت	۵ شهریور	۱۶۱
۶	ذرت سیلویی	۵ خرداد	۱۰ شهریور	۵۸۲
۷	پیاز	۲۴ بهمن	۱۰ مرداد	۱۰
۸	خیار سبز	۱ خرداد	۲۶ مرداد	۱۵
۹	چغندرقند	۲۰ اسفند	۱۵ مهر	۳۶۰
۱۰	نخود	۱۴ اسفند	۱۸ تیر	۵۰
۱۱	لوبیا	۵ خرداد	۱۰ مهر	۱۴۸
۱۲	یونجه	شهریور	چندساله	۳۰۳



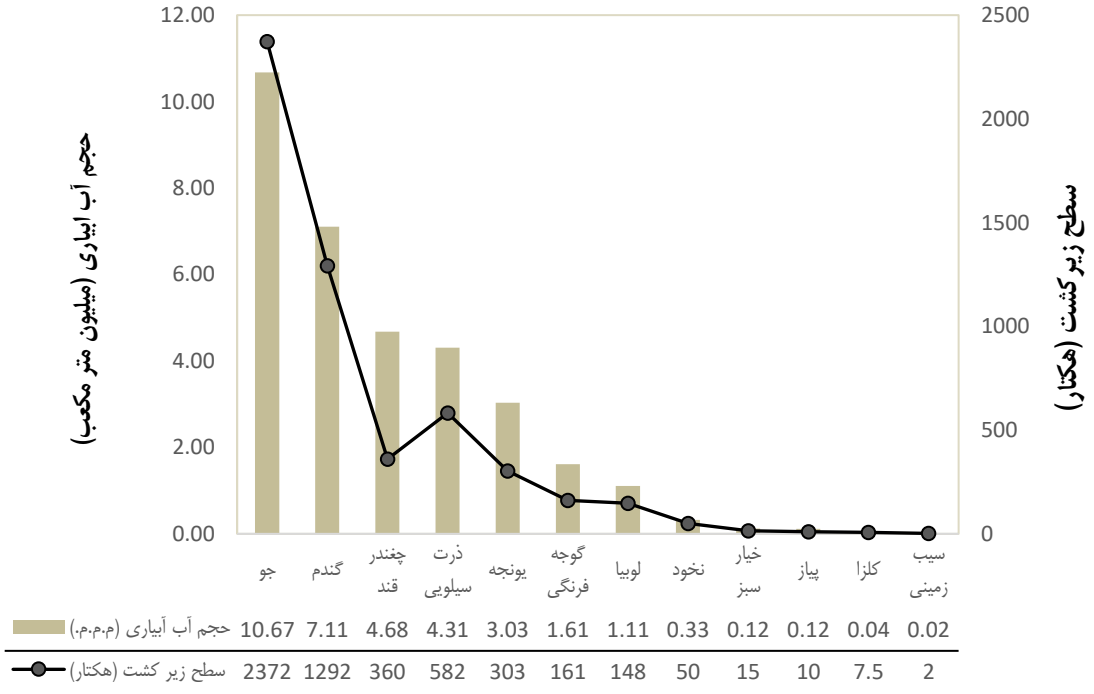
شکل ۵- توزیع ماهانهٔ حجم آب قابل برنامه‌ریزی (م.م.م.) در دشت قادرآباد-مادرسلیمان استان فارس

Fig. 5 - Monthly distribution of programmable water volume (million cubic meters) in Qaderabad-Madarsolaman plain, Fars province



شکل ٦- میزان آب آبیاری محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت دشت قادرآباد-مادرسلیمان در سال زراعی ۱٤۰۰-۱٤۰۱

Fig. 6 - The amount of irrigation water for different agricultural crops in the current cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain in the crop year 2021-2022



شکل ۷- حجم آب آبیاری و سطح زیر کشت محصولات مختلف زراعی در الگوی فعلی کشت دشت قادرآباد-مادرسلیمان در سال زراعی ۱٤۰۰-۱٤۰۱

Fig. 7-The volume of irrigation water and the cultivated area of different agricultural crops in the current cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain in 2021-2022

جدول ٤- تعداد محصولات، سطح زیر کشت، هزینهٔ تولید، عملکرد، قیمت، درآمد و بازده اقتصادی الگوی پیشنهادی کشت در دشت قادرآباد-مادرسلیمان در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰

Table 4 - The number of crops, cultivated area, production cost, yield, price, income and economic efficiency of the proposed cultivation pattern in the Qaderabad-Madarsolaman plain in 2021-2022

ردیف Row	نام محصولات Name of the Products	سطح کشت (هکتار) Cultivated Area (ha)	هزینهٔ تولید (میلیون ریال در هکتار) Production Cost (million rials/ha)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield (kg per hectare)	قیمت هر کیلوگرم (ریال) Price (Rial)	درآمد (میلیون ریال در هکتار) Income (million rials per hectare)	بازده خالص اقتصادی (میلیون ریال در هکتار) Net economic return (million rials per hectare)
۱	گندم	۹۷۰	۲۹۸/۳۹	۴۵۰۰	۱۱۵۰۰۰	۵۱۷/۵	۲۱۹/۱۱
۲	جو	۱۱۰۰	۲۲۵/۱۶	۴۰۰۰	۱۰۵۰۰۰	۴۲۰	۱۹۴/۸۴
۳	کلزا	۸	۳۳۲/۲۸	۲۰۰۰	۲۳۰۰۰۰	۴۶۰	۱۲۷/۷۲
۴	سیب‌زمینی	۲۰۰	۲۰۷۴/۸۱	۴۰۰۰۰	۱۲۰۰۰۰	۴۸۰۰	۲۷۲۵/۱۹
۵	گوجه‌فرنگی	۸۰	۱۷۵۰/۳۰	۵۵۰۰۰	۳۵۰۰۰	۱۹۲۵	۱۷۴/۷۰
۶	ذرت سیلویی	۴۳۰	۵۰۵/۷۷	۵۵۰۰۰	۱۲۰۰۰	۶۶۰	۱۵۴/۲۳
۷	پیاز	۴۵	۱۸۷۶/۲۰	۵۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۲۵۰۰	۶۲۳/۸۰
۸	خیار سبز	۶۵	۱۶۸۵/۷۷	۲۵۰۰۰	۱۱۰۰۰۰	۲۷۵۰	۱۰۶۴/۲۳
۹	چغندرقند	۲۷۰	۸۳۶/۷۰	۶۵۰۰۰	۳۲۰۰۰	۲۰۸۰	۱۲۴۳/۳۰
۱۰	نخود	۵۰	۲۶۴/۲۰	۱۵۰۰	۴۵۰۰۰۰	۶۷۵	۴۱۰/۸۰
۱۱	لوبیا	۱۴۸	۴۴۲/۲۳	۳۰۰۰	۴۵۰۰۰۰	۱۳۵۰	۹۰۷/۷۷
۱۲	یونجه	۱۵۰	۹۷۱/۶۷	۱۲۰۰۰	۷۰۰۰۰	۸۴۰	-۱۳۱/۶۷
۱۳	زعفران	۱۰	۶۴۳/۱۲	۷/۸	۳۵۰۰۰۰۰۰۰	۲۷۳۰	۲۰۸۶/۸۸
۱۴	گلرنگ	۷۰	۲۴۵/۳۹	۴۵۰۰	۱۵۰۰۰۰	۶۷۵	۴۲۹/۶۱
۱۵	آنغوزه	۱۰	۱۵۶/۲۵	۳۰۰	۸۰۰۰۰۰۰	۲۴۰۰	۲۲۴۳/۷۵
۱۶	آویشن شیرازی	۵	۱۰۶۷/۵۳	۸۵۰	۴۰۰۰۰۰۰	۳۴۰۰	۲۳۳۲/۴۷
۱۷	خاکشیر	۱۲۵	۸۷/۷۸	۵۰۰	۹۰۰۰۰۰	۴۵۰	۳۶۲/۲۲
۱۸	زیره سبز	۱۲۵	۸۷/۷۸	۵۰۰	۹۰۰۰۰۰	۴۵۰	۳۶۲/۲۲

جدول ۵- نتایج بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب برای محصولات زراعی در الگوی کشت پیشنهادی دشت قادرآباد-مادرسلیمان

Table 5 - The results of physical and economic water productivity for crops in the proposed cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain

ردیف Row	نام محصولات Name of the Products	بهره‌وری آب Water Produtivity	
		فیزیکی (کیلوگرم بر مترمکعب) Physical (Kg/m^3)	اقتصادی (ریال بر مترمکعب) Economic ($Rial/m^3$)
۱	گندم	۰/۸۲	۳۹۸۳۸
۲	جو	۰/۸۹	۴۳۲۹۸
۳	کلزا	۰/۳۶	۲۳۲۲۲
۴	سیب‌زمینی	۴/۱۲	۲۸۰۹۴۷
۵	گوجه‌فرنگی	۵/۵۰	۱۷۴۷۰
۶	ذرت سیلویی	۷/۴۳	۲۰۸۴۲
۷	پیاز	۴/۲۷	۵۳۳۱۶
۸	خیار سبز	۳/۱۳	۱۳۳۰۲۹
۹	چغندرقند	۵/۰۰	۹۵۶۳۸
۱۰	نخود	۰/۲۳	۶۳۲۰۰
۱۱	لوبیا	۰/۴۰	۱۲۱۰۳۶
۱۲	یونجه	۱/۲۰	-۱۳۱۶۷
۱۳	زعفران	۰/۰۰۳	۶۹۵۶۲۷
۱۴	گلرنگ	۱/۱۳	۱۰۷۴۰۳
۱۵	آنغوزه	۰/۱۵	۱۱۲۱۸۷۵
۱۶	آویشن شیرازی	۰/۲۱	۵۸۳۱۱۸
۱۷	خاکشیر	۰/۲۵	۱۸۱۱۱۰
۱۸	زیره سبز	۰/۲۵	۱۸۱۱۱۰

در تحقیقات شاهرخ نیا و همکاران (Shahrokhnia *et al.*, 2022) برای ۳۰ مزرعهٔ گندم در سطح استان فارس مقدار شاخص بهره‌وری فیزیکی ۱/۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده بود که در تحقیق حاضر این شاخص برای گندم ۰/۸۲ به‌دست آمده که از میانگین تعیین شده در استان کمتر است. در تحقیقات محمدی و همکاران (Mohammadi *et al.*, 2014) نیز با هدف حداکثر کردن منافع اجتماعی سطح زیر کشت در سطح شهرستان مرودشت در الگوی بهینه نسبت به الگوی فعلی تغییر نکرده و صرفاً محصولات جایگزین شده و حتی محصول گندم به‌عنوان یک محصول استراتژیک از الگوی بهینه حذف شده است. در آن پژوهش، بر خلاف تحقیق حاضر، به منابع آب و محدودیت آن بر اساس آب قابل برنامه‌ریزی اشاره‌ای نشده است. نتایج تحقیق درزی نفتچالی و همکاران (Darzi-Naftchali *et al.*, 2023) مشابه با نتایج تحقیق حاضر نشان داد که محصول استراتژیک گندم یکی از محصولاتی است که کمترین سود را داشته است. نتیجهٔ مشابه دیگر در این منطقه کاهش ۱۵/۲ درصد سطح زیر کشت در الگوی پایدار نسبت به الگوی فعلی بود که در تحقیق حاضر نیز الگوی بهینه منجر به کاهش سطح زیر کشت به میزان ۲۷ درصد گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد پس از اجرای مدل و تعیین الگوی کشت بهینه، تعداد محصولات کشاورزی دشت ۵۰ درصد افزایش یافته و از ۱۲ به ۱۸ رسیده است؛ یعنی شش محصول شامل زعفران، آنغوزه، آویشن شیرازی، خاکشیر، گلرنگ و زیره به الگوی کشت اضافه شدند. بارزترین ویژگی محصولات اضافه شده، برخورداری از بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب نسبت به محصولات موجود در الگوی کشت است. سطح زیرکشت محصولات در الگوی کشت بهینه معادل ۲۷ درصد کاهش دارد و از ۵۳۰۳ هکتار به ۳۸۶۱ هکتار می‌رسد. میزان آب آبیاری الگوی بهینه باعث کاهش ۲۶ درصد در مصرف منابع آب زیرزمینی می‌شود. علاوه بر آن، میزان تولید محصولات زراعی در الگوی فعلی و بهینه به ترتیب، ۸۴۶۹۳۰۰۰ و ۶۹۴۷۷۰۶۰ کیلوگرم به‌دست آمد که کاهش سطح زیرکشت سبب کاهش ۱۸ درصدی این شاخص در الگوی بهینه شده است. با این حال، بازده اقتصادی کل دشت در الگوی فعلی و بهینه به ترتیب، ۱۹۷۵/۳۷ و ۲۰۳۵/۶۰ میلیارد ریال محاسبه گردید که نشان‌دهنده سه درصد افزایش در الگوی بهینه است.

با عنایت به اثرهای مستقیم اصلاح الگوی کشت دشت قادرآباد-مادرسلیمان شامل افزایش تعداد محصولات کشاورزی دشت و ورود شش محصول دارای بالاترین بهره‌وری اقتصادی آب به الگوی کشت بهینه، همچنین کاهش سطح زیرکشت محصولات در الگوی کشت بهینه و افزایش بازده اقتصادی کل دشت در این الگو، انتظار می‌رود شاخص بهره‌وری فیزیکی و بهره‌وری اقتصادی کل دشت نیز دچار تغییر شود. به طوری که شاخص بهره‌وری فیزیکی آب کل دشت در الگوی فعلی و بهینه به ترتیب معادل ۲/۵۶ و ۲/۸۴ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. به همین صورت، شاخص بهره‌وری اقتصادی آب کل دشت نیز به ترتیب ۵۹۶۰۷ و ۸۳۰۸۶ ریال بر مترمکعب محاسبه شد؛ بنابراین، اصلاح الگوی کشت در دشت قادرآباد- مادرسلیمان سبب صرفه‌جویی سالانه ۸/۶۴ میلیون مترمکعب آب، افزایش ۱۱ درصد در بهره‌وری فیزیکی و افزایش ۳۹/۴ درصد در بهره‌وری اقتصادی آب خواهد گردید.

بر این اساس، تمرکز بر شاخص بهره‌وری آب در قالب ارتقای بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی می‌تواند به‌عنوان رویکردی مناسب برای ایجاد هم‌افزایی بین کلیه ذی‌مدخلان و ذی‌نفعان حوزه آب به ویژه وزارت نیرو و وزارت جهاد کشاورزی در مدیریت منابع آب بخش کشاورزی در دستور کار قرار گیرد. در این رویکرد، با تمرکز بر افزایش بهره‌وری آب، در یک بازه زمانی تعریف شده، ضمن حداقل کردن میزان کاهش تولید و با افزایش سطح معیشت بهره‌برداران، می‌توان مصرف آب کشاورزی در دشت ها را به میزان آب قابل برنامه‌ریزی دشت تقلیل داد. به طوری‌که بر اساس نتایج این تحقیق، در دشت قادرآباد- مادرسلیمان با تمرکز بر رویکرد ارتقای شاخص بهره‌وری فیزیکی و اقتصادی آب در یک بازه زمانی یکساله، میزان مصرف سالانه فعلی دشت در بخش کشاورزی از ۳۳/۱۴ (م.م.م.) به میزان آب قابل برنامه‌ریزی (۲۴/۵ م.م.م.) تقلیل می‌یابد و از ادامهٔ روند افت سطح سفره آب زیرزمینی این دشت جلوگیری می‌شود.

مراجع

Abbasi, F., Naseri, A., Sohrab, F., Baghani, J., Abbasi, N., and Akbari, M. (2014). Improving the efficiency of water consumption. Research achievement, Agricultural Engineering Research Institute, Publisher, Agricultural Research, Education and Extension Organization. 68 p. (in Persian)

Anonymous. (2017). Report on water resources and consumption, Regional Water Company of Fars. (in Persian)

Anonymous. (2023). Report on water resources and consumption, Regional Water Company of Fars. (in

Persian)

Arora, V. K., Singh, C. B., Sidhu A. S. & Thind, S. S. (2011). Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. Agricultural Water Management, 98, 563–568.

Askari Bezaye, F., Mohammadzadeh, R. and Azarin Far, Y. (2019). Water and its prospects in MENA region (Middle East and North Africa). Water and Sustainable Development, 7 (2), 33-44. (in Persian)

Balwinder, S., Humphreys, E., Eberbach, P. L., Katupitiya, A., Yadvinder, S. & Kukal, S. S. (2011). Growth, yield and water productivity of zero till wheat as affected by rice straw mulch and irrigation schedule. Field Crops Research, 121, 209–225.

Bindraban, P. S., Stoorvogel, J. J., Jansen, D. M., Vlaming, J. & Groot, J. J. R. (2000). Land quality indicators for sustainable land management: proposed method for yield gap and soil nutrient balance. Agricultural, Ecosystems & Environment, 81, 103-112.

Bouman, B. (2007). A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. Agricultural Systems, 93, 43–60.

Darzi-Naftchali, A., Motevali, A., Layani, GH., Keikha, M., Bagherian-Jelodar, M., Nadi, M., Firouzjaeian, A. A. and Pirdashti, H. (2023). Optimizing cropping pattern through reducing environmental issues and improving socio-economic indicators. Environment, Development and Sustainability, 26(5), 13041-13068.

De Vries, M. E., Rodenburg, J., Bado, B. V., Sow, A., Leffenaar, P. & Giller, K. E. (2010). Rice production with less irrigation water is possible in a Sahelian environment. Field Crops Research, 116,154–164.

Fischer, G., Van Velthuizen, H., Hizsnyik, E. & Wiberg, D. (2009). Potentially obtainable yields in the semi-arid tropics. Global Theme on Agroecosystems Report No. 54, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Andhra Pradesh, India.

Geerts, S. & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management, 96, 1275–1284.

Mohammadi, H., Sargazi, A.R., Dehbashi, V., and Pudine, M. (2014). Optimizing the cultivation pattern with an emphasis on social benefits in the rational use of water in the production of crops: the case of Fars province. Environmental Science and Technology, 17(4), 107-115. (in Persian)

Nakhjavani Moghaddam, M. M. (2018). Determination of Cotton water consumption in Iran. Final Research Report No. 57529, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Razavi, R., Taifeh Rezaei, H., Razavi, M., Mohammad Ismail, Z., and Jadidi, T. (2021). Evaluation and optimization of water application efficiency in the field with surface irrigation in the fields of West Azarbaijan province. The 17th Iranian Congress of Soil Sciences and the 4th National Conference on Water Management in the Farm of Wise Soil Revival and Wise Water Governance, Karaj. (in Persian)

Rezaei Asl, M. R., Ramroudi, M., Ahmadpour borazjani, M. and Marzban, Z. (2022). Evaluation of cultivation pattern in Sistan region with emphasis on water optimal distribution. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 32(4), 269-284. (in Persian)

Rockström, J. & Barron, J. (2007). Water productivity in rainfed systems: overview of challenges and analysis of opportunities in water scarcity prone savannahs. Irrigation Science, 25, 299–311Cartes, P., Gianfreda, L. and Mora, M. L. 2005. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms, Plant and Soil, 276, 359-367.

Sabzevari, A.R., Rajabipour, A., Bagheri, N. and Omid, M. (2019). Determining the pattern of crop

cultivation as a solution to reduce the country's food security risks. Environmental Hazards Management, 7(1), 23-38. (in Persian)

Sepehri Sadeghian, S., Nakhjavani Moghadam, M. M., Ahmad Ali, J., Afshar, H., Karimi, M., Eslami, A., Razvani, S. M., Yusuf Gomrakchi, A. and Abedinpour, M. (2022). Determination of plum applied water in Iran. Final Research Report No. 62463, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Agricultural Engineering Research Institute. (in Persian)

Shahrokhnia, M. A., Eslami, A., and Baghani, J. (2022). Investigation of applied water and water productivity of wheat fields in Fars province. Water Resources Engineering Journal, 15 (52), 114-128. (in Persian)

Shahrokhnia, M. A., Eslami, A., Dehghanian, S. A. and Abbasi, F. (2022). Determining the volume of applied water and water productivity of lime orchards in Fars province. Iranian Water Research Journal, 16 (3), 27-37. (in Persian)

Shariati, H., Motamed Vaziri, B., Goudarzi, M. and Ahmadi, H. (2021). Optimization of cropping pattern using linear programming method and Lingo software in Dehgolan plain in Kurdistan province, Iran. Geography and Environmental Sustainability, 11(40), 81-96. (in Persian)

Skonjad, M.M. (2019). Engineering economics: Economic evaluation of industrial projects. Printing turn: 49. Publications of Amirkabir University of Technology. Tehran, 642 p.

Zarea, SH., Zareafeizabadi, A. and Sabohi, M. (2014). Investigation of yield and economic analysis of wheat based crop rotation systems. Seed and Plant Production Journal, 2(1), 19-33.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.25/No.94/ spring 2024/P :17-38

Original Research

The effect of cropping pattern modification on the physical and economic productivity of crop irrigation water in Fars province (Case study: Qaderabad-Madarsolaman plain)

A. Eslami*, A. Shirvanian, R. Zareian

***Corresponding Author**: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran.
Received: 6 July 2024**, Accepted**: 23 July 2024
Email: amireslami.50@gmail.com
https://doi.org/ 10.22092/IDSER.2024.366325.1583

Extended Abstract

Introduction

The sharp drop in the water level of the underground aquifers in the plains shows the lack of a suitable approach to create synergy between all the stakeholders in the water sector in the management of water resources. On the other hand, the undeniable limitation of water resources has led to the adoption of integrated water resources management as a requirement. In this regard, in an agricultural plain, there should be a matching of underground water resources with programmable water in order to reduce the severity of the created crisis and help to balance the plain over time. Therefore, avoiding acreage expanding in the agricultural sector and increasing water productivity should be on the agenda of decision makers, especially in the planning of cropping patterns.

Methodology

This research has been carried out with the aim of improving the cultivation pattern in improving the physical and economic productivity of water in the Qaderabad-Madarsolaman plain of Fars province. The required data of the products include crop calendar, price at the time of harvest, production cost, yield, monthly programmable amount of plain water and monthly irrigation water amount of each crop related to crop year 2021-2022, which is in the form of documents from Jihad- Agriculture Organization. and the Regional Water Company of Fars province was collected. Data analysis was done by mathematical programming method using GAMS software.

Results and Discussion

The results showed that after implementing the model and determining the optimal cultivation pattern, the number of agricultural products in the plain increased by 50%. So that the number of products reached 18 products from 12 products. Also, the area under cultivation of crops in the optimal cultivation pattern decreased by 27% and reached 3861 ha from 5303 ha. Meanwhile, the amount of irrigation water of the optimal pattern caused a 26% reduction in

the consumption of underground water resources. In addition, the amount of crop production in the current and optimal model was 8,469,3000 and 6,947,060 kg, respectively, and the decrease in the cultivated area has caused an 18% decrease in this index in the optimized model. However, the economic efficiency of the entire plain in the current and optimal model was calculated as 1975.37 and 2035.60 billion rials, respectively, which indicates a three percent increase in the optimal model. With regard to the direct effects of the modification of the cultivation pattern of the Qaderabad-Madarsolaman plain, including the increase in the number of agricultural products of the plain and the introduction of six crops with the highest economic water productivity into the optimal cultivation pattern, as well as the reduction of the area under cultivation of crops in the optimal cultivation pattern, and the increase of the economic efficiency of the entire plain in this pattern, it is expected that the index of physical productivity and economic productivity of the whole plain will also change. So, the physical water productivity index of the whole plain in the current and optimal model was obtained as 2.56 and 2.84 kg/m^3, respectively. In the same way, the water economic productivity index of the whole plain was calculated as 59,607 and 83,086 rials per cubic meter, respectively.

Conclusions

The modification of the cultivation pattern in the Qaderabad-Madarsolaman plain resulted in the annual saving of 8.64 million cubic meters of water, an 11% increase in physical productivity, and a 39.4% increase in the economic productivity of water. Based on this, focusing on the water productivity index in the form of improving physical and economic productivity can be followed as a suitable approach to create synergy between all stakeholders and beneficiaries of the water sector in the management of water resources in the agricultural sector. In this approach, by focusing on increasing water productivity, in a defined time period, while minimizing the amount of production reduction, and by increasing the livelihood level of the users, it is possible to reduce the agricultural water consumption in the plains to the amount of programmable water.

Keywords: Climate change, Farmer's livelihood, Programmable water, Water shortage