اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۳، بهار ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.342504.1218

مقاله پژوهشی

کاربرد حدنگاری اراضی کشاورزی در تدوین الگوی کشت جامع و عملیاتی مزارع: مطالعهٔ موردی در استان اصفهان

علیرضا نیکویی[۱]، مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲۲

چکیده

حدنگاری اراضی کشاورزی می‌تواند به طراحی الگوی کشت عملیاتی برای هر مزرعه کمک کند و برنامه‌ریزی تولید، نظام توزیع محصولات کشاورزی و مدیریت بهینه آب و خاک را در راستای راهبردهای جامع و کلان کشاورزی کشور به‌همراه داشته باشد. در مطالعهٔ حاضر، با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، از روش حدنگاری اراضی کشاورزی برای تدوین الگوی کشت جامع و

۱- نویسنده مسئول و استادیار اقتصاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
(anikooie@yahoo.com)

۲- استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران. (mostafa.korg@yahoo.com)

عملیاتی مزارع شهرستان شهرضا واقع در استان اصفهان در قالب یک ساختار سامانه‌ای پشتیبان تصمیم استفاده شد. با توجه به گستردگی اطلاعات و لزوم پردازش آنها و همچنین، دسترسی سریع و دقیق به نتایج حاصل از اجرای مدل برنامه‌ریزی، ساختار سامانه‌ای یادشده تلفیقی از پایگاه داده‌های توصیفی و مکان‌دار، بستر برنامه‌نویسی و بسته نرم‌افزاری بهینه‌سازی برای حل مدل و ایجاد گزارش‌های لازم بود. نتایج نشان داد که در مدل چندهدفه، با وجود کاهش سطح زیر کشت برای گروه محصولاتی چون غلات و جالیز به‌ترتیب به میزان ۳۷ و ۸ درصد، میزان تولید غلات تنها ۲۷ درصد کم شده و تولید جالیز ۷۰ درصد افزایش داشته و این افزایش بهره‌وری تولید به‌دلیل استفاده از نوع واریته، مدیریت کشت، روش آبیاری و تناسب اراضی هر محصول در هر مزرعه در ساختار برنامه‌ریزی مطالعهٔ حاضر تحقق یافته است. با توجه به ایجاد جزئیات الگوی کشت برای هر مزرعه از طریق اطلاعات حدنگاری، استفاده از نتایج مطالعه برای برنامه‌ریزی آبیاری و کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی توصیه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: *حدنگاری، برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه، الگوی کشت، برنامه‌ریزی آبیاری، اصفهان (استان).*
طبقه‌بندی JEL : C69

مقدمه

هدف از طراحی و اجرای الگوی کشت مناسب کنترل هرچه بیشتر عوامل محدودکننده و بهره‌برداری بهینه از امکانات موجود است (Bartolini et al., 2007; Bender and Simonovic, 2000; Berbel and Gomez-Limon, 2000; Doppler et al., 2002). برنامه‌ریزی را می‌توان به سه قالب کلی برنامه راهبردی، ساختاری و عملیاتی تقسیم‌بندی کرد. برنامه عملیاتی امکان تعمیم نتایج به‌دست‌آمده از برنامه ساختاری به الگوی مزارع نماینده و بهره‌برداران زراعی و باغی محدوده مطالعاتی را به‌وجود می‌آورد (Manos et al., 2010).

بیشتر پژوهش‌های پیشین در زمینه تعیین الگوی کشت مناسب به استفاده از برنامه‌ریزی ساختاری پرداخته‌اند که برای نمونه، می‌توان به مطالعات جولایی و همکاران (Joulaei et al., 2005) در استان

فارس و مردانی و همکاران (Mardani et al., 2016) در استان اصفهان اشاره کرد. مطالعات دیگری نیز وجود دارد که در قالب یک برنامه عملیاتی صرفاً به بهینه‌سازی الگوی کشت موجود در یک منطقه با اهدافی چون مدیریت تقاضا و استفاده بهینه از منابع آب پرداخته‌اند. برای نمونه، می‌توان به مطالعات فتحی و زیبایی (Fathi and Zibaei, 2012) برای تعیین الگوی کشت، راهبرد و روش آبیاری بهینه در راستای پایداری منابع آب فیروزآباد در فارس، مجیدی و همکاران (Majidi et al., 2011) برای تعیین الگوی کشت بهینه هم‌سو با مدیریت منابع آب در دشت مشهد چناران، و موسوی و اکبری (Mousavi and Akbari, 2014) برای بررسی الگوی کشت بهینه و تاثیر آن بر مدیریت منابع آبی در منطقه مرودشت اشاره کرد. عدم تعمیم نتایج مزارع نماینده به کل مزارع و در نهایت، عملیاتی نشدن نتایج به‌دست‌آمده از محدودیت‌های مطالعات یادشده محسوب می‌شود. به دیگر سخن، بیشتر برنامه‌ها و پژوهش‌های پیشین در زمینهٔ الگوی کشت تا مقیاس یک دشت (واحد آبی) و یا تقسیمات سیاسی انجام شده و در هیچ‌کدام از آنها، نحوه پیاده‌سازی و تعمیم الگوها به بهره‌برداران مشخص نشده است (Biswas and Pal, 2005; Mardani et al., 2018; Sharma and Jana, 2009). در این راستا، طراحی الگوی کشت با یک برنامه عملیاتی، از نظر ساختار جغرافیایی باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند جواب‌گوی نیازهای لحاظ‌شده در تعریف الگوی کشت ملی باشد.

حدنگاری[1] و ایجاد پایگاه اطلاعات مکانی زمین می‌تواند به تدوین الگوی کشت عملیاتی و برنامه‌ریزی تولید از طریق تهیه بانک اطلاعات شناسنامه بهره‌برداران کشاورزی کمک کند و مدیریت بهینه آب و خاک و نظام توزیع محصولات کشاورزی را به‌همراه داشته باشد (Griffith-Charles and Sutherland, 2019). حدنگاری فهرستی مرتب‌شده از اطلاعات مربوط به قطعات زمین (در داخل مرز جغرافیایی یک کشور) شامل نقشه‌برداری و افزودن سایر

۱- حدنگاری یا محدوده‌بندی یا کاداستر (Cadastre) به عملیات تولید نقشه‌ای گفته می‌شود که مرزها و مالکیت قطعات زمین را مشخص می‌کند.

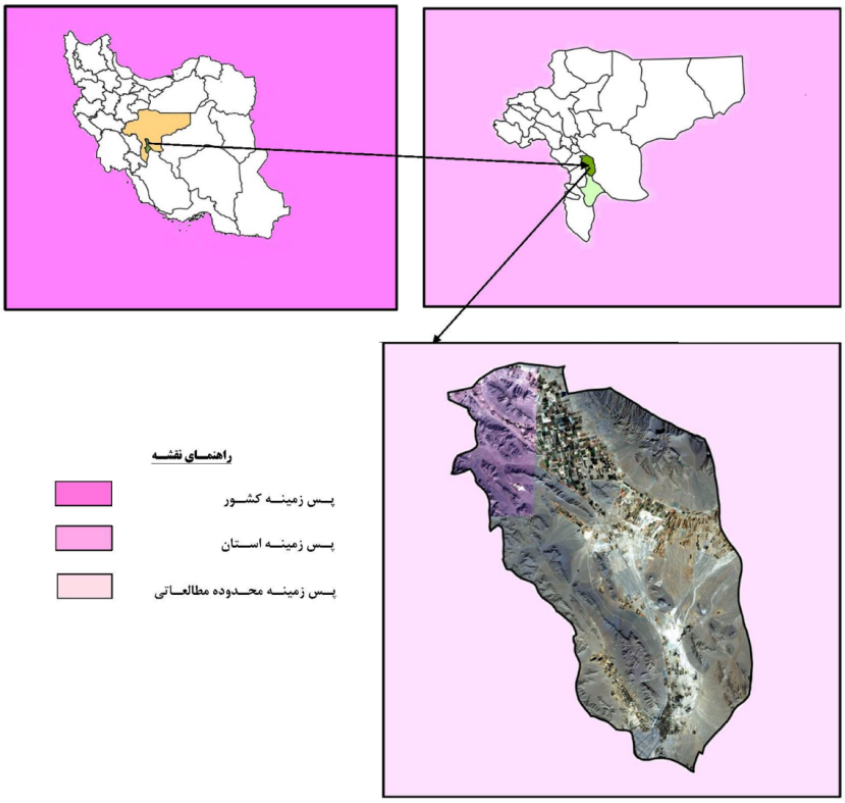
مشخصه‌های زمین نظیر حقوق مالکیت، کاربری، اندازه و ارزش به نقشه مقیاس بزرگ است و به‌طور رسمی به ثبت می‌رسد (Tangestani, 2006).

استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای ارائه برنامه الگوی کشت بهینه از مزیت‌هایی قابل توجه برخوردار بوده و از این‌رو، در بررسی اثر تصمیمات مختلف کاربردهای شهری، صنعتی، کشاورزی و زیست‌محیطی منابع تولید کشاورزی، این مدل‌ها به‌گونه‌ای گسترده به‌کار رفته است (Gohar and Ward, 2010; Maneta et al., 2009). در طراحی چنین مدل‌هائی و در بستر عوامل محدودکننده مختلف مؤثر بر تدوین برنامه الگوی کشت مناسب، باید اهداف گوناگون مد نظر قرار گیرد. در این راستا، تأمین حداکثر بازده ناخالص و تخصیص بهینهٔ آب در بهینه‌سازی الگوهای زراعی از اهداف مشخص بسیاری از مطالعات بوده است (Bender and Simonovic, 2000; Berbel and Gomez-Limon, 2000; Bartolini et al., 2007). افزون بر این، تمرکز بسیاری از مطالعات مختلف به بهینه‌سازی الگوی مصرف نهاده‌های آب، کود شیمیایی و سموم شیمیایی معطوف بوده است (Maqsood et al., 2005; Mardani et al., 2013; Mardani Najafabadi et al., 2019). همچنین، در بسیاری از مطالعات اخیر، به مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی توجه شده است (Sharma and Jana, 2009; Zoppi and Lai, 2015). با توجه به نامتجانس بودن بسیاری از اهداف در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های چندهدفه، می‌توان از منطق فازی برای همگن‌سازی اهداف در این‌گونه مدل‌ها استفاده کرد. تاکنون در مطالعات و تصمیم‌گیری چندهدفه، از این روش به‌گونه‌ای گسترده استفاده شده است (Galán-Martín et al., 2015; Jones and Barnes, 2000). با بهره‌گیری از این نظریهٔ نوین، می‌توان سطوح مورد نظر برنامه‌ریزان را که به‌صورت مبهم بیان می‌شود، به‌صورت کمی و مقداری تعریف کرد (Li and Guo, 2015).

استان اصفهان، به‌علت موقعیت خاص جغرافیایی و ناهمواری‌های بسیار پراکنده و تأثیر دیگر عوامل، از مناطق خشک جهان و ایران به‌شمار می‌رود؛ بنابراین، به‌منظور مقابله با کم‌آبی و بهره‌برداری بهینه از امکانات موجود در این منطقه، طراحی و اجرای الگوی کشت مناسب

ضروری است. همچنین، شهرستان شهرضا از مناطق مهم کشاورزی در این استان به‌شمار می‌رود که پس از بررسی و اجماع نظرات کارشناسی، دهستان دشت (مهیار) در همین شهرستان به‌عنوان محدوده مطالعات پایلوت تدوین برنامه عملیاتی الگوی کشت استان اصفهان انتخاب شد (شکل ۱). این دهستان یک قطب کشاورزی در استان اصفهان محسوب می‌شود و از نظر تقسیمات آب‌شناختی (هیدرولوژیک)، در سه زیرحوضه آبی شهرضای جنوبی، مهیار جنوبی و مهیار شمالی قرار گرفته و عمده منبع آب مورد استفاده بهره برداران کشاورزی آن چاه‌های عمیق است؛ و در عین حال، در سال‌هایی که زاینده‌رود توانایی عرضه آب آبیاری را داشته باشد، در مناطق شمالی این دهستان (زیرحوضه مهیار شمالی) از کانال آبیاری منشعب از این رودخانه نیز استفاده می‌شود. عمده محصولات زراعی محدوده مطالعاتی عبارت‌اند از غلات، جالیز، یونجه، آفتابگردان، ارزن و ذرت علوفه‌ای؛ البته، احداث باغ‌های انار نیز در این محدوده رو به گسترش است.

هدف از انجام مطالعهٔ حاضر تدوین الگوی کشت جامع مرتبط با ظرفیت‌ها، محدودیت‌ها و اهداف کلان منطقه‌ای و برنامه عملیاتی آن با تعمیم نتایج به کل مزارع با استفاده از نقشه حدنگاری بهره برداری‌های زراعی و باغی اطلاعات پایه آنها در دهستان دشت (مهیار) شهرستان شهرضا بوده و سؤال اساسی مطالعه این است که «آیا الگوی جاری منطقه توانایی تأمین اهداف گوناگون و گاه متضاد را دارد یا اینکه باید به یک الگوی بهینه کشت دست یافت؟».



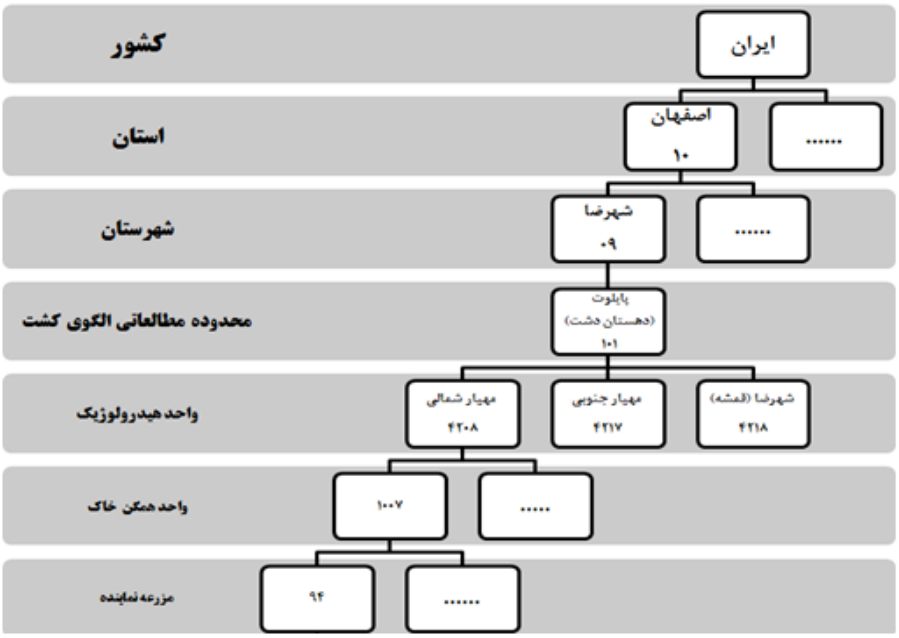
شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی در استان و کشور

روش تحقیق

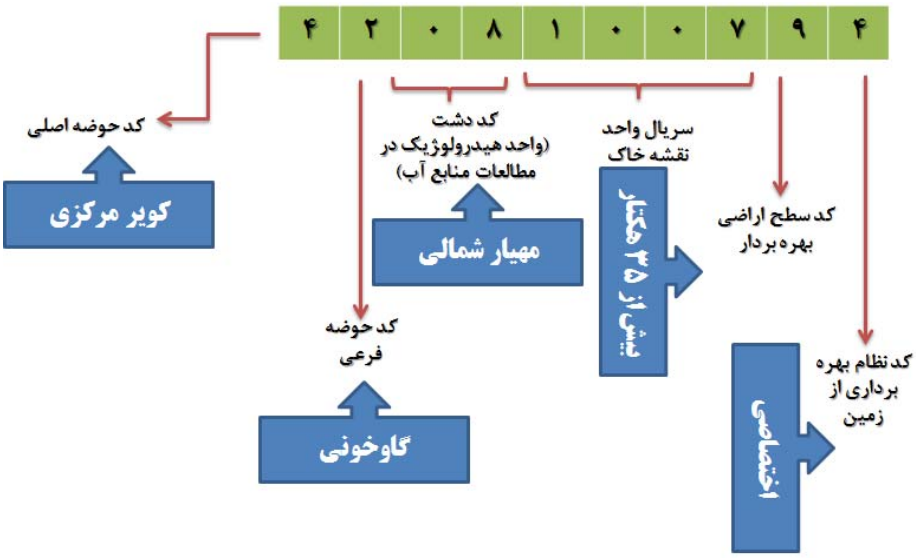
به‌طور کلی، الگوی کشت ملی به‌صورت تعیین نظام کشت مبتنی بر شرایط اقلیمی، بهره‌برداری بهینه از منابع و عوامل تولید متناسب با توان‌های منطقه‌ای و مزیت اقتصادی با رعایت اصول تولید محصولات کشاورزی و ملاحظات زیست‌محیطی در راستای سیاست‌های کلان کشور و تأمین امنیت غذایی تعریف شده است (Mardani et al., 2016). بر اساس این تعریف، در طراحی یک الگوی کشت جامع، باید سه رکن اصلی بهینه‌سازی، ملاحظات زیست‌محیطی و امنیت غذایی مد نظر قرار گیرد. بنابراین، باید خروجی‌های مورد انتظار الگوی کشت جامع از طریق فهرست نیازهای برنامه‌ریزی بخش کشاورزی تعیین شود و بتواند در نظام

کشت کشور قابلیت صحت‌سنجی و پایش داشته باشد؛ و بتوان سطح دقت هر خروجی را مشخص کرد. بنابراین، در مطالعه حاضر، چهار هدف اصلی شامل بیشینه‌سازی سود خالص کل، کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری مورد استفاده، کمینه‌سازی مصرف کودهای شیمیایی و سموم (شاخص حفاظت محیط زیست) و بیشینه‌سازی اشتغال نیروی کار (شاخص منافع اجتماعی) با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه با لحاظ قیود متعدد مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این، از جمله اهداف طراحی الگوی برنامه‌ریزی در مطالعات پایلوت انجام‌شده در استان اصفهان ارائه یک برنامه عملیاتی الگوی کشت تا سطح یک مزرعه است.

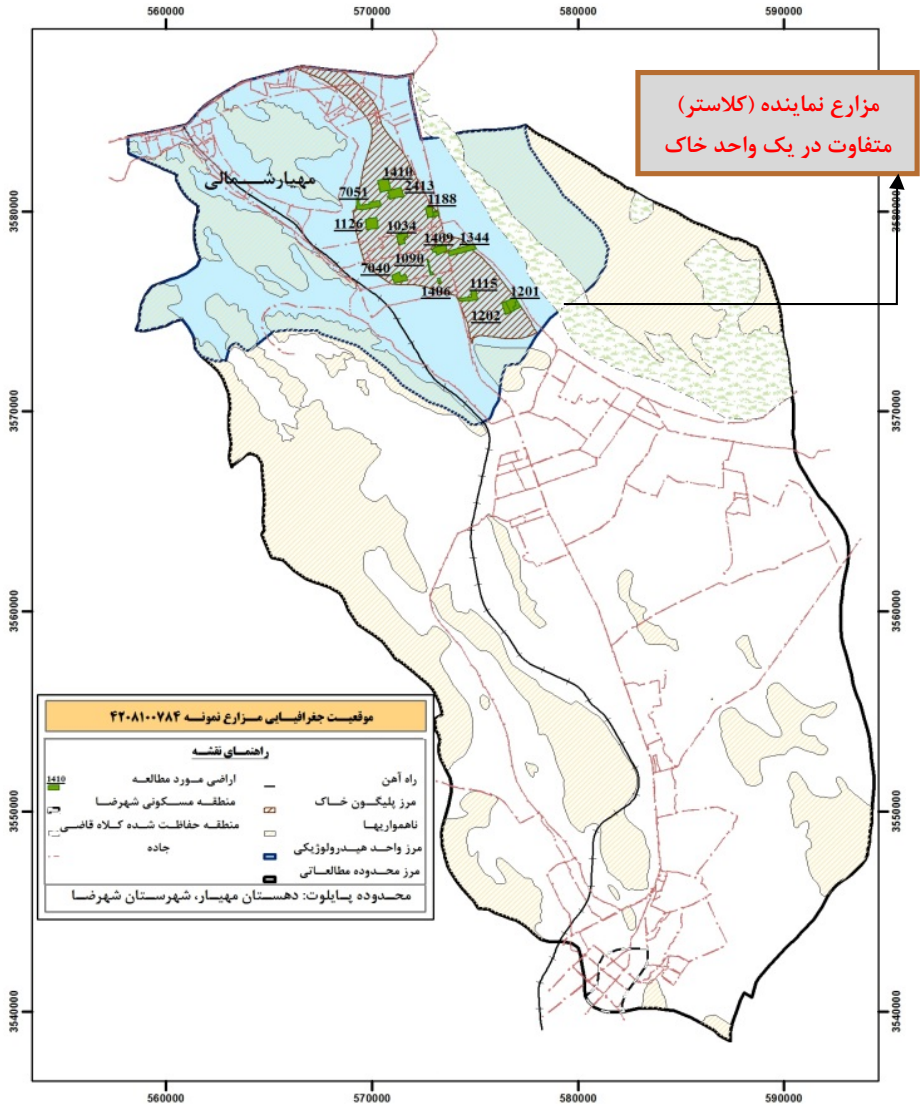
در مطالعه جاری، ساختار سطوح جغرافیایی به‌منظور تأمین اهداف و نیازهای پیش‌گفته به‌صورت شکل ۲ طراحی شده است. در این ساختار، سطح برنامه‌ریزی راهبردی در سطح جغرافیایی کشور و سطوح ساختاری در سطح جغرافیایی تقسیمات سیاسی (استان و شهرستان)، تقسیمات آبی و خاکی (واحد هیدرولوژیک و خاک) مد نظر قرار گرفته است. همچنین، به‌دلیل انجام مطالعات حدنگاری، امکان طراحی مدل به‌گونه‌ای که بتوان مزارع نماینده و واحدهای بهره‌برداری مرتبط را نیز مد نظر قرار دهد (Zysk et al., 2020)، وجود داشت (نحوه کدگذاری مزارع نماینده در شکل ۳ و نقشه آن در یک واحد خاک محدوده مطالعاتی در شکل ۴). بنابراین، با استفاده از نقشه حدنگاری تهیه‌شده، ارتباط بین واحدهای بهره‌برداری با مزرعه نماینده مرتبط با آنها، برقرار و امکان تعمیم نتایج به هر مزرعه فراهم شد.



شکل ۲- سطوح جغرافیایی برنامه‌ریزی الگوی کشت مطالعه جاری



شکل ۳- نحوه کدگذاری مزرعه نماینده در برنامه‌ریزی الگوی کشت مطالعه جاری



شکل ۴- نقشه نمونه‌ای از واحدهای بهره‌برداری موجود در یک مزرعه نماینده در منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر، با استفاده از روش برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندهدفه، تلفیقی از مصالحه بین اهداف یادشده مد نظر قرار گرفت. لازم به ذکر است که استفاده از روش فازی تنها به‌دلیل متجانس کردن اهداف مطالعه بوده و برای اعمال شرایط عدم اطمینان در مدل نیست (Jones and Barnes, 2000). در این راستا، بیشینه‌سازی سود ناخالص حاصل از فعالیت‌های کشاورزی برای واریته‌های مختلف محصولات (v) در کلیه مزارع نماینده (c) مورد بررسی یکی از اهداف مورد نظر بوده است.

$$\pi_V = \sum_{c=1}^{C} NetBenefit_c_V^c \qquad (۱)$$

کمینه‌سازی آب مصرفی به‌علت استفاده در فعالیت‌های کشاورزی برای کلیه مزارع مورد بررسی نیز یکی از اهداف مورد نظر بود. در رابطه زیر، c مزرعه نماینده، n گروه اصلی محصولات، t مجموعه مربوط به فناوری آبیاری و m ماه‌های سال را نشان می‌دهند.

$$W_V = \sum_{c=1}^{C}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\sum_{m=1}^{M} Water_C_V_{n_1tm}^{C} \qquad (۲)$$

علاوه بر این، با توجه به اثرات زیانبار زیست‌محیطی که مصرف حاصلخیزکننده‌های شیمیایی و سموم مصرفی می‌توانند به بار آوردند، با فرض اینکه میزان مصرف این نهاده‌ها در واحد سطح برای هر محصول در حد استاندارد توصیه‌شده باقی بماند، کمینه‌سازی مصرف آنها از طریق تغییر ترکیب کشت از جمله اهداف مورد نظر در مطالعهٔ حاضر بوده و همچنین، با توجه به تنوع استفاده از این نهاده‌ها و به‌منظور امکان جمع‌بندی مقادیر آنها، با لحاظ هزینه واحد مصرف هر نوع کود و سم مصرفی به‌عنوان وزن مالی آنها، سرجمع هزینه استفاده از آنها به‌عنوان شاخصی زیست‌محیطی که باید کمینه‌سازی شود، در این مدل، به‌شرح رابطهٔ زیر مد نظر قرار گرفته است:

$$FP_V = \sum_{c=1}^{C}\sum_{n_1=1}^{N_1}\sum_{n_2=1}^{N2}\sum_{v=1}^{V}\sum_{k=1}^{K} Cost_V_{n_1n_2tk}^{C} \qquad (۳)$$

که در آن، K مربوط به دو نهاده کود شیمیایی و سموم دفع آفات است؛ علاوه بر این، n_2 مجموعه مربوط به گروه فرعی محصولات را نشان می‌دهد.

در نهایت می‌توان گفت که کاهش سطح اشتغال در مناطق روستایی، بدون تضمینی برای تأمین اشتغال جمعیت بیکار، می‌تواند اثرات اجتماعی زیانباری را به‌همراه داشته باشد. حفظ و یا بیشینه‌سازی سطح اشتغال بر اساس بیشینه‌سازی مجموع متغیر تعداد نیروی کار مورد نیاز برای تولید محصولات پیشنهادی در الگوی کشت، از دیگر اهداف این مطالعه بوده است.

$$L_V = \sum_{c=1}^{C}\sum_{k=1}^{K} Labour_V_k^c \qquad (۴)$$

برای متجانس کردن اهداف یادشده، از منطق فازی استفاده می‌شود. الگوی مد نظر در چارچوب هدف حداکثر مسافت مرکب آرمانی[1] اهداف یادشده از حد بحرانی طراحی شد. شکل فرم عمومی این الگو برگرفته از مطالعهٔ جونز و بارنز (Jones and Barnes, 2000) است. به‌علت کاربردهای این روش در مطالعات داخلی برای برنامه‌ریزی الگوی کشت محصولات کشاورزی (Mardani et al., 2016; Mardani et al., 2018)، از ذکر جزئیات ریاضی آن خودداری شده است.

اهداف یادشده در چارچوب محدودیت‌ها و قیود مور دنظر در مطالعه حاضر شکل می‌گیرند. در این راستا، نباید محدودیت مقدار کل زمین تخصیص‌یافته به محصولات از کل زمین قابل کشت برای هر مزرعه نماینده و در هر ماه بیشتر باشد. در این محدودیت، تناوب زراعی نیز با اعمال ضریب اشغال زمین در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{c=1}^{C}\sum_{n_1=1}^{N_1}\sum_{n_2=1}^{N2}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} H_{n_2vm}^{C} H_C_V_{n_1n_2vt}^{C} \le HRHS^c \qquad (۵)$$

مجموعه قیود حداکثر و حداقل مقدار زمین برای کشت هر محصول در هر مزرعه نماینده، به‌منظور تأمین نیازهای خودمصرفی مزارع نماینده و یا جلوگیری از انحراف بیش از

1. fuzzy composite distance

حد سطوح کشت پیشنهادی بر اساس واسنجی صورت‌گرفته، ارائه شده است. شایان یادآوری است که با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده از نقشه و بانک اطلاعات شناسنامه بهره‌برداران کشاورزی، سطوح تعیین‌شده مربوط به حداقل تأمین نیازهای خودمصرفی مزارع نماینده به‌دست آمد.

$$\sum_{n_2=1}^{N_2}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} H_C_V^{C}_{n_1 n_2 v t} \le H_C_Max^{c}_{n_1} \qquad (۶)$$

$$\sum_{n_2=1}^{N_2}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T} H_C_V^{C}_{n_1 n_2 v t} \ge H_C_Max^{c}_{n_1} \qquad (۷)$$

در روابط بالا، $H_C_Max^{c}_{n_1}$ حداکثر زمین تخصیص‌یافته به محصول اصلی n_1 در مزرعه نماینده c است.

افزون بر این، در مطالعه حاضر، محدودیت‌های مربوط به آب آبیاری، موازنه سطوح متفاوت میزان مصرف آب آبیاری به‌تفکیک ماه، مزرعه نماینده، محصول و منابع آبی و عدم انحراف مدل از مقدار آب قابل دسترس برای منابع، مزارع نماینده و ماه‌های مختلف مد نظر قرار گرفته است.

در نهایت نیز با تعریف مجموعه الگوریتم‌های اقتصادی در قالب هزینه بهره‌برداری از آب آبیاری (شامل هزینه آب‌بهای پرداختی)، هزینه استحصال آب آبیاری (شامل هزینه انرژی، روغن، استهلاک تجهیزات و ... که برای استحصال آب صورت می‌گیرد)، هزینه نهاده‌های کشاورزی، هزینه کل تولید، قیمت محصولات کشاورزی، سود خالص محصولات، سود ناخالص محصولات کشاورزی و حداقل میزان سود مورد انتظار، به اعمال مجموعه الگوریتم‌های مربوط به تعمیم سطح زیر کشت و تولید مزارع نماینده به واحدهای بهره برداری به‌شرح زیر پرداخته شد:

$$H_A_V^{a}_{n_1 n_2 vt} = \sum_{c=1}^{C} H_C_V^{c}_{n_1 n_2 vt} \left(\frac{H_A^{a}}{HRHS^{c}} \right) \quad (۸)$$

$$PR_A_V^{a}_{n_1 n_2 vt} = \sum_{c=1}^{C} H_C_V^{c}_{n_1 n_2 vt} CropYeild^{c}_{n_1 n_2 vt} \left(\frac{H_A^{a}}{HRHS^{c}} \right) \quad (۹)$$

در معادله (۸)، متغیر $H_A_V^{a}_{n_1 n_2 vt}$ مربوط به مقدار زمین تخصیص‌یافته حاصل از کشت محصول اصلی n_1، محصول فرعی n_2، واریته v با به‌کارگیری فناوری آبیاری t در مزرعه f و همچنین، H_A^{a} مقدار زمین کشت‌شده در مزرعه a و $HRHS^{c}$ مقدار زمین قابل کشت در مزرعه نماینده c است. در رابطهٔ (۹)، متغیر $PR_A_V^{a}_{n_1 n_2 vt}$ مربوط به مقدار تولید تخصیص‌یافته حاصل از کشت محصول اصلی n_1، محصول فرعی n_2، واریته v با به‌کارگیری فناوری آبیاری t در مزرعه a و $CropYeild^{c}_{n_1 n_2 vt}$ عملکرد در هکتار محصول اصلی n_1، محصول فرعی n_2، واریته v با به‌کارگیری فناوری آبیاری t در مزرعه نماینده c است.

در مجموعه روابط (۱۰) و (۱۱)، به تعمیم میزان سطح زیر کشت بهینه و میزان تولید مزارع نماینده به مزارع مورد مطالعه در بانک اطلاعات حدنگاری توجه شده است.

$$H_Fa_V^{f}_{n_1 n_2 vt} = \sum_{c=1}^{C} H_C_V^{c}_{n_1 n_2 vt} (H_Fa^{f} / HRHS^{c}) \quad \forall f, n_1, n_2, v, t \quad (۱۰)$$

$$PR_Fa_V^{f}_{n1n2vt} = \sum_{c=1}^{C} H_C_V^{c}_{n1n2vt} CropYeild^{c}_{n1n2vt} (H_Fa^{f} / HRHS^{c}) \quad \forall f, n_1, n_2, v, t \quad (۱۱)$$

در این روابط، $H_Fa_V^{f}_{n_1 n_2 vt}$ و H_Fa^{f}، به‌ترتیب، سطح زیر کشت بهینه و جاری و $PR_Fa_V^{f}_{n_1 n_2 vt}$ میزان تولید بهینه برای مزارع مورد مطالعه در بانک اطلاعاتی حدنگاری است.

اکنون، به ارائه مجموعه روابطی پرداخته می‌شود که به موازنه میزان تولید محصولات کشاورزی در سطوح مختلف تقسیمات سیاسی کشور با مزارع مورد مطالعه در بانک اطلاعاتی حدنگاری، مربوط است. بداین منظور، پنج سطح از d_0 تا d_4، به‌ترتیب، برای کشور، استان، شهرستان، بخش و دهستان مد نظر قرار گرفته است. روابط (۱۲) تا (۱۶)، به‌ترتیب، میزان تولید را از پایین‌ترین سطح تقسیمات تا سطح تولید کشوری هدایت می‌کنند (شکل ۲).

$$PR_d_4_V_{n1}^{d_1 d_2 d_3 d_4} = \sum_{n_2=1}^{N_2}\sum_{v=1}^{V}\sum_{t=1}^{T}\sum_{f=1}^{F} PR_Fa_V^{f}_{n1 n2 vt}$$

$$\forall d_1, d_2, d_3, d_4, n_1 \qquad (۱۲)$$

$$PR_d_3_V_{n_1}^{d_1 d_2 d_3} = \sum_{d_4=1}^{D_4} PR_d_4_V_{n_1}^{d_1 d_2 d_3 d_4} \qquad \forall d_1, d_2, d_3, n_1 \qquad (۱۳)$$

$$PR_d_2_V_{n_1}^{d_1 d_2} = \sum_{d_3=1}^{D_3} PR_d_3_V_{n_1}^{d_1 d_2 d_3} \qquad \forall d_1, d_2, n_1 \qquad (۱۴)$$

$$PR_d_1_V_{n_1}^{d_1} = \sum_{d_2=1}^{D_2} PR_d_2_V_{j1}^{d_1 d_2} \qquad \forall d_1, n_1 \qquad (۱۵)$$

$$PR_d_0_V_{n_1} = \sum_{d1=1}^{D1} PR_d_1_V_{n_1}^{d_1 d_2} \qquad \forall n_1 \qquad (۱۶)$$

در روابط بالا، نماد $PR_d__V_{n_1}^{d__}$ نشان‌دهندهٔ میزان تولید محصولات کشاورزی در سطوح مختلف تقسیمات سیاسی است.

اطلاعات اقتصادی مورد نیاز در مدل بهینه‌سازی مطالعهٔ حاضر به‌تفکیک محصولات (تمامی محصولات زراعی و باغی مورد کشت در محدوده مطالعاتی) بر اساس اطلاعات به‌دست‌آمده از پروژهٔ «قیمت و هزینه تولید محصولات زراعی و باغی» اخذ شد (Nikouei et al., 2017). اطلاعات مرتبط با میزان آب مصرفی شامل نیاز آبی، راندمان آبیاری (انتقال، توزیع و کاربرد) و مانند اینها نیز از بررسی منابع و مصارف آب در محدوده پروژه پایلوت الگوی کشت دهستان دشت، اخذ شد. علاوه بر این، سایر اطلاعات فنی نیز از سنتز و پردازش اطلاعات تناسب اراضی، حدنگاری یا شناسنامه بهره‌بردار و تعیین حدود بهره‌برداری‌ها (Nikouei et al., 2018) استخراج شد. اطلاعات راهبردی نیز با عنایت به بررسی‌های کارشناسی صورت‌گرفته و تکیه بر مطالعات اسنادی موجود، مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از این داده‌ها، به حل مدل بهینه‌سازی ارائه‌شده در مطالعهٔ حاضر مبادرت شد.

نظام پشتیبان تصمیم‌گیری در ارائه الگوی کشت منطقه مورد مطالعه شامل سه جزء اصلی با عناوین پایگاه داده، پایگاه مدل و بستر برنامه‌نویسی (پلتفرم نرم‌افزاری) است. به‌علت گستردگی داده‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه و همچنین، مدیریت هرچه بهتر داده‌های مدل، از پایگاه داده SQL-Server و محیط برنامه‌نویسی ویژوال بیسیک در چارچوب بسته نرم‌افزاری مایکروسافت اکسس استفاده شد. با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری‌شده در پایگاه داده، الگوریتم‌های لازم شامل محاسبات مربوط به وضعیت موجود (بحرانی)، الگوهای تک‌هدفه (پنج الگو منطبق با اهداف)، الگوی چندهدفهٔ فازی مصالحه‌ای مطالعهٔ حاضر و محاسبات لازم برای استنتاج نتایج جمع‌بندی‌شده در بسته نرم‌افزاری GAMS نوشته شد. سپس، با استفاده از گزینه حل حداکثرسازی تابع هدف به‌صورت برنامه‌ریزی غیرخطی و با فرض ثابت بودن فناوری تولید، قیمت نهاده‌ها، روابط نهاده- ستاده و موجودی منابع آب و خاک (شرایط ایستا) به شیوه حل CONOPT مستتر در بسته نرم‌افزاری یادشده و با یک مرتبه اجرای نهائی، نتایج مورد نظر به‌دست آمد و در پایگاه داده ها بارگذاری شد.

نتایج و بحث

با توجه به تعداد مجموعه‌ها، پارامترها، متغیرها و محدودیت‌ها در مدل ارائه‌شده، مشخص شد که این مدل شامل پنجاه مجموعه محدودیت بوده که منجر به ایجاد تعداد ۱۱۳۲۲۷۲ محدودیت منفرد شده است؛ تعداد متغیرهای منفرد ۱۲۹۳۲۹۶ عدد بوده که حاصل ۳۹ مجموعه متغیر است؛ و تعداد پارامترهای غیرصفر در این مدل نیز ۳۵۰۰۰۴۱ بوده که با توجه بدین حجم عظیم از اطلاعات، تعداد جداول ایجادشده در نرم‌افزارهای پایگاه داده بیش از هشت‌صد جدول برآورد شده است. همچنین، ۱۳۰ فرم پرس‌وجو[1] و هشتاد فرم نما[2] در نرم‌افزار Access و پایگاه دادهٔ SQL برای پردازش اطلاعات اولیه و گزارش‌گیری از نتایج نهایی ساخته و مورد استفاده قرار گرفته است.

مقادیر میانگین برخی از پارامترهای مورد استفاده در مطالعه حاضر به‌صورت بسیار خلاصه در جدول ۱ آمده است. میانگین هزینه تولید در واحد سطح (هکتار) برای منطقه مورد مطالعه ۴۲/۷۶ هزار ریال و میانگین سود خالص نیز حدود ۳۳ هزار ریال در هکتار است. گروه محصول غلات دارای سود خالص منفی به ازای کشت یک هکتار از این گروه محصول بوده و کشت این محصولات بیشتر به‌دلایل نیاز خودمصرفی و همچنین، ایجاد امنیت غذایی مورد توجه است. میانگین تولید در این استان ۶۳/۱۳ تن در هکتار و میانگین نیاز آبی ۶/۷۹ هزار مترمکعب در هکتار است.

جدول ۱- مقدار برخی از پارامترهای مهم مدل پیشنهادی برای هشت گروه اصلی محصولات به ازای یک هکتار

پارامتر	غلات	نباتات علوفه‌ای	جالیز	دانه‌های روغنی	سبزیجات	صنعتی-دارویی	حبوبات	باغی	میانگین
هزینه کل (هزار ریال)	۳۴/۶۷	۴۳/۴	۶۲/۲۱	۲۸/۹۹	۶۲/۳۳	۱۳/۰۵	۳۷/۷۸	۵۹/۶۳	۴۲/۷۶
سود ناخالص (هزار ریال)	۱/۷۴	۳۱/۷۱	۱۰/۹۳	۴۷/۱۷	۳۵/۸۱	۱۷/۸	۲/۹۹	۱۴۳/۱۳	۳۲/۹۹
تولید (تن)	۴/۳۷	۳۸/۰۴	۲۷/۷۴	۶/۱۳	۲۴/۶۱	۰/۸	۱/۶۲	۵/۷۳	۱۳/۶۳
نیاز آبی (هزار مترمکعب)	۵/۳۱	۱۰	۶	۶/۷۲	۶/۳۷	۵/۸۴	۵/۵۹	۸/۵۲	۶/۷۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

1. qquery
2. vieww

اکنون، به ارائه نتایج الگوی پیشنهادی پرداخته می‌شود و اهداف گوناگون اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به‌صورت مجزا و توأم مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به اهمیت هر کدام از اهداف، که توسط خبرگان حوزه کشاورزی، آب و محیط زیست و با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) جمع‌بندی شد، وزن‌های مورد نظر برای حل الگوی برنامه‌ریزی چندهدفه به‌منظور بیشنه‌سازی سود خالص، کمینه‌سازی مصرف آب آبیاری، بیشنه‌سازی استفاده از نیروی کار و کمینه‌سازی هزینه کود و سموم شیمیایی، به‌ترتیب، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۱ است.

جزئیات سطوح زیر کشت محصولات مورد بررسی بر اساس اهداف (الگوهای) مورد نظر و در سطح کل محدوده مطالعاتی و با جمع‌بندی روی فناوری آبیاری، واریته‌های محصولی و مدیریت تولید (نوع کشت)، در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس این جدول، در گروه غلات، محصول جو با سطح زیر کشت ۳۱۶۱ هکتار بیشترین سطح را در الگوی جاری به خود اختصاص داده و پس از آن، گندم در رتبه دوم قرار گرفته است که سطح زیرکشت آن بیش از ۱۵۱۴ هکتار را دربر می‌گیرد. به‌طور کلی، سطح زیر کشت غلات در الگوی جاری ۶۱۷۰ هکتار بوده که قسمت اعظم آن مربوط به دو محصول یادشده است. مجموع سطح زیر کشت در سایر الگوهای مورد بررسی (بهینه) کاهشی محسوس را در گروه غلات اعمال کرده، به‌گونه‌ای که در الگوی چندهدفه، این میزان با کاهش ۳۷ درصدی به ۳۸۶۷ هکتار رسیده است. همچنین، سطح زیر کشت گروه محصول جالیز تغییر قابل ملاحظه‌ای از الگوی جاری (۲۱۴ هکتار) به الگوی چندهدفه (۱۹۶ هکتار) را تجربه نمی‌کند. افزایش ۱۷۲ و ۹۶ درصدی سطح زیر کشت، به‌ترتیب، در الگوهای حداکثر منافع و حداکثر استفاده از نیروی کار (کارگر) حاکی از سود خالص بالا و همچنین، کاربر بودن گروه محصولات جالیز است. افزایش بسیار زیاد سطح زیر کشت گروه محصول سبزیجات در کلیه الگوهای بهینه نسبت به الگوی جاری نشان از مستعد بودن این گروه در توسعه سطح آن در محدودهٔ مطالعاتی دارد، به‌گونه‌ای که می‌توان سطح زیر کشت این گروه محصول را از یازده هکتار در الگوی جاری به ۱۶۲ هکتار در الگوی چندهدفه افزایش داد. در این میان، محصول گوجه‌فرنگی از توان بالاتری نسبت به

سایر محصولات این گروه برخوردار است. در گروه محصول نباتات علوفه‌ای، افزایشی هجده درصدی در سطح زیر کشت محصولات در الگوی چندهدفه مشاهده می‌شود. کاهش محسوس سطح زیر کشت دانه‌های روغنی از ۱۱۱ هکتار در الگوی جاری به چهار هکتار در الگوی چندهدفه نکته‌ای بسیار مهم است که باید مورد توجه مسئولان مربوط قرار گیرد. البته، افزایش بسیار زیاد سطح زیر کشت این محصول در الگوی کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی و سموم دفع آفات (۱۷۶۷ هکتار) مبین نیاز بسیار کم این گروه محصول بداین دو نهاده است. افزایش سطح زیر کشت گروه محصول گیاهان صنعتی- دارویی (پنبه) در الگوی چندهدفه به مقدار ۵۵ هکتار مبین وجود توان بالقوه در زمینهٔ کشت چنین محصولاتی در منطقه مورد مطالعه است. در گروه محصول باغی، به‌جز محصول پسته، در سایر محصولات این گروه تفاوت سطح زیر کشت قابل توجهی در الگوی چندهدفه وجود ندارد؛ دلیل عدم تغییر سطح زیر کشت باغ‌ها در نظر گرفتن محدودیت حداقل سطح زیر کشت معادل سطح گذشتهٔ آنها بوده است.

جدول ۲- مقایسه سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی برای الگوهای مورد بررسی در محدوده مطالعاتی (واحد: هکتار)

محصول	الگوهای مورد بررسی					
	جاری	بیشینه‌سازی منافع اقتصادی	کمینه‌سازی مصرف آب	بیشینه‌سازی استخدام نیروی کار	کمینه‌سازی هزینه کود شیمیایی و سموم	چند هدفه
غلات						
گندم	۱۵۱۴/۴۳۲	۱۱۰۴/۴۱	۹۲۰/۸۱	۱۰۵۳/۶۴	۸۵۸/۶	۹۲۰/۳۹
جو	۳۱۶۱/۳۱	۲۰۰۵/۴۱	۱۹۵۵/۲۲	۲۱۵۲/۷۲	۱۹۰۴/۶۸	۱۹۵۲/۲۵
ارزن	۶۷۳/۰۵	۲۸۷/۸۵	۲۷۳/۶۴	۴۲۵/۶۶	۲۷۹/۸۴	۲۷۶/۳۵
ذرت دانه‌ای	۸۲۱/۸	۱۴۵۳/۸۵	۶۱۶/۳۱	۵۶۹/۳	۶۶۸/۸۴	۷۱۸/۱۶
سورگوم دانه‌ای	۰	۰	۰	۴۹۸,۷۵	۰	۰
جمع غلات	۶۱۷۰/۴۸	۴۸۵۱/۵۲	۳۷۶۵/۹۸	۴۷۰۰/۰۷	۳۷۱۱/۹۶	۳۸۶۷/۱۵
جالیز						
هندوانه	۱۰	۱/۰۴	./۹۴	./۹۴	./۹۴	./۹۴
خربزه	۳۹/۴	./۹۸	./۵۸	۳/۱۱	۲۳/۶۷	۱۴۱/۰۹
طالبی	۱۶۴/۵۵	۵۳۶/۰۷	۱۵۵/۶۲	۳۶۳/۰۹	۴/۴۴	۴/۴۴
خیار	۰	۴۴/۲۹	۴۹/۳۹	۵۲/۸۳	۰	۴۹/۳۹
جمع جالیز	۲۱۳/۶۵	۵۸۲/۳۸	۲۰۶/۵۳	۴۱۹/۹۷	۲۹/۰۵	۱۹۵/۸۶

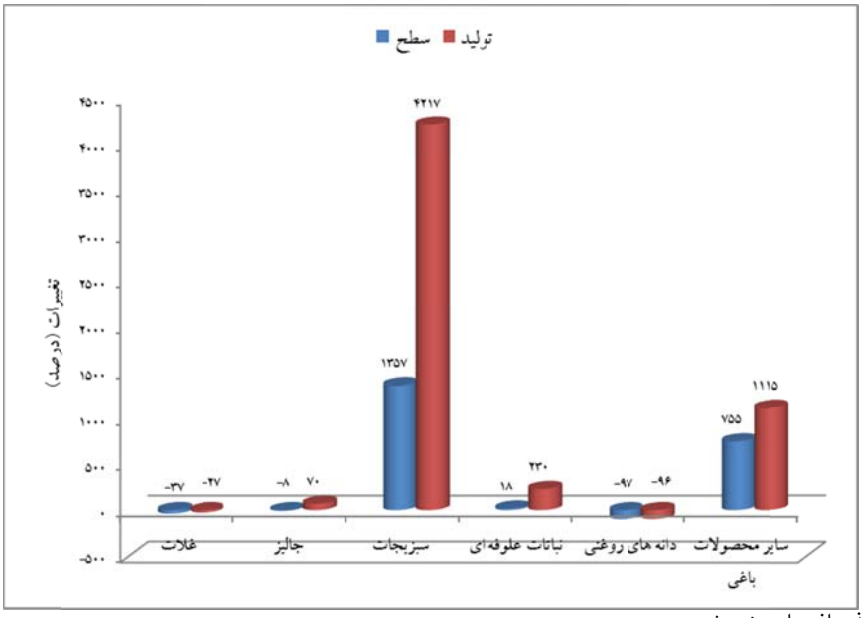
محصول	الگوهای مورد بررسی					
	جاری	بیشینه‌سازی منافع اقتصادی	کمینه‌سازی مصرف آب	بیشینه‌سازی استخدام نیروی کار	کمینه‌سازی هزینه کود شیمیایی و سموم	چند هدفه
سبزیجات						
گوجه فرنگی	۰/۳	۱۰۲/۲	۱۰۶/۷۵	۱۱۶/۴۳	۱۰۳/۴۶	۱۰۶/۴۹
بادمجان	۰/۵	۰/۴۴	۱,۵۲	۴۲۲۶/۹۱	۳/۷۱	/۲
پیاز	۱۰/۳	۵۰/۰۳	۸۰/۰۶	۸۶/۷۱	۰,۱۶	۵۵/۰۳
جمع سبزیجات	۱۱/۱	۱۵۲/۱۶۷	۱۸۸/۳۳	۴۴۳۰/۰۵	۱۰۷/۳۳	۱۶۱/۷۲
نباتات علوفه‌ای						
سورگوم علوفه‌ای	۰	۲۷/۴۸	۰	۰	۰	۳۰۷/۸۷
ذرت علوفه‌ای	۰	۴۳/۸۹	۴۴/۷۵	۴۷/۷۷	۴۴/۳۵	۴۶/۹۷
یونجه	۴۵۹/۲	۲۸۱۲/۰۳	۴۱۵/۴۳	۱۳۳/۱۵	۱۲۳/۳۷	۱۸۶/۷۶
جمع نباتات علوفه‌ای	۴۵۹/۲	۲۸۸۳/۴	۴۶۰/۱۸	۱۸۰/۹۲	۱۶۷/۷۲	۵۴۱/۶
دانه‌های روغنی						
آفتابگردان	۶۳/۲	۱۲/۳	۱۱/۰۷	۳/۳	۹/۲۵	۲/۷۶
گلرنگ	۰	۲۵/۹۳	۰	۳۷۰,۵۲	۰	۰
کلزا	۰	۰	۰	۱۲۵/۷۶	۲۰۷/۶۱	۰
منداب	۴۸	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۶۲	۱۵۵۰/۳۱	۰/۹۲
جمع دانه‌های روغنی	۱۱۱/۲	۲۹/۹۷	۱۱/۱۹۹	۵۰۰/۵	۱۷۶۷,۱۷	۳/۶۸
گیاهان صنعتی-داروئی						
پنبه	۰	۰	۰/۰۳	۸/۲	۰/۰۲	۵۵/۳۱
جمع گیاهان صنعتی-داروئی	۰	۰	۰/۰۳	۸/۲	۰/۰۲	۵۵/۳۱
میوه‌های دانه‌دار						
انار	۱۱۲۶/۴۷	۱۱۲۶/۵۲	۱۱۲۶/۴۶	۱۱۲۶/۴۶	۴۸۱۱۲۶	۱۱۲۶/۴۶
انگور	۲۴/۰۵	۲۴/۲۵	۲۴/۰۵	۲۴/۰۵	۲۴/۲۴	۲۵/۹۹
جمع میوه‌های دانه دار	۱۱۵۰/۵۲	۱۱۵۰/۷۷	۱۱۵۰/۵۱	۱۱۵۰/۵۱	۱۱۵۰/۷۲	۱۱۵۲/۴۵
سایر محصولات باغی						
پسته	۲۶/۳	۲۲۴/۹۷	۲۲۴/۹۸	۲۸/۹۹	۱۳۴/۴۴	۲۲۴/۹۷
جمع سایر محصولات باغی	۲۶/۳	۲۲۴/۹۷	۲۲۴/۹۸	۲۸/۹۹	۱۳۴/۴۴	۲۲۴/۹۷
جمع کل	**۸۱۴۲/۸۵**	**۹۸۷۵/۶۸**	**۶۰۰۸/۵۳**	**۱۱۴۱۹/۲۱**	**۷۰۶۸/۴۱**	**۶۲۰۲/۷۴**

مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۵ میزان تولید گروه محصولات کشاورزی مورد مطالعه را در الگوهای جاری و چندهدفه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که به تبع کاهش سطح زیر کشت گروه محصول غلات، در الگوهای بهینه مورد بررسی، میزان تولید این گروه محصول نیز کاهش یافته است. مقایسه نسبت کاهش سطح زیرکشت و تولید محصولات نشان می‌دهد که با وجود کاهش ۳۷ درصدی در سطح گروه غلات، میزان تولید این گروه تنها ۲۷ درصد کم شده است، که علت آن را می‌توان در توجه به نوع واریته محصولی (رقم) و مدیریت تولید هر محصول و تناسب اراضی برای تولید آن در واحدهای مطالعاتی خاک در الگوی بهینه‌یابی مطالعهٔ حاضر دانست، به‌گونه‌ای که سطح زیرکشت هر محصول در الگوی جاری برای ارقام و واحدهای خاکی دارای تناسب کمتر، کاهش می‌یابد و به‌صورت بهینه، به سطح ارقام متناسب در یک واحد مطالعاتی خاک، اضافه می‌شودد. شایان ذکر است که در اکثر مطالعات صورت‌گرفته با زمینه بهینه‌سازی الگوی کشت در استان اصفهان (مانند: Mardani et al., 2018; Mardani Najafabadi et al., 2019; Vafaeinejad, 2016)، سطح زیر کشت گروه محصول غلات کاهش داشته است. در گروه محصولات جالیزی نیز علی‌رغم کاهش اندک در سطح زیر کشت الگوی چندهدفه (هشت درصد در شکل ۵)، میزان تولید به‌طور محسوس افزایش یافته است (هفتاد درصد)، که علت آن نیز علاوه بر توجه به واریته محصولی (ارقام)، مدیریت تولید و تناسب اراضی در الگوی چندهدفه، انتقال سطح زیر کشت از محصول طالبی به محصول خربزه بوده که دارای عملکرد در هکتار بالاتری نسبت به طالبی است، به‌گونه‌ای که میزان تولید محصول خربزه از ۱۵۴۸ به ۶۰۱۲ تن افزایش یافته است. همچنین، در گروه محصول سبزیجات، هرچند به سبب افزایش سطح زیر کشت زیاد (سیزده برابر وضع موجود) در الگوی چندهدفه، میزان تولید نیز به‌گونه‌ای چشمگیر (۴۲ برابر وضع موجود) افزایش یافته و میزان تولید از ۲۷۳ تن در الگوی جاری به ۱۱۸۰۴ تن در الگوی چندهدفه رسیده است، ولی نسبت افزایش تولید در مقابل سطح بسیار بیشتر بوده است، که دلیل آن را نیز می‌توان در توجه به تناسب اراضی محصولات در الگوی چندهدفه دانست. قسمت اعظم این افزایش میزان تولید در گروه سبزیجات مربوط به دو محصول گوجه‌فرنگی و پیاز است. در گروه محصول نباتات علوفه‌ای، جایگزینی سطح زیر کشت دو محصول ذرت و

سورگوم علوفه‌ای به‌جای محصول یونجه موجب افزایش قابل توجه میزان تولید این گروه محصول در الگوی چندهدفه شده است (افزایش میزان تولید از ۱۴۰۸۸ تن در الگوی جاری به ۴۶۴۲۴ تن در الگوی چندهدفه). این افزایش ۲۳۰ درصدی در حالی به‌وقوع پیوسته که سطح زیر کشت این گروه محصول در الگوی چندهدفه نسبت به الگوی جاری تنها هجده درصد اضافه شده است. میزان تولید گروه محصول دانه‌های روغنی نیز به سبب کاهش سطح زیر کشت، کاهش یافته و از ۳۶۱ تن در الگوی جاری به پانزده تن درالگوی چندهدفه نزول یافته است. افزایش قابل توجه میزان تولید در گروه محصول باغی تنها در محصول پسته اتفاق افتاده و از ۵۷ تن در الگوی جاری به ۶۸۹ تن در الگوی چندهدفه (حدود یازده برابر) رسیده است. افزایش سطح زیر کشت در گروه اصلی سبزیجات و باغی در مطالعه مردانی و همکاران (Mardani et al, 2016) برای استان اصفهان نیز تأیید شده است.

به‌منظور برنامه‌ریزی منسجم در امور تخصیص آب آبیاری، جدول ۳ برنامه‌ریزی آبیاری الگوهای مورد بررسی در میان مزارع نماینده محدودهٔ مطالعاتی را گزارش می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در سه ماه تیر، مرداد و شهریور، بیشترین میزان مصرف آب آبیاری در الگوی جاری رخ داده و این مهم در الگوی چندهدفه نیز با مقادیر کمتر از الگوی جاری برنامه‌ریزی شده است؛ به‌گونه‌ای که میزان مصرف آب آبیاری در تیر ماه از ۸۴۵۰ هزار مترمکعب برای الگوی جاری به ۴۶۱۶ هزار مترمکعب برای الگوی چندهدفه تنزل کرده‌است (کاهش ۸۳ درصدی). میزان مصرف آب در دی ماه برای کلیه الگوها صفر و کمترین میزان مصرف پس از این ماه مربوط به بهمن است. در مجموع، میزان مصرف آب آبیاری از ۶۰۵۶۵ هزار مترمکعب در الگوی جاری به ۲۹۵۷۷ هزار مترمکعب در الگوی چندهدفه تقلیل یافته است (کاهش ۵۱ درصدی). بررسی جدول برنامه‌ریزی آبیاری نشان می‌دهد که در کلیه ماه‌ها، میزان مصرف آب در الگوی جاری از دو الگوی چندهدفه و کمینه‌سازی مصرف آب بیشتر است. بدین ترتیب، یکی از اهداف مطالعهٔ حاضر مبنی بر کمینه‌سازی مصرف آب در برنامه تدوین‌شده در الگوی چندهدفه تحقق یافته است.



مأخذ: یافته‌های پژوهش

شکل ۵- مقایسه درصد تغییرات سطح زیر کشت و تولید در الگوهای جاری و چندهدفه به‌تفکیک گروه محصول

جدول ۳- برنامه‌ریزی آبیاری الگوهای مورد بررسی در محدوده مورد مطالعه

(واحد: هزار مترمکعب)

ماه	جاری	بیشینه‌سازی منافع اقتصادی	کمینه‌سازی مصرف آب	بیشینه‌سازی استخدام نیروی کار	کمینه‌سازی هزینه کود شیمیایی و سموم	چند هدفه
فروردین	۵۴۳۰/۶۸	۴۴۳۰/۳۵	۲۶۸۴/۲۹	۲۹۳۰/۱۵	۵۱۰۲/۲۹	۲۵۲۱/۰۱
اردیبهشت	۱۲۷۲۵/۷۸	۹۹۲۲/۶۹	۶۳۷۴	۹۵۵۵/۸۴	۱۱۱۹۹/۵۶	۶۱۵۳/۷۳
خرداد	۱۶۳۵۹/۱۶	۱۱۹۵۶/۸۷	۵۷۰۳/۸۷	۱۰۴۵۲/۶۹	۱۳۹۳۱/۳۲	۵۷۸۱/۳۸
تیر	۸۴۴۹/۸۲	۱۰۸۵۰/۹۹	۴۲۹۰/۳۳	۱۲۲۲۰/۴۰	۶۷۳۵/۹۲	۴۶۱۶/۲۰
مرداد	۷۶۳۶/۸۱	۱۰۳۱۷,۹۳	۴۳۳۲/۱۳	۱۱۱۲۴/۷۸	۵۴۹۷/۰۹	۴۵۲۶/۷۶
شهریور	۵۶۱۵/۷۸	۵۳۸۸/۳۲	۲۹۷۶/۶۹	۹۰۰۲/۸۸	۴۵۷۹/۵۱	۳۴۹۳/۰۵
مهر	۲۴۳۸/۲۴	۴۳۹۹,۴۸	۱۴۸۱,۲۶	۳۹۱۵,۴۸	۲۴۶۱/۲۰	۱۵۱۶/۶۳
آبان	۱۱۱۲/۶۸	۲۰۳۰/۲۵	۷۸۳/۵۵	۷۷۱/۷۳	۱۰۴۸/۶۳	۶۵۵/۲۴
آذر	۲۶/۹۳	۱۵/۹۹	۱۳/۶۲	۲۰/۸۶	۸۶/۷۴	۱۲/۸۹
دی	۰	۰	۰	۰	۰	۰
بهمن	۴۰/۰۹	۲۴/۰۲	۱۷/۷۸	۳۸/۴۰	۳۷۰/۹۸	۱۶/۵۴
اسفند	۷۲۹/۴۵	۱۱۲۶/۶۴	۳۶۱/۶۰	۳۳۵/۳۵	۱۲۱۵/۷۶	۲۸۳/۴۷
جمع	۶۰۵۶۵/۴۲	۶۰۴۶۳/۵۲	۲۹۰۱۹/۱۳	۶۰۳۶۸/۵۶	۵۲۲۸/۹۸	۲۹۵۷۶/۸۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه، نتیجه حاصل از تأثیر کاربرد سطوح زیر کشت در هر کدام از الگوهای مورد بررسی، بر سود خالص تولیدات محصولات زراعی و باغی در سطح کل محدوده مطالعاتی و با جمع‌بندی روی فناوری آبیاری و واریته‌های تولید محصولات، در جدول ۴ ارائه شده است. از نکات بارز موجود که با وجود رعایت اختصار، در این جدول ارائه و بررسی شده، توصیه اکثر الگوها به تغییر فناوری آبیاری از روش‌های سنتی (ثقلی) به روش‌های نوین (تحت فشاری بارانی و موضعی تیپ یا قطره‌ای) است. تغییر واریته‌های محصولات نیز از موارد قابل تأمل در این جدول به‌شمار می‌رود. برای نمونه، در گروه غلات، کشت گندم و جو در الگوی جاری عمدتاً بر پایه ارقام (واریته‌های) نرمال بوده است، در حالی که در الگوهای برنامه‌ریزی جدید پیشنهادی، علاوه بر این گروه ارقام، کشت گروه ارقام متحمل به خشکی و شوری نیز توصیه شده است؛ و یا در کشت ذرت دانه ای الگوی جاری، بیشتر به کشت ارقام میان‌رس توجه شده است، در حالی که الگوهای جدید پیشنهادی کشت ارقام دیررس را نیز توصیه کرده‌اند. بر اساس این تغییرات و همچنین، تغییر در ترکیب کشت محصولات، در گروه اصلی غلات، سود خالص از ۱۲۵ هزار میلیون ریال در الگوی جاری به ۸۷ هزار میلیون ریال در الگوی چندهدفه کاهش یافته، که این خود مربوط به کاهش سطح زیر کشت این گروه از محصولات کشاورزی است. همچنین، در گروه محصول جالیز، میزان سود خالص از ۸۴۹ میلیون ریال در الگوی جاری به حدود ۱۳ هزار میلیون ریال در الگوی چندهدفه افزایش یافته است، که نشان از توان بالای این‌گونه محصولات در ایجاد سود مناسب برای کشاورزان محدوده مطالعاتی دارد. افزایش سود خالص در گروه محصول سبزیجات از ۲۱۶ میلیون ریال به بیش از ۲۲ هزار میلیون ریال، به‌ترتیب، برای الگوهای جاری و چندهدفه نیز از موارد قابل تأمل به‌شمار می‌رود. دو گروه محصول دانه‌های روغنی و نباتات علوفه‌ای با کاهش سود خالص و گروه محصول باغی با افزایش این پارامتر روبه‌رو بوده و میزان افزایش گروه محصول باغی (مجموع میوه‌های دانه‌دار و سایر محصولات باغی) از مقدار ۴۵ هزار میلیون ریال در الگوی جاری به ۶۵ هزار میلیون ریال در الگوی چندهدفه است. مقایسه مجموع سود خالص حاصل از الگوهای جدید

مورد بررسی با الگوی جاری در جدول ۴ نشان می‌دهد که سود خالص کلیه الگوهای جدید از الگوی جاری بیشتر است، تا حدی که در الگوی بیشینه‌سازی منافع اقتصادی، این سود تا بیش از سه برابر الگوی جاری نیز می‌رسد. در الگوی چندهدفه که تأمین‌کننده حداکثر مصالحهٔ بین اهداف مطالعهٔ حاضر است، سود خالص از الگوی جاری کمتر نخواهد شد. بنابراین، یکی دیگر از اهداف الگوهای مورد بررسی مبنی بر بیشینه‌سازی منافع خالص در چارچوب قیود حاکم بر مدل نیز تأمین خواهد شد. شایان ذکر است که میزان سود در الگوی چندهدفه بسیار به الگوی کمینه‌سازی مصرف آب نزدیک بوده، که علت آن نزدیک بودن سطح زیر کشت بهینه در این دو الگو است. این نتیجه با توجه به وزن‌های انتخاب‌شده برای هر کدام از این اهداف منطقی به‌نظر می‌رسد.

جدول ۴- مقایسه منافع خالص الگوهای مورد بررسی در محدوده مطالعاتی (واحد: میلیون ریال)

گروه محصول	جاری	بیشینه‌سازی منافع اقتصادی	کمینه‌سازی مصرف آب	بیشینه‌سازی استخدام نیروی کار	کمینه‌سازی هزینه کود شیمیایی و سموم	چند هدفه
غلات	۱۲۵۱۹۰	۱۳۰۰۰۰	۷۳۷۴۷	۶۱۶۳۳	۱۰۶۸۹۹	۸۷۰۷۸
جالیز	۸۴۹	۵۲۶۳۶	۱۵۳۲۳	۲۵۵۹۱	۲۴۹۰	۱۲۹۵۴
سبزیجات	۲۱۶	۲۲۸۶۸	۱۹۴۹۹	۱۴۰۳۳۸	۱۱۱۶۷	۲۲۱۴۵
نباتات علوفه‌ای	۷۲۲۸۰	۵۰۷۵۸۳	۷۶۱۲۱	۱۲۳۷۹	۱۱۴۷۴	۶۲۷۱۳
دانه‌های روغنی	۲۶۵۳	۶۰۳	۲۹	۸۳۲۹	۵۹۹۱۹	۹۵
میوه‌های دانه‌دار	۴۳۶۴۲	۴۰۲۷۱	۴۰۲۱۳	۴۰۳۴۵	۴۶۰۱۷	۴۰۲۱۳
سایر محصولات باغی	۱۰۱۰	۲۴۳۷۷	۲۴۳۷۷	۱۸۴۷	۱۱۰۴۰	۲۴۳۷۷
جمع	۲۴۵۸۴۰	۷۷۸۳۳۸	۲۴۹۳۰۹	۲۹۰۴۶۲	۲۴۹۰۰۶	۲۴۹۵۷۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نمونه خروجی سامانه پشتیبان تصمیم برای الگوی کشت پیشنهادی به یک واحد بهره‌برداری بر اساس روش یاد شده در بخش مواد و روش‌ها برای الگوی چندهدفه و واسنجی

صورت‌گرفته در قالب کارگاه‌های مشورتی با کارشناسان کشاورزی محلی و مدیران مزارع نماینده، در شکل ۶ ارایه شده است. قسمت اصلی و اساسی که تفاوت آشکار مطالعهٔ حاضر با سایر مطالعات مشابه را رقم می‌زند، در این شکل به نمایش گذاشته شده است. ملاحظه می‌شود که الگوی بهینه کشت یک بهره‌بردار با جزییات کامل که نتیجه استفاده از حدنگاری در این الگو است، با ارائه واریته، نوع کشت و روش آبیاری مناسب مشخص شده است. در این الگو، با وجودی که سطح زیر کشت محصولات در مزرعه مورد نظر حدود هفده درصد (از شصت هکتار به پنجاه هکتار) کاهش یافته، ولی سود خالص و مصرف آب، به‌ترتیب، ۴۳ و شانزده درصد افزایش و کاهش داشته است؛ و در عین حال، با عنایت به ارتباط این الگو با الگوی کشت ساختاری بالادستی، ریسک درآمدی فروش محصولات نیز حداقل خواهد بود. بر همین اساس، نگاه بهره‌بردار مزرعه بدین الگو مثبت بود[1]. در میان تمام اطلاعاتی که از این گزارش حاصل می‌شود، مهم‌ترین جزء را می‌توان به آخرین ردیف شامل حد مجاز بهره‌برداری از منابع آب نسبت داد. این اطلاعات یک نوع زمان‌بندی آبیاری را برای هر بهره‌بردار در هر ماه مشخص می‌کند. به دیگر سخن، هر بهره‌بردار به‌طور مشخص می‌تواند از میزان آبی که برای الگوی بهینه وی طراحی شده، استفاده کند و تخطی از آن موجب به‌هم‌ریختگی در نظام کشت وی خواهد شد.

۱- البته در مرحلهٔ واسنجی نتایج، بهره‌بردارانی نیز بودند که به نتایج به‌دست‌آمدهٔ مرتبط با مزرعه خود انتقاداتی به‌جا داشتند که پس از بررسی کارشناسی، نکات مورد نظر آنها در سامانه لحاظ شد و در نهایت، الگوی پیشنهادی برای مزرعه آنها به نقطه نظرات آنها نزدیک شد.

محدوده مطالعاتی: پایلوت: دهستان دشت، شهرستان شهرضا- (۱۰۱-۱) شرح تقسیمات آبی: حوضه مرکزی- حوضه گاو خونی- مهیار شمالی- (۴۲-۸) واحد: هکتار

مشخصات بهره بردار

نام: [redacted] کد ملی: [redacted] تلفن: [redacted]

استان: اصفهان شهرستان: اصفهان بخش: مرکزی دهستان:

سناریوی آبی: خشک سالی

مشخصات منابع آب بهره بردار

نوع منبع	کد منبع	دوره آب (روز)	سهم دوره آب(ساعت)	دبی آب lit/s		EC (ds/m)	شاهد UTM	
				پروانه	اصلاح شده		X	Y
کانال درجه 2	P۵G۱	۱	۲۴		۰.۰		۵۷۲۳۲۹	۳۵۷۸۰۳۲
چاه عمیق	W۴۲۰۸۰۰۲۹۶	۱	۲۴	۳۶	۲۴.۸	۳.۳۳	۵۷۲۸۹۰	۳۵۷۶۸۶۵

مشخصات مزرعه

استان: اصفهان شهرستان: شهرضا بخش: مرکزی دهستان: دشت (مهیار)

آبادی: صحرای امیریه واحد نمونه: بزرگتر یا مساوی ۳۵ هکتار-اختصاصی-۴۲۰۸۱۰۰۷۹۲ کد مزرعه: ۱۰۰۹۰۲۰۰۰۲۱۳۹۸۱

مساحت زمین زراعی و باغی: ۵۰ متوسط دبی آب(Lit/S) : ۲۴.۸

محصول	نوع کشت	روش آبیاری	الگوهای مورد بررسی	
			برنامه جاری	برنامه ریزی چند هدفه
غلات				
گندم آبی پائیزه (ارقام متحمل به شوری)	تاریخ کاشت مناسب	ثقلی	۰.۰	۰.۸
جو آبی پائیزه (ارقام نرمال)	تاریخ کاشت مناسب	ثقلی	۴۵.۰	۰.۰
جو آبی پائیزه (ارقام متحمل به شوری)	تاریخ کاشت مناسب	ثقلی	۰.۰	۱۹.۴
ارزن آبی بهاره (ارقام نرمال)	تاریخ کاشت مناسب	ثقلی	۱۵.۰	۳.۲
ذرت دانه ای دیر رس	تاریخ کاشت مناسب	تحت فشار موضعی(تیپ)	۰.۰	۵.۸
سورگوم دانه ای آبی (کشت اول)	تاریخ کاشت مناسب	تحت فشار موضعی(تیپ)	۰.۰	۳.۰
نباتات علوفه ای				
سورگوم آبی علوفه ای بهاره(کشت اول)	تاریخ کاشت مناسب	ثقلی	۰.۰	۲.۳
دانه های روغنی				
کلزا رنگ آبی بهاره	تاریخ کاشت مناسب	ثقلی	۰.۰	۱۵.۸
جمع:			۶۰.۰	۵۰.۳
مجموع هزینه های استهلاک سرمایه (میلیون ریال):			۰	۱۵۳
مجموع هزینه های جاری(میلیون ریال):			۷۵۱	۶۹۱
مجموع سود ناخالص(میلیون ریال):			۲،۰۳۲	۲،۶۷۸
مجموع سود خالص(میلیون ریال):			۱،۲۸۱	۱،۸۳۴
مجموع آب مصرفی(m۳):			۳۵۲،۸۹۰	۳۰۲،۱۶۳

برنامه ریزی آبیاری در الگوی برنامه ریزی چند هدفه

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
نیاز آبی ماهانه (m۳)	۲۵،۸۷۹	۵۶،۹۰۱	۸۶،۷۱۸	۶۳،۲۹۸	۲۹،۶۹۴	۲۵،۶۵۶	۹،۱۰۰	۲،۳۸۴	۱۶	۰	۲۱	۲،۲۹۸
حد مجاز بهره برداری(ساعت)	۲۸۹	۶۳۶	۹۷۰	۷۰۹	۳۳۲	۲۸۷	۱۰۲	۲۷	۰	۰	۰	۲۷

*حد مجاز بهره برداری بر اساس مجموع دبی منابع آب در اختیار مزرعه در ماه محاسبه شده است

شکل ۶- نمونه الگوی کشت پیشنهادی به یک واحد بهره‌برداری در محدوده مورد مطالعه

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تصمیم‌گیری برای تخصیص منابع تولید کشاورزی به‌منظور نیل به توازن عرضه و تقاضای محصولات کشاورزی شرط لازم برای برنامه‌ریزی منطقه‌ای و در نتیجه، استفادهٔ بهینه از ظرفیت‌های تولید منطقه‌ای است. در مطالعهٔ حاضر، از اطلاعات حدنگاری واحدهای

بهره‌برداری کشاورزی برای تعیین الگوی بهینهٔ کشت آنها در شهرستان شهرضای استان اصفهان با بهره‌گیری از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه شامل اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، میزان تولید محصولات کشاورزی الزاماً مطابق کاهش یا افزایش سطح زیر کشت تغییر نیافته است. برای نمونه، در گروه محصول جالیز، علی‌رغم تغییرات اندک در سطح زیر کشت، میزان تولید در الگوی چندهدفه به‌شدت افزایش یافته است. با بررسی دلایل این موضوع، می‌توان نتیجه گرفت که کاربرد اطلاعات حدنگاری به‌همراه استفاده از اطلاعات تناسب اراضی محصولات در مدل برنامه‌ریزی مطالعهٔ حاضر به کاهش سطح زیر کشت برخی از محصولات در واحدهای بهره‌برداری با تناسب اراضی کمتر برای کشت آنها و افزایش آن در سایر واحدها با تناسب اراضی بیشتر انجامیده، که این تغییرات، توأم با پیشنهاد برای تغییر نوع واریته، نوع (مدیریت) کشت و شیوه آبیاری محصول بوده است. پیامد مثبت مجموعه این تغییرات در راستای بهینه‌سازی الگوی کشت هر واحد بهره‌برداری که نمونه‌ای از آن در مطالعهٔ حاضر ارائه شده، این است که با وجود کاهش سطح زیر کشت محصولات در برخی از مزارع مورد نظر، سود خالص و مصرف آب، به‌ترتیب، افزایش و کاهش داشته است؛ و در عین حال، با عنایت به ارتباط این الگو با الگوی کشت ساختاری بالادستی، ریسک درآمدی فروش محصولات تولیدی نیز حداقل خواهد بود. بر همین اساس و با لحاظ نقطه نظرات منطقی و کارشناسی نمایندگان مزارع نمونه در مرحله واسنجی نتایج الگو واعمال آنها، الگوی عملیاتی نهایی به‌دست‌آمده برای بهره برداران منطقه قابل پذیرش بود.

از جمع‌بندی نتایج در سطح کلان محدوده مطالعاتی نتیجه‌گیری می‌شود که میزان مصرف آب آبیاری با تغییر الگوی کشت جاری به الگوی چندهدفه پیشنهادی، با لحاظ کردن وزن اهداف تعیین‌شده توسط خبرگان حوزه آب، کشاورزی و محیط زیست، بدون کاهشی در منافع خالص بهره‌برداران، کاهشی قابل ملاحظه یافته است، که به پایداری تولید محصولات کشاورزی بسیار کمک خواهد کرد. این تغییر الزاماً به معنی تغییر الگو به سمت محصولات با

مصرف آب کمتر نبوده[1] و این کار از طریق بهینه‌سازی سطح، نوع واریته (رقم)، روش (مدیریت) تولید و روش آبیاری محصولات انجام شده است. از آنجا که به‌طور معمول، کشاورزان تمایلی به کاهش مصرف آب نشان نمی‌دهند، اتخاذ سیاست‌هایی در راستای دستیابی بدین هدف، از جمله سیاست‌های کاهش آب در دسترس (مانند نصب کنتور هوشمند و حذف چاه‌های غیرمجاز) توصیه می‌شود. برخی از مطالعات در زمینهٔ تدوین الگوی کشت در محدوده مطالعاتی اصفهان (Mardani et al., 2016; Mardani Najafabadi et al., 2019; Mousavi and Akbari, 2014) به نصب کنتور هوشمند برای بهره‌برداری از چاه‌های موجود در مناطق مورد مطالعه اشاره کرده‌اند؛ اما در هیچ‌کدام از این مطالعات، به چگونگی انجام آن اشاره نشده است. پاسخ عملیاتی برای انجام چنین پیشنهادی دقیقاً در بخش پایانی الگوی کشت پیشنهادی به یک واحد بهره‌برداری (حد مجاز بهره‌برداری) در مطالعهٔ حاضر مشاهده می‌شود (شکل ۶). علاوه بر این، تنظیم برنامه‌ریزی آبیاری محدوده مطالعاتی به‌تفکیک ماه در سطوح مختلف اعم از واحد خاک، واحد هیدرولوژیکی، شهرستان، دهستان و به‌ویژه در سطح مزرعه، از خصوصیات بارز دیگر مدل معرفی‌شده در مطالعهٔ حاضر است. در این راستا، تهیه و تدوین قوانین و بخشنامه‌های مربوط به اجرای این برنامه، بر عهده برنامه‌ریزان راهبردی و ایجاد زیرساخت‌های مناسب و همچنین، اجرای این قوانین، به عهده برنامه‌ریزان عملیاتی است. با این همه، این اجبار به شرطی با آثار منفی اجتماعی همراه نخواهد بود که بر موازنه تولید و تقاضا و منافع کشاورزان منطقه تأثیر منفی نداشته باشد و با محدودسازی برداشت آب، قدم اول در اصلاح الگو برداشته شود. در این راستا، هرچند، افزایش پنج میلیارد ریالی منافع کشاورزان (سود خالص) در الگوی چندهدفه در وهله اول قابل ملاحظه نیست، اما هنگامی که به کاهش ۳۱ درصدی سطح زیر کشت کل در این الگو توجه شود، افزایش بهره‌وری استفاده از زمین

۱- افزایش در میزان تولید محصولات با مصرف آب کمتر باعث کاهش قیمت آنها می‌شود و کاهش میزان تولید محصولات با مصرف آب بیشتر نیز افزایش قیمت این محصولات را به‌همراه دارد که در نهایت، کشاورزان را به سمت محصولات آب‌بر سوق می‌دهد.

نمایان خواهد شد، بدین معنی که میزان سود خالص در هکتار در الگوی چندهدفه بیش از سی درصد افزایش یافته است.

به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که ساختار نظام پشتیبان تصمیم مطالعهٔ حاضر قادر به تعمیم نتایج در سطح واحد بهره‌برداری بوده و برای اجرای هرچه بهتر این الگو ضروری است. ارائه نتایج در سطح عملیاتی منجر به ساده‌تر شدن برنامه‌ریزی بخش‌های مختلف درگیر در الگوی کشت و پذیرش آن توسط کشاورزان می‌شود. ارتباط نتایج این الگو با برنامه‌های ساختاری سطوح بالاتر تدوین الگوی کشت در سطح شهرستان و استان (یا واحد آبی) و راهبردی ملی با امکان ایجاد مصالحه بین اهداف متفاوت و گاه متضاد، پیوست آن با اسناد بالادستی و پذیرش سیاسی- سیاستی را نیز به‌همراه خواهد داشت. از این‌رو، بهره‌گیری از این سامانه برای سایر مناطق کشور به‌منظور تحقق اهداف قانون ارتقای بهره‌وری بخش کشاورزی و کمک به تصمیم‌گیری منطقی حائز اهمیت است.

منابع

1. Bartolini, F., Bazzani, G.M., Gallerani, V., Raggi, M. and Viaggi, D. (2007). The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: an analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agricultural System*, 93: 90-114.
2. Bender, M.J. and Simonovic, S.P. (2000). A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 115: 35-44.
3. Berbel, J. and Gomez-Limon, J. A. (2000). The impact of water-pricing policy in Spain: an analysis of three irrigated areas. *Agricultural Water Management*, 43: 219-238.
4. Biswas, A. and Pal, B.B. (2005). Application of fuzzy goal programming technique to land use planning in agricultural system. *Omega*, 33(5): 391-398.
5. Doppler, W., Salman, A.Z., Al-Karablieh, E.K. and Wolf, H.P. (2002). The impact of water price strategies on the allocation of irrigation water: the case of the Jordan Valley. *Agricultural Water Management*, 55: 171-182.

6. Fathi, F. and Zibaei, M. (2012). Water resources sustainability using goal programming approach in optimizing crop pattern, strategy and irrigation method. *Journal of Iran-Water Resources Research*, 8(1): 10-19. (Persian)
7. Galán-Martín, Á., Pozo, C., Guillén-Gosálbez, G., Antón Vallejo, A. and Jiménez Esteller, L. (2015). Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new common agricultural policy. *Land Use Policy*, 48: 515-524.
8. Gohar, A.A. and Ward, F.A. (2010). Gains from expanded irrigation water trading in Egypt: an integrated basin approach. *Ecological Economics*, 69(12): 2535-2548.
9. Griffith-Charles, C. and Sutherland, M. (2019). Cadastres for densely occupied informal situations: necessity and possibility. *Land Use Policy*, 104372.
10. Jones, D. and Barnes, E.M. (2000). Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. *Agricultural Systems*, 56(3): 137–158.
11. Joulaei, R., Azar, A. and Chizari, A.H. (2005). Multi- regional planning models and their application in agriculture: a case study of Fars province. *Agriculture Economics and Development*, 13(51): 87-112. (Persian)
12. Li, M. and Guo, P. (2015). A coupled random fuzzy two-stage programming model for crop area optimization: a case study of the middle Heihe River Basin, China. *Agricultural Water Management*, Elsevier, 155(C): 53-66.
13. Majidi, N., Alizadeh, A. and Ghorbani, M. (2011). Determining the optimum cropping pattern in same direction with water resources management of Mashhad-Chenaran Plain. *Journal of Water and Soil*, 25(4): 776-785. (Persian)
14. Maneta, M P., Torres, M., Wallender, W.W., Vosti, S., Kirby, M., Bassoi, L.H. and Rodrigues, L N. (2009). Water demand and flows in the Sao Francisco River Basin (Brazil) with increased irrigation. *Agricultural Water Management*, 96(8),: 1191-1200.
15. Manos, B., Papathanasiou, J., Bournaris, T. and Voudouris, K. (2010). A multicriteria model for planning agricultural regions within a context of groundwater rational management. *Journal of Environmental Management*, 91(7): 593-600.
16. Maqsood, I., Huang, G.H. and Scott Yeomans, J. (2005). An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic program for water resources management under uncertainty. *European Journal of Operational Research* , 167(1), 245-256.

17. Mardani Najafabadi, M., Ziaee, S., Nikouei, A. and Ahmadpour Borazjani, M. (2019). Mathematical programming model (MMP) for optimization of regional cropping patterns decisions: a case study. *Agricultural Systems*, 173: 218-232.
18. Mardani, M., Babaei, M., Sabouhi, M. and Asemani, E. (2013). Determination of optimal cropping pattern using fuzzy goal programming: a case Study in Razavi Khorasan province. *Journal of Operations Research and Applications*, 36: 66-74. (Persian)
19. Mardani, M., Nikouei, A., Ziaei, S. and Ahmadpour, M. (2016). Codifying regional cropping pattern of agricultural and horticultural products in isfahan province: multi-objective structural planning approach. *Agricultural Economics and Development*, 30(3): 188-206. (Persian)
20. Mardani, M., Ziaei, S. and Nikouei, A .(2018). Optimizing the trade of virtual water in regional cropping pattern of the isfahan province: application of multi-criteria models. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 100(25): 39-88. (Persian)
21. Mousavi, N. and Akbari, M.R. (2014). Surveying optimal cropping pattern and its impact on water resources management: a case study of Marvdasht-Karbala. *Water Resources Engineering*, 22(7): 101-110. (Persian)
22. Nikouei, A ,.Khodagholi, M., Ghayoumi Mohammadi, H., Toomanian, N., Jalali, A. and Mamanpoush, A. (2018). Developing the national cropping pattern plan in pilot stage: Dasht village, Shahreza County, Isfahan province. Final Report of Registed Project of 14-38-30-93. (Persian)
23. Nikouei, A., Mardani Najafabadi, M. and Paki, H. (2017). Study of cost and price for crops and orchads production in Dasht district, Shahreza County, Isfahan province, Final Report of Registered Project of 14-38-30-9353-93001. (Persian)
24. Sharma, D K. and Jana, R.K. (2009). Fuzzy goal programming based genetic algorithm approach to nutrient management for rice crop planning. *International Journal of Production Economics*, 121(1): 224-232.
25. Tangestani, M.H. (2006). Comparison of EPM and PSIAC models in GIS for erosion and sediment yield assessment in a semi-arid environment: Afzar catchment, Fars province, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(5): 585-597.
26. Vafaeinejad, A. (2016). Cropping pattern optimization by using topsis and genetic algorithm based on the capabilities of GIS. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 3(1), 69-86. (Persian)

27. Zoppi, C. and Lai, S. (2015). Determinants of land take at the regional scale: a study concerning Sardinia (Italy). *Environmental Impact Assessment Review*, 55: 1-10.
28. Zysk, E., Dawidowicz, A., Nowak, M., Figurska, M., Źróbek, S., Źróbek, R. and Burandt, J. (2020). Organizational aspects of the concept of a green cadastre for rural areas *Land Use Policy*, 91: 104373.