اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۸، شمارهٔ ۱۱۱، پاییز ۱۳۹۹

DOI: 10.30490/AEAD.2020.304989.1090

تعیین الگوی بهینهٔ کشت محصولات کشاورزی در شهرستان ملاثانی: کاربرد مدل بهینه‌سازی چندهدفهٔ استوار*

عباس عبدشاهی[۱]، مصطفی مردانی نجف‌آبادی[۲]، منیره زینالی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۲۴

چکیده

در مطالعهٔ حاضر، برای تعیین الگوی بهینهٔ کشت اراضی شهرستان ملاثانی واقع در استان خوزستان، از مدل برنامه‌ریزی چندهدفهٔ خطی شامل اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی با در نظر گرفتن عدم اطمینان به‌صورت مجزا و توأم، در دو مرحلهٔ جداگانه،

---

* مقالهٔ حاضر برگرفته از طرح تحقیقات کاربردی با مساعدت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان است، که بدین وسیله از آن معاونت سپاسگزاری می‌شود.

۱- نویسندهٔ مسئول و دانشیار اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، اهواز، ایران. (abdeshahi1349@asnrukh.ac.ir)

۲- استادیار اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، اهواز، ایران. (m.mardani@asnrukh.ac.ir)

۳- دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. (zeynalimonireh@yahoo.com)

استفاده شد. در مرحلهٔ اول مطالعه، از عدم اطمینان موجود در داده‌ها چشم‌پوشی شد، اما در مرحلهٔ دوم، با لحاظ کردن این ویژگی، بررسی نتایج هر کدام از آنها جداگانه صورت گرفت. پس از گردآوری داده‌های پژوهش از ارگان‌های دولتی برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵، مدل‌های مورد نظر در نرم‌افزار GAMS کدگذاری شدند. طبق نتایج مرحلهٔ اول، افزایش سطح زیر کشت جو از چهار هزار هکتار به ۵/۷۴ هزار هکتار (۴۳/۵۵ درصد) و سبزیجات از سی‌صد هکتار به ۴۱۰ هکتار (۳۷/۳۸ درصد) و همچنین، کاهش سطح زیر کشت کلزا در الگوی کشت چندهدفه از پانصد به ۱۲۰ هکتار (۷۵/۳۴ درصد) و کاهش سطح زیر کشت گندم نیز ۱۲/۴۳ درصد ارزیابی شد. نتایج مرحلهٔ دوم حاکی از وجود یک رابطه متقابل بین منافع حاصل از الگوی کشت بهینه و سطح محافظت از آن در مقابل داده‌های نامطمئن بود، به‌گونه‌ای که با افزایش سطح انحراف از محدودیت از ده تا پنجاه درصد، مقدار سود ناخالص ۲/۵ درصد کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان بخش کشاورزی در دستیابی به هدف کسب بیشترین سود (که به‌طور متوسط، پنج درصد بیشتر از الگوی کشت فعلی برآورد شده است)، با در نظر گرفتن چند هدف متفاوت کمک کرده، از هدررفت منابع کمیاب و باارزش جلوگیری کند.

کلیدواژه‌ها: *برنامه‌ریزی چندهدفه، عدم حتمیت، الگوی کشت، ملاثانی (شهرستان).*
طبقه‌بندی JEL : C61, Q24, O13

مقدمه

از دیرباز، تعیین الگوی بهینهٔ کشت هر منطقه از وظایف ذاتی سازمان‌های مسئول کشاورزی و از آرزوهای دیرینهٔ دست‌اندرکاران بخش کشاورزی بوده و این موضوع از دههٔ ۱۳۵۰ تاکنون، در قوانین متعدد مورد تأکید قرار گرفته است (KAJO, 2014). اگرچه در هر برهه‌ای از زمان، متناسب با اطلاعات موجود، اقداماتی صورت گرفته، ولی این اقدامات کامل و جامع

نبوده‌اند. در مجموع، به‌نظر می‌رسد که الگوی کشت فعلی کشور متأثر از اقدامات گذشته و عمدتاً بر پایهٔ منابع آب و خاک موجود و بعضاً مزیت‌های اقتصادی بوده و با توجه به تغییر شرایط آب و هوایی و اقتصادی به‌دلیل رقابتی نبودن تولید برخی از محصولات، این الگوی کشت با چالش‌هایی مواجه است، که نیاز به تغییر الگوی سالانه کشت ضروری می‌نماید (Shirzadi et al., 2013).

با توجه به گستردگی پهنهٔ سرزمینی کشور و تنوع اقلیمی مناطق گوناگون، تعیین الگوی کشت مناسب برای هر منطقه، که بتواند حداکثر بهره‌برداری از عوامل تولید به‌ویژه عامل محدودکنندهٔ آب را ایجاد کند، ضرورتی انکارناپذیر است (Mardani et al., 2018). همچنین، باید سطح زیر کشت محصولات کشاورزی یک منطقه، با توجه به منابع موجود، قیمت محصولات، هزینه‌های تولید و عملکرد محصول تعیین شود و تصمیم‌گیری برای انتخاب محصولات زراعی یا باغی مناطق مختلف بر اساس زیرساخت‌های موجود، مسائل اجتماعی-اقتصادی و سطح فناوری، با حفظ منابع پایهٔ تولید در راستای تأمین نیازهای اساسی کشور، صورت گیرد (Bahrami et al., 2014). بنابراین، برای تصمیم‌گیری در زمینهٔ اندازهٔ مناسب کشت سالانه هر محصول، می‌توان به‌جای استفاده از روش سنتی و بر اساس آزمون‌های پیشین کشاورزی، از روش‌های نوین بر پایهٔ اطلاعات علمی بهره برد. مزیت روش‌های نوین بر روش‌های سنتی عبارت است از اختصاص بهینهٔ منابع برای تولید بیشینهٔ فرآوردهٔ دارای بیشترین بازدهی، که برنامه‌ای قابل دسترس است (Hazell and Norton, 1986).

الگوهای برنامه‌ریزی مختلف مبتنی بر سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی[1] یا برنامه‌ریزی ریاضی[2] قادر به تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری و یا بررسی اثر تصمیمات مختلف بر جریان و دسترسی به منابع تولید در کاربردهای کشاورزی و زیست‌محیطی است (Ward, 2007). در برنامه‌ریزی‌های مختلف، معمولاً تصمیم‌گیرندگان در انتخاب‌های خود به یک هدف خاص بسنده نمی‌کنند و

1. Geographical Information System (GIS)
2. mathematical programming

مایل‌اند بین نتایج و خروجی‌های حاصل از تصمیم که در تقابل با هم هستند، تعادل برقرار کنند (Jones and Barnes, 2000). تصمیم‌گیری در شرایطی که چند هدف ویژه پیش روی مدیران واحدهای مختلف قرار دارد، علاوه بر ابزار تصمیم‌گیری، نیازمند اطلاعات متنوع و مختلف است. راه‌اندازی سازوکار یک نظام مدیریتی بر اساس این اطلاعات و اهداف چندگانه در طول زمان و مکان‌های مختلف آسان نیست و نیازمند روشی است که بتواند بر اساس مجموعه‌ای از اطلاعات موجود و آرمان‌های متفاوت پیش روی مدیران واحدهای کشاورزی، به آنها در اتخاذ یک تصمیم منطقی کمک کند (Ustaoglu et al., 2016). در ادبیات علمی بهینه‌سازی، بسته به شرایط مختلف، نوع مدل تصمیم‌گیری مناسب به یکی از روش‌های چندمعیاری[1]، چندهدفی[2]، اهداف متقابل[3] و چندخصلتی[4] طبقه‌بندی می‌شود. وجه مشترک تمامی این روش‌ها آن است که توافق کامل در خصوص یک هدف ویژه ساده به‌دست نمی‌آید.

در این میان، از الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی به‌گونه‌ای گسترده‌تر استفاده شده است (Rezaee Zaman and Afruzi, 2015). این الگوها، به‌ویژه از چند دههٔ گذشته، به‌عنوان یکی از ابزارهای تصمیم‌گیری در مورد مسائل کشاورزی در سطح مزرعه و بخش کشاورزی معرفی شده‌اند.

همچنین، وجود عوامل نامطمئن در پیش‌بینی پارامترهای به‌کار رفته در این نوع از ابزار برنامه‌ریزی باعث ایجاد سردرگمی فراوان در تفسیر نتایج مربوط به این نوع از مدل‌ها شده و باعث پیدایش نسل جدیدی از مسائل بهینه‌سازی در شرایط عدم حتمیت شده است (Sabouhi Sabouni and Mardani, 2013). به‌کارگیری گستردهٔ انواع روش‌های مرحله‌ای، بازه‌ای، تصادفی دو یا چندمرحله‌ای و سایر روش‌های مرتبط در این حوزه نشان از اهمیت بسیار زیاد این موضوع دارد. اخیراً استفاده از روش بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان

1. multi criteria
2. multi objective
3. competing objectives
4. multi attribute

محافظه‌کاری یا بهینه‌سازی استوار[1]، برای اعمال شرایط عدم اطمینان در مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی، از محبوبیت خاصی میان محققان، برخوردار شده است. علت این استقبال نیز به مزیت‌های محاسباتی و تفسیر راحت‌تر نتایج این مدل نسبت به سایر مدل‌های عدم حتمیت برمی‌گردد (Bertsimas and Sim, 2004).

در زمینهٔ الگوی کشت، پژوهش‌های گوناگون در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است که در ادامه، به برخی از آنها اشاره می‌شود. مردانی و همکاران (Mardani et al., 2016)، با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ساختاری چندهدفه (MOSP)[2]، به تدوین الگوی منطقه‌ای کشت محصولات زراعی و باغی در استان اصفهان پرداختند و اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را به‌صورت مجزا و توأم مد نظر قرار دادند؛ نتایج نشان داد که در گروه‌های اصلی غلات و علوفه، کاهش محسوس در سطح زیر کشت بهینه مدل چندهدفه رخ داده است. فتحی و زیبایی (Fathi and Zibaei, 2012) نیز با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی، به تعیین الگوی کشت، راهبرد و روش آبیاری بهینه برای پایداری منابع آب در فیروزآباد فارس پرداختند؛ به باور آنها، نتایج این مطالعه می‌تواند به کشاورزان کمک کند تا بتوانند هم‌زمان، درآمد آنها و برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی را بهینه سازند. نتایج نشان داد که در نتیجهٔ ذخیرهٔ آب، درصد کاهش سود کمتر از درصد کاهش مصرف آب بوده و الگوهای ارائه‌شده انگیزه را برای کشاورز در ذخیره‌سازی آب بدون تغییر زیاد در سود ایجاد می‌کند. مجیدی و همکاران (Majidi et al. 2-11)، با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی، به تعیین الگوی بهینهٔ کشت در راستای مدیریت منابع آب در دشت مشهد- چناران پرداختند؛ نتایج نشان داد که در الگوی بهینه، علی‌رغم به‌کارگیری تمام سطح زیر کشت موجود و کسب بازده برنامه‌ای مشابه الگوی فعلی، میزان مصرف آب کاهش یافته و سطح زیر کشت محصولاتی چون چغندرقند، حبوبات و آفتابگردان، به‌دلیل مصرف بالای آب، از الگوی کشت حذف شده

1. Robust Optimization
2. Multi Objective Structural Planning

است. موسوی و اکبری (Mousavi and Akbari, 2014)، با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی و خطی مرحله‌ای، به بررسی الگوی کشت بهینه و تأثیر آن بر مدیریت منابع آب در شهرستان مرودشت پرداختند و نشان دادند که در مقایسه با وضع موجود، در الگوی برنامه‌ریزی خطی مرحله‌ای، سطح زیر کشت جو و چغندرقند کاهش یافته و در الگوی برنامه‌ریزی آرمانی، سطح زیر کشت گندم و جو افزایش و سطح زیر کشت دیگر محصولات کاهش یافته است. جولایی و همکاران (Julaei et al., 2005) به بررسی مدل‌های برنامه‌ریزی چندمنطقه‌ای و کاربرد آنها در بخش کشاورزی استان فارس پرداختند. در منوس و همکاران (Manos et al., 2010) نیز به‌علت گستردگی مدل، از میان ده منطقهٔ واقع در شمال مصر، تنها چهار منطقه بررسی شد؛ همچنین، با طراحی الگوی کشت این مناطق، از مدل‌های برنامه‌ریزی چندمعیاره (برنامه‌ریزی آرمانی) برای حل آن استفاده شده و نتایج حاکی از توانایی بیشتر مدل‌های چندهدفه نسبت به مدل تک‌هدفه است. فیلیپی و همکاران (Filippi et al., 2017)، با استفاده از یک مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد مختلط[1]، به تعیین الگوی کشت در منطقه ونتو[2] واقع در شمال ایتالیا پرداختند. در مطالعهٔ آنها، از مدل برنامه‌ریزی خطی و مدل مقدار در معرض مخاطره شرطی[3] استفاده شد و نتایج نشان داد که در هر دو مدل، سود الگوی کشت بهینه بین نوزده تا ۲۶ درصد افزایش می‌یابد؛ البته، در این مطالعه، استفاده از مدل نوع دوم برای اعمال تغییرات الگوی کشت پیشنهاد شده است. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2018)، در مطالعه‌ای با عنوان «روش برنامه‌ریزی خطی اعداد مختلط دومرحله‌ای استوار غیردقیق[4] برای برنامه‌ریزی زراعی تحت شرایط عدم حتمیت»، به تعیین الگوی بهینه کشت اراضی کشاورزی حوضه آبریز رودخانه ها پرداختند؛ به باور آنها، کاربرد روش یادشده منجر به ایجاد یک رابطه متقابل در منافع نظام، سطح استواری و سطح مخاطره در شکست نظام خواهد شد.

1. Mixed Integer Linear Programming model
2. Veneto region
3 . Conditional Value-at-Risk model
4. Inexact Robust Two-Stage Mixed-Integer Linear Programming

در زمینهٔ بهینه‌سازی تخصیص زمین‌های قابل کشت در مناطق مختلف دنیا نیز مطالعاتی صورت گرفته است (Sante-Riveira et al., 2008; Sharma and Jana, 2009). همچنین، در برخی از این‌گونه مطالعات، از مدل‌های برنامه‌ریزی آرمانی (De Oliveira et al., 2003; Jayaraman et al., 2015) و برنامه‌ریزی چندهدفه و یا برنامه‌ریزی چندهدفهٔ مرحله‌ای (Mishra et al., 2014; Zeng et al., 2010) استفاده شده است. بررسی مطالعات یادشده نشان از اهمیت بسیار زیاد تدوین یک برنامه زراعی منظم با توجه به نیازها و توان‌های منطقه‌ای دارد. هر کدام از این مطالعات به‌دنبال ارائه یک الگوی کشت بهینه با توجه به اهداف متفاوت در اولویت‌های مختلف بوده و به‌نوبه خود، از شیوه‌های مختلف برای نیل بدین الگوها بهره برده‌اند. استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی چندهدفه استوار برای تعیین الگوی کشت بهینه محصولات کشاورزی در هیچ‌کدام از مطالعات یادشده مورد توجه قرار نگرفته است. با این همه، با توجه به برخی از خصوصیات فنی این روش، استفاده از آن می‌تواند به تصمیم‌گیران ارگان‌های متبوع بسیار کمک کند.

ملاثانی یکی از شهرهای استان خوزستان است، که در ۲۵ کیلومتری شهر اهواز و در امتداد شرق رود کارون واقع شده و دارای زمین‌های حاصل‌خیز و باغ‌های میوه و کشتزارهای وسیع مدرنیزه است. در این منطقه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان قرار دارد، که به توسعه و رونق کشاورزی و دامپروری به شیوهٔ جدید کمک کرده است. آمار بلندمدت هواشناسی نشان می‌دهد که این منطقه با میانگین بارندگی سالانهٔ ۲۶۹ میلی‌متر، از مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود. بر اساس میانگین بیست‌سالهٔ آمار هواشناسی منطقهٔ ملاثانی (۱۳۷۱-۱۳۵۲)، حداکثر و حداقل مطلق دما در طول این مدت، به‌ترتیب، ۵۲/۲ و ۱/۵- درجهٔ سانتی‌گراد و حداقل و حداکثر رطوبت نسبی ماهانه، به‌ترتیب، حدود ۲۵ و ۷۲ درصد بود (Siadat et al., 2009).

هدف مطالعهٔ حاضر ارائهٔ الگوی بهینهٔ کشت شهرستان ملاثانی واقع در استان خوزستان با توجه به اهداف متفاوت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بوده و بررسی‌های مورد نظر در دو مرحلهٔ جداگانه (با و بدون در نظرگرفتن مسئله عدم حتمیت) انجام شده است.

مواد و روش‌ها

مطالعات متعدد در زمینه‌های مختلف بیانگر آن است که عدم قطعیت حاکم بر دنیای واقعی همواره بر نتایج بررسی‌ها تأثیر دارد و این نتایج را در حد قابل توجهی تغییر می‌دهد. از این‌رو، مطالعهٔ حاضر در دو مرحلهٔ اصلی و متفاوت از هم انجام شده است. در مرحلهٔ اول، داده‌ها ثابت و بدون تغییر در نظر گرفته شد و در مرحلهٔ دوم، مدل برنامه‌ریزی چندهدفه و مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری ترکیب شده و همچنین، سناریوسازی‌های متفاوت عدم اطمینان موجود در داده‌های مطالعه حاضر نیز مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

مدل‌سازی در شرایط قطعیت: مرحلهٔ اول

قبل از معرفی مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورد استفاده و با توجه به تعداد زیاد مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترهای به‌کار رفته در مطالعه، خلاصه‌ای از نمادها و تعاریف هر کدام از این اجزا در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها، متغیرها و پارامترها

نماد	شرح	نماد	شرح
$j \in \{1,2,...,\ J1\}$	گروه اصلی محصولات	$LandSch_{jm}$	ضریب اشغال زمین برای محصول j، ماه m
$k \in \{1,2,...,\ K\}$	گروه نهاده‌های تولید	$InputCost_{jk}$	هزینهٔ نهادهٔ تولید از نوع k برای کشت محصول j
$m \in \{1,2,...,12\}$	ماه‌های سال	$LandRHS^{d2}$	مقدار زمین قابل کشت
$Land_V_j$	زمین تخصیص‌یافته به محصول j	$NetWaterReq_{jm}$	مقدار آب خالص مورد نیاز برای یک هکتار از محصول j در ماه m
$Water_V_{jm}$	آب تخصیص‌یافته به محصول j	$WaterEff_j$	راندمان آبیاری برای محصول j
Mch_V_j	ماشین‌آلات تخصیص‌یافته به محصول j	$WaterRHS_m$	مقدار آب قابل دسترس در ماه m
$Manure_V_j$	کود حیوانی تخصیص‌یافته به محصول j	$InputAMT_{jk}$	مقدار نهادهٔ نوع k برای کشت یک هکتار از محصول j
Pes_V_j	سم تخصیص‌یافته به محصول j	$CropYeild_j$	متوسط عملکرد محصول j1
$Fert_V_j$	کود شیمیایی تخصیص‌یافته به محصول j	$InputRHS_k$	مقدار در دسترس از نهادهٔ تولید نوع k
$NetBenefit\underline{V}$	سود ناخالص کل	$CropBenefi_j$	سود ناخالص برای کشت یک هکتار از محصول j

نماد	شرح	نماد	شرح
$Prod_d2_V_j$	تولید تخصیص‌یافته حاصل از کشت محصول j	$NetBenifitCrrent^{d2}$	سود ناخالص جاری
$Obj\ Profit_V$	سود ناخالص کل در الگو (متغیر تابع هدف)	$Demand_Max_j$	حداکثر مقدار تقاضا از محصول j
$ObjWater_V$	آب آبیاری کل در الگو (متغیر تابع هدف)	$Demand_Min_j$	حداقل مقدار تقاضا از محصول j
$ObjLabor_V$	تعداد نیروی کار کل در الگو (متغیر تابع هدف)	POP	جمعیت مناطق شهری و روستایی
$Input_V_k$	نهاده تولید تخصیص‌یافته از نوع k	$RURPOP$	جمعیت مناطق روستایی
$WaterAppCost_V_j$	هزینه بهره‌برداری از آب برای کشت محصول j	$InputPrice_{jk}$	قیمت نهادهٔ نوع k برای کاشت محصول j
$WaterExCost_V_w$	هزینه استحصال آب برای منبع آب آبیاری w	$Water\ Req_j$	نیاز ناخالص آبی محصول j
$InputCost_V_{jk}$	هزینه نهاده تولید از نوع k برای کشت محصول j	$VirtualWater_j$	مقدار آب مجازی محصول j
$Cost_V_j$	کل هزینه تولید برای کشت محصول j	$Calori_j$	میزان انرژی محصول j در مقدار معین از واحد وزن
$CropPrice_V_j$	قیمت محصول j	$Energy\ Req_Min$	حداقل انرژی مورد نیاز ساکنان
$TotalEnergyProd_V_j$	کل انرژی تولیدشده حاصل از کشت محصول j	$Energy\ Req$	مقدار انرژی که هر فرد سالانه بدان نیاز دارد
$CurrentLand_B_j$	سطح زیرکشت جاری محصولات باغی		

مأخذ: یافته‌های پژوهش

یک الگوی منطقه‌ای کشت می‌تواند شامل اهداف مختلف باشد. به‌علت انعطاف در مدل معرفی‌شده، به‌راحتی می‌توان به اهداف متفاوت فکر کرد و این در حالی است که در برخی مواقع، بین تصمیم‌گیرندگان درگیر در آن تقابل وجود دارد. برای نمونه، کسب حداکثر سود حاصل از کشت محصولات تصمیم کشاورز و مصرف حداقل آب آبیاری تصمیم برخی از سازمان‌های ذی‌ربط است. از آنجا که در مطالعه حاضر، بیش از یک هدف دنبال شده، شکل جبری این اهداف در رابطهٔ (۱) آمده است.

$$\begin{Bmatrix} 1 \rightarrow M\text{ax}: ObjProfit_V = NetBenefit_V \\ 2 \rightarrow Min: ObjWater_V = \sum_{j=1}^{J}\sum_{m=1}^{M} Water_V_{jm} \\ 3 \rightarrow Min: ObjPes_V = \sum_{j=1}^{J} InputPse_V_j \\ 4 \rightarrow Min: ObjFert_V = \sum_{j=1}^{J} InputFert_V_j \\ 5 \rightarrow M\text{ax}: ObjLabor_V = \sum_{j=1}^{J} InputLabor_j \\ 6 \rightarrow M\text{ax}: ObjEnergy_V = \sum_{j=1}^{J} TotalEnergy\ prod_V_j \\ 7 \rightarrow M\text{ax}: ObjManure_V = \sum_{j=1}^{J} InputManure_V_j \\ 8 \rightarrow Min: ObjMachin_V = \sum_{j=1}^{J} InputMachine_V_j \end{Bmatrix} \quad (۱)$$

در رابطهٔ (۱)، هدف اول «حداکثرسازی سود ناخالص (اقتصادی)»، هدف دوم «حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری (زیست‌محیطی)»، هدف سوم «حداقل‌سازی مقدار سم مصرفی (زیست‌محیطی)»، هدف چهارم «حداقل‌سازی استفاده از کود شیمیایی (زیست‌محیطی)»، هدف پنجم «حداکثرسازی استفاده از نیروی کار (اجتماعی)»، هدف ششم «حداکثرسازی کشت محصولات

با انرژی بالا (امنیت غذایی)»، هدف هفتم «حداکثرسازی استفاده از کود حیوانی (زیست‌محیطی)» و هدف آخر «حداقل‌سازی استفاده از ماشین‌آلات (اقتصادی و زیست‌محیطی)» است.

توجه به وجود چند هدف متفاوت منجر به وجود یک الگوسازی در قالب یک برنامه‌ریزی ساختاری چندهدفه (MOSP) می‌شود. در مطالعهٔ حاضر، برای متجانس کردن اهداف، از چارچوب کلی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مرحله‌ای چندهدفه برگرفته از مطالعهٔ جانز و بارنز (Jones and Barnes, 2000) استفاده شده است؛ البته در مطالعه مردانی و همکاران (Mardani et al., 2016) نیز بدین منظور، همین مدل برنامه‌ریزی به‌کار رفته و از این‌رو، در مطالعهٔ حاضر، با توجه به نزدیکی اهداف و محدودیت‌های منابع، از همان اهداف مطالعهٔ یادشده با تغییرات کلی اقتباس شده، که تعداد بیشتر اهداف، بررسی صرفاً یک منطقه و همچنین، وجود مبحث مهم عدم حتمیت در مطالعهٔ حاضر از جمله دلایل این تغییرات بوده است. در واقع، به‌علت کوچک‌مقیاس بودن مطالعه حاضر نسبت به مطالعهٔ یادشده، امکان توسعه اهداف، محدودیت‌ها و اعمال شرایط عدم اطمینان وجود داشته و از این‌رو، توسعهٔ آنها انجام پذیرفته است.

پس از بررسی اهداف متفاوت در الگوی کشت، بیان محدودیت‌های مدل ضروری است.

مقدار کل زمین تخصیص‌یافته به محصولات نباید از کل زمین قابل کشت برای هر منطقه و در هر ماه بیشتر باشد:

$$\sum_{j=1}^{J} LandSch_{jm} Land_V_j \le LandRHS \qquad \forall m \tag{۲}$$

ملاحظه می‌شود که در مجموعهٔ محدودیت، زمین قابل کشت، از ضریب اشغال زمین در ماه‌های مختلف سال استفاده شده است. مقدار این ضریب در ماه‌هایی که محصول در زمین کشت شده است، یک و در غیر این‌صورت، صفر منظور می‌شود.

توجه به عدم انحراف مدل از مقدار آب قابل دسترس برای منابع و ماه‌های مختلف در روابط (۳) و (۴) آمده است.

$$Water_V_{jm} = (NetWater\ \mathrm{Re}q_{jm} / WaterEff_j)\, Land_V_j \quad \forall j,m \tag{۳}$$

$$\sum_{j=1}^{J} Water_V_{jm} \le WaterRHS_m \quad \forall m \tag{۴}$$

در رابطهٔ (۳)، مسئلهٔ راندمان آبیاری با توجه به نیاز خالص آبی گیاهان مد نظر قرار گرفته است.

در روابط (۵) تا (۱۳)، هزینهٔ بهره‌برداری از آب آبیاری، هزینهٔ استحصال آب آبیاری، هزینهٔ نهاده‌های کشاورزی، هزینهٔ کل تولید، قیمت محصولات کشاورزی، سود خالص محصولات، سود ناخالص محصولات کشاورزی و میزان سود مورد انتظار در کانون توجه قرار گرفته است.

$$WaterAppCost_V_j = WaterAppCost_j\, Land_Cl_V_j \quad \forall j \tag{۵}$$

$$WaterExCost_V = WaterExCost \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J} Water_V_{jm} \tag{۶}$$

$$InputCost_V_{jk} = Input\,\mathrm{Pr}ice_{jk}\, InputAMT_{jk}\, Land_V_j \quad \forall j,k \tag{۷}$$

$$Cost_V_j = \sum_{k=1}^{K} InputCost_V_{jk} + WaterAppCost_V_j \quad \forall j \tag{۸}$$

$$Crop\,\mathrm{Pr}ice_V_j = Crop\,\mathrm{Pr}iceCoA_j + Crop\,\mathrm{Pr}iceCoB_j\ \mathrm{Pr}od_V_j + Crop\,\mathrm{Pr}iceCoC_j \quad \forall j \tag{۹}$$

$$CropBenefit_V_j = Crop\,\mathrm{Pr}ice_V_j\ CropYield_j \quad \forall j \tag{۱۰}$$

$$Benefit_Cl_V_j = CropBenefit_V_j\ Land_V_j \quad \forall j \tag{۱۱}$$

$$NetBenefit_V \ge NetBenifitCrrent \tag{۱۲}$$

$$NetBenefit_V = \sum_{j=1}^{J} Benefit_V_j - \text{Cost}_V_j - WaterEx\ \text{Cost} \quad (۱۳)$$

عدم انحراف میزان استفاده از هر نهادهٔ کشاورزی از مقدار قابل دسترس آن در مجموعه (۱۴) و (۱۵) مورد توجه قرار گرفته است.

$$Input_V_k = \sum_{j=1}^{J} InputAMT_{jk} Land_Cl_V \qquad \forall k \quad (۱۴)$$

$$Input_V_k \le InputRHS_k \qquad \forall k \quad (۱۵)$$

میزان تولید هر محصول نباید از مقدار حداکثر و حداقل تقاضای آن انحراف پیدا کند و این مهم در مجموعه محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) اعمال شده است.

$$Land_V_j CropYeild_j \le Demand_Max_j \qquad \forall j \quad (۱۶)$$

$$Land_V_j CropYeild_j \ge Demand_Min_j \qquad \forall j \quad (۱۷)$$

میزان انرژی تولیدشده از کشت محصولات کشاورزی باید حداقل میزان انرژی مورد نیاز هر منطقه را برای ساکنان آن تأمین کند؛ به دیگر سخن، مجموعه محدودیت‌های مربوط به بحث امنیت غذایی در روابط (۱۸) تا (۲۰) اعمال شده است.

$$Energy\text{Req}_Min = POPEnergy\text{Req} \quad (۱۸)$$

$$TotalEnerg\ y\ \text{Prod}_V_j = Calori_j CropYeild_j Land_V_j \quad (۱۹)$$

$$\sum_{j=1}^{J} TotalEnergy\ \text{Prod}_V_j \ge Energy\ \text{Req}_Min \quad (۲۰)$$

در رابطهٔ (۱۸)، میزان انرژی مورد نیاز محاسبه می‌شود و در رابطه (۲۰)، این میزان محاسبه‌شده مرز تولیدی برای کشت محصولات در آن منطقه را ایجاد می‌کند.

سطح باغ‌های پیشنهادی توسط الگو باید بیشتر یا مساوی سطح فعلی بوده و این مهم به‌دلیل چندساله بودن این محصولات است. رابطه (۲۱) این مسئله را به مدل اضافه می‌کند:

$$Land_V_j \geq CurrentLand_B_j \qquad \forall j \in \{B_j\} \qquad (۲۱)$$

که در آن، B_j مجموعه محصولات باغی است. شایان یادآوری است که کلیه محاسبات مربوط به هزینه‌های ثابت تولید محصولات باغی مستهلک شده و در محاسبات مورد نظر قرار گرفته‌اند.

مدل‌سازی در شرایط عدم حتمیت: مرحلهٔ دوم

یکی از فروض کلاسیک در برنامه‌ریزی ریاضی در شرایط حتمیت این است که تمام پارامترها (داده‌های ورودی) به‌طور کامل، شناخته‌شده و معین هستند. این فرض در عمل با چالش مواجه است، زیرا بیشتر پارامترهایی که پیش‌بینی و یا اندازه‌گیری می‌شوند، با عدم حتمیت همراه هستند. یکی از راه‌های جلوگیری از خسارت‌های ناشی از عدم توجه به مسئلهٔ عدم حتمیت، استفاده از مدل‌های انعطاف‌پذیر برای اعمال شرایط عدم حتمیت است. مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری یکی از مدل‌های قدرتمند و انعطاف‌پذیر در این زمینه است. شکل خطی مدل بهینه‌سازی با پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری به‌صورت رابطه (۲۱) است (Bertsimas and Sim, 2003):

$$\begin{aligned}
&Max \quad z = cx \\
&S.to. \\
&\sum_j \ \overline{a}_{ij} x_j + z_i \Gamma_i + \sum_{j \in J_i} p_{ij} \leq b_i \quad \forall i, j \in J_i \\
&z_i + p_{ij} \geq \in \overline{a}_{ij} y_j \qquad \forall i, j \in j_i \\
&-y_j \leq x_j y_j \qquad \forall j \\
&l_{j \leq x_j} \leq u_j \qquad \forall j \\
&(p_{ij}, y_j, z_i) \geq 0 \qquad \forall i, j \\
&X_j \geq 0
\end{aligned} \qquad (۲۱)$$

که در آن، z، y و p متغیرهای اضافی غیرمنفی و ε سطح عدم اطمینان معین برای لحاظ عدم حتمیت در مدل است. پارامترهای کنترل‌کنندهٔ میزان محافظه‌کاری (Γ_i) ابزاری مناسب برای بررسی قدرتمند بودن سیستم در مقابل پارامترهای نامطمئن و یا ناتوانی آن در مقابل این پارامترهاست. برای پارامترهای Γ_i، مقادیر متفاوت وجود دارد و این به احتمال انحراف محدودیت iام از کران خود و همچنین، به تعداد پارامترهای نامطمئن در آن محدودیت بستگی دارد. با جای‌گذاری x^* در زابطه (۲۱) به‌عنوان جواب بهینه، احتمال انحراف محدودیت iام از کران خود به‌صورت رابطه (۲۲) تعریف می‌شود:

$$pr\left(\sum_j \tilde{a}_{ij} x^*_j > b_i\right) \le B(n,\Gamma_i) \qquad (۲۲)$$

برای محاسبهٔ Γ_i، یک سطح مطلوب احتمال انحراف محدودیت iام از کران آن محدودیت در نظر گرفته شده و با توجه به تعداد پارامترهای نامطمئن در آن محدودیت (n)، این پارامتر مشخص می‌شود. مراحل کامل محاسبهٔ این پارامتر توسط برتسیماس و سیم (Bertsimas and Sim, 2003) شرح داده شده است.

تمامی داده‌های مورد نیاز مطالعهٔ حاضر از سازمان‌های دولتی اعم از سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب و برق استان خوزستان برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ جمع‌آوری و پردازش شدند. شایان یادآوری است که برای حل مدل‌های یادشده در مطالعه، از نرم‌افزار بهینه‌ساز GAMS و الگوریتم حل Conopt4 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج مطالعهٔ حاضر، به‌دلیل هماهنگی بین قسمت‌های مختلف، در دو مرحله ارائه شده است.

نتایج مرحله اول

فهرست داده‌های اولیه برای مطالعهٔ حاضر، در جدول ۲ خلاصه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این جدول، در منطقهٔ مورد مطالعه، هفت محصول عمده شامل چهار محصول زراعی (گندم، جو، کلزا، سبزیجات شامل ریحان بذری، تره، تربچه و انواع دیگر سبزیجات) و سه محصول باغی (انگور، خرما و مرکبات) کشت می‌شود. همچنین، انگور با ۲۰۰۰۰ ریال و

سبزیجات با ۷۷۰۰ ریال برای هر کیلوگرم به‌ترتیب بیشترین و کمترین میزان قیمت را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی ردیف عملکرد برای محصولات کشت‌شده نشان داد که سبزیجات با ۴۵ تن در هکتار بیشترین عملکرد را داشته و محصولات جو و کلزا هر دو با ۲/۷ تن در هکتار کمترین عملکرد را به خود اختصاص داده‌اند. بررسی نهادهٔ نیروی کار نشان داد که تفاوت این نهاده برای محصول خرما با ۱۸۲ نفر- روز و محصولات گندم، جو و کلزا هرکدام با ۲۴ نفر- روز محسوس است. بررسی ورودی‌های دیگری مانند سم، ماشین‌آلات، کود شیمیایی، کود حیوانی و آب مصرفی (نیاز خالص آبی) نشان داد که سه محصول گندم، جو و کلزا هرکدام با ۳/۵ لیتر، نهادهٔ گندم با ۲۳ ساعت در هکتار، خرما با ۷۴۲ کیلوگرم، محصول مرکبات با ۲/۵ تن در هکتار و محصول خرما با ۹۷۲۰ مترمکعب در هکتار، به‌ترتیب، بیشترین میزان از ورودی‌های یادشده را کسب کرده‌اند. شایان یادآوری است که با توجه به نظام آبیاری بسیار سنتی این منطقه، راندمان آبیاری در این شهرستان ۳۵ درصد در نظر گرفته شد.

جدول ۲- فهرست داده‌های اولیه مورد مطالعه در انواع محصولات کشت‌شده

داده‌های مورد نیاز	گندم	جو	کلزا	سبزیجات	خرما	انگور	مرکبات	مقدار در دسترس
قیمت (هزار ریال برای هر کیلوگرم)	۱۳	۱۱/۵	۲۵	۷/۷	۱۸/۸	۲۰	۱۵	
عملکرد (تن در هکتار)	۴/۵	۲/۷	۲/۷	۴۵	۶	۴	۲۰	
سود ناخالص (هزار ریال در هکتار)	۲۴/۴۰	۲۲/۸۳	۲۵/۱۷	۲۲۰/۵۱	۷۰/۲۹	۴۸/۴۵	۱۹۲/۶۷	
کارگر (نفر- روز در هکتار)	۲۴	۲۴	۲۴	۳۲	۱۸۲	۱۶۷	۱۷۲	۲۲۰۲۷۰
ماشین‌آلات (ساعت در هکتار)	۲۳	۱۷	۱۹	۲۸	۷	۹	۹	۶۲۲۹۹۵
کود شیمیایی (کیلوگرم در هکتار)	۷۰۰	۴۰۰	۷۰۰	۵۹۰	۷۴۲	۴۹۵	۶۷۵	۲۸۶۵۵۹۶۲
کود حیوانی (تن در هکتار)	۰	۰	۰	۱/۸	۲	۱/۵	۲/۵	۳۷۲۵۰۰۰
سم (لیتر در هکتار)	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳	۲	۱/۵	۳	۱۲۹۶۰۴
نیاز خالص آبی (مترمکعب در هکتار)	۲۲۷۰	۱۷۹۰	۲۶۵۰	۵۷۲۰	۹۷۲۰	۷۴۶۰	۹۶۴۰	۱۹۶۱۰۴۲۶
کالری (میزان کالری در هزار گرم محصول)	۳۶۴	۴۰۴	۴۲۱	۱۶	۲۸۰	۷۰	۵۳	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

الگوی کشت محصولات کشاورزی شهرستان ملاثانی در مرحلهٔ اول تحقیق به‌تفکیک اهداف و محصولات مختلف در جدول ۳ آمده است. همچنین، در این جدول، میزان تغییرات الگوی کشت چندهدفه نسبت به الگوی جاری نیز محاسبه و ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در تمامی اهداف مورد مطالعه، مجموع سطح زیر کشت شهرستان ملاثانی در مرحله اول نسبت به الگوی جاری کاهش یافته است. کمترین میزان سطح زیر کشت کل در هدف حداکثرسازی سود خالص، ۲۲/۲۵ هزار هکتار بوده و بیشترین آن نیز مربوط به الگوی جاری کشت با ۲۳/۹۵ هزار هکتار است. بررسی الگوی کشت چندهدفه نشان می‌دهد که سطح زیر کشت برای دو محصول جو و سبزیجات افزایش یافته، به‌گونه‌ای که افزایش سطح زیر کشت محصول جو از میزان چهار هزار هکتار به ۵/۷۴ هزار هکتار (۴۳/۵۵ درصد) و محصول سبزیجات از سی‌صد هکتار به ۴۱۰ هکتار (۳۷/۳۸ درصد) بوده است؛ همچنین، کاهش سطح زیر کشت محصول کلزا از پانصد هکتار به ۱۲۰ هکتار (۷۵/۳۴ درصدی) از دیگر نتایج مورد توجه در این جدول است. این کاهش قابل توجه در الگوی کشت چندهدفه به‌همراه کاهش سطح زیر کشت این محصول در اکثر هدف‌های مورد مطالعه به‌جز هدف حداقل‌سازی ماشین‌آلات روندی یکسان داشته است (سطح زیر کشت محصول کلزا با توجه به هدف حداقل‌سازی ماشین‌آلات از پانصد به ۲۳۰ هکتار رسیده است). علت اصلی این کاهش را می‌توان در سود ناخالص نسبتاً پایین این محصول (هزینه تولید بسیار بالا در منطقه) جست‌وجو کرد (جدول ۲). البته باید توجه داشت که دو محدودیت حداقل و حداکثر تقاضا نیز در این نتیجه بی‌تأثیر نبوده‌اند. عدم انجام به‌موقع تعهدات دولتی در مورد این محصول موجب شده است که حد پایین تقاضا برای تولید محصول از سوی کشاورزان پایین باشد و در سال‌های اخیر، به کمترین حد خود برسد. کاهش ۱۲/۴۳ درصدی سطح زیر کشت محصول گندم نیز از دیگر موارد قابل توجه در این جدول است. در مجموع، بررسی میزان سطح زیر کشت محصولات مورد بررسی نشان داد که سطح زیر کشت کلی در تمامی اهداف نسبت به حالت جاری کاهش یافته است. این مهم بیانگر آن است که این گروه از محصولات به‌لحاظ

اقتصادی، زیست‌محیطی و یا هرکدام از اهداف دیگری که بررسی شده، دارای محدودیت‌هایی برای کشت در شهرستان ملاثانی است.

جدول ۳- الگوی کشت محصولات کشاورزی شهرستان ملاثانی در مرحله اول تحقیق به‌تفکیک اهداف و محصولات (واحد: هزار هکتار)

محصولات	جاری	حداکثرسازی سود خالص	حداکثرسازی نیروی کار	حداقل‌سازی آب آبیاری	حداقل‌سازی کود شیمیایی	حداقل‌سازی سم	حداقل‌سازی ماشین‌آلات	حداکثرسازی کشت محصولات با انرژی بالا	حداکثرسازی کود حیوانی	چندهدفه	درصد تغییرات چندهدفه
گندم	۱۸/۷۰	۱۷/۶۵	۱۷/۳۰	۱۶/۴۱	۱۶/۰۴	۱۸/۸۶	۱۶/۲۶	۱۸/۹۳	۱۸/۸۶	۱۶/۳۷	۱۲/۴۳
جو	۴/۰۰	۳/۶۲	۴/۶۵	۵/۷۴	۵/۷۴	۳/۳۵	۵/۷۴	۳/۱۹	۳/۳۵	۵/۷۴	۴۳/۵۵
کلزا	۰/۵۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲	-۷۵/۳۴
سبزیجات	۰/۳۰	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۳۸	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۲	۰/۴۱	۳۷/۳۸
خرما	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۴۳	۰
انگور	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰
مرکبات	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰
مجموع	۲۳/۹۵	۲۲/۲۵	۲۲/۹۴	۲۳/۱۰	۲۲/۷۷	۲۳/۱۰	۲۳/۱۰	۲۳/۱۰	۲۳/۱۰	۲۳/۱۰	-۳/۵۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مصرف نهاده‌های تولید محصولات کشاورزی شهرستان ملاثانی به‌تفکیک اهداف مختلف در جدول ۴ آمده است. نتایج این جدول افزایش نیروی کار در تمامی الگوها نسبت به الگوی جاری را نشان داده و این افزایش در الگوی چندهدفه ۳/۵ درصد است. تعداد ساعات استفاده از ماشین‌آلات در تمامی الگوها تغییر کمی دارد و الگوی چندهدفه ۱/۹ درصد کاهش را نسبت به الگوی جاری نشان می‌دهد. میزان مصرف کود شیمیایی در الگوی چندهدفه از ۶۴۹ کیلوگرم در هکتار به میزان ۶۲۴ کیلوگرم (۳/۹) تقلیل یافته است. بیشترین مقدار مصرف نهادهٔ سم در حداکثرسازی سود خالص (۷/۳ لیتر) رخ داده است. نهادهٔ کود حیوانی در تمامی الگوها از روندی یکسان پیروی کرده و مقدار ۳/۵ تن در هکتار را به خود اختصاص داده است.

بیشترین میزان آب مصرفی در الگوی حداکثرسازی سود خالص با مقدار ۷۴۳۰ مترمکعب در هکتار، دیده می‌شود. بیشترین و کمترین سود در هر هکتار نیز به‌ترتیب، مربوط به دو الگوی حداکثرسازی سود خالص و الگوی جاری با ۱۸/۱ و ۱۶/۸ میلیون ریال در هر هکتار است. بررسی مقدار کالری نشان داد که در الگوی چندهدفه، میزان کالری ۲/۷ درصد نسبت به الگوی جاری کاهش داشته است.

جدول ۴- میزان نهاده‌های مورد استفاده در هر هکتار

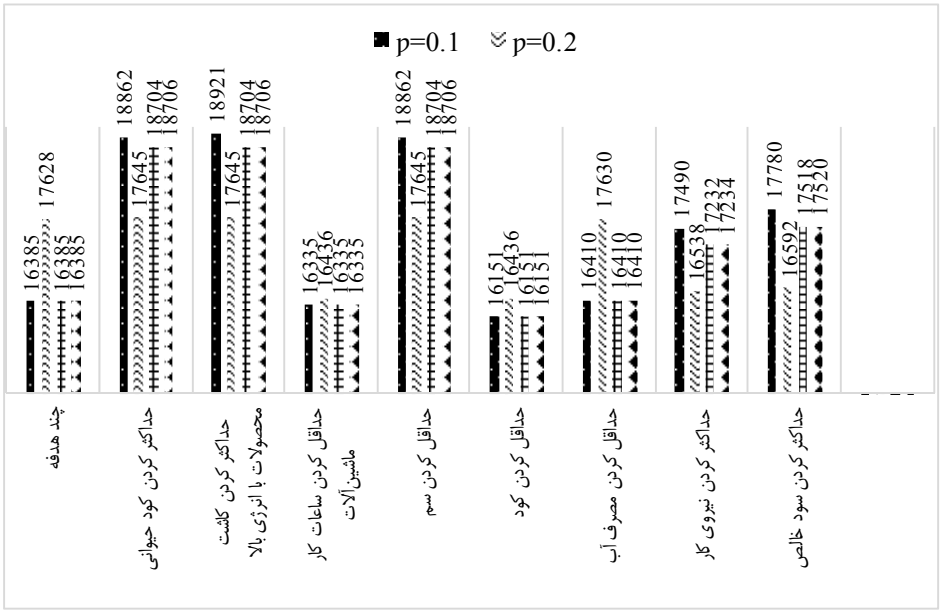
نهاده‌های مورد مطالعه	جاری	حداکثرسازی سود خالص	حداکثرسازی نیروی کار	حداقل‌سازی آب آبیاری	حداقل‌سازی کود شیمیایی	حداقل‌سازی سم	حداقل‌سازی ماشین‌آلات	حداکثرسازی کاشت محصولات با انرژی بالا	حداکثرسازی کود حیوانی	چند هدفه	درصد تغییرات چند هدفه
نیروی کار (نفر- روز در هکتار)	۷/۷	۸/۱	۸/۴	۷/۹	۸/۰	۷/۸	۸/۳	۷/۹	۷/۸	۷/۹	۳/۵
ماشین‌آلات (ساعت در هکتار)	۲۱/۷	۲۱/۸	۲۱/۵	۲۱/۳	۲۱/۲	۲۱/۹	۲۱/۲	۲۱/۹	۲۱/۹	۲۱/۳	-۱/۹
کود (کیلوگرم در هکتار)	۶۴۹	۶۵۰	۶۳۸	۶۲۴	۶۲۳	۶۵۶	۶۲۴	۶۵۷	۶۵۶	۶۲۴	-۳/۹
سم (لیتر در هکتار)	۶	۷/۳	۷/۲	۶/۸	۷/۲	۶/۳	۷/۲	۷/۱	۶/۳	۷/۱	۱۸/۲
کود حیوانی (تن در هکتار)	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۳/۵	۰/۰
نیاز خالص آبی (مترمکعب در هکتار)	۰۷۳۱	۰۷۴۳	۰۷۴۰	۰۷۲۵	۰۷۲۸	۰۷۳۷	۰۷۳۰	۰۷۴۲	۰۷۳۷	۰۷۲۷	-۰/۶
سود (میلیون ریال در هکتار)	۱۶/۸	۱۸/۱	۱۷/۵	۱۷/۴	۱۷/۷	۱۷/۴	۱۷/۴	۱۸/۰	۱۷/۴	۱۷/۶	۵/۰
کالری (کالری در هکتار)	۱۵۲۵	۱۵۲۹	۱۵۰۹	۱۴۸۵	۱۴۸۱	۱۵۴۴	۱۴۸۰	۱۵۴۴	۱۵۴۴	۱۴۸۳	-۲/۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتایج مرحله دوم

در مرحلهٔ دوم مطالعه، تلاش شده است تا با توجه به عدم حتمیت حاکم بر دنیای واقعی، الگوهای مختلف با لحاظ این عدم حتمیت برآورد شود و نتایج مورد تحلیل قرار گیرد.

نتایج حاصل از اعمال شرایط عدم حتمیت در سطح احتمال انحراف از محدودیت(۰/۱ =ε) و سطوح احتمال (p) ده، بیست، سی و پنجاه درصد برای سطح زیر کشت محصول گندم با توجه به اهداف مختلف در شکل ۱ آمده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین سطح زیر کشت (۱۸۹۲۱ هکتار) در سطح احتمال ده درصد و مربوط به هدف حداکثرسازی کشت محصولات با انرژی بالا بوده و کمترین مقدار مربوط به هدف حداکثرسازی کود شیمیایی با مقدار ۱۶۵۱ هکتار و در سطوح احتمال ده، سی و پنجاه درصد رخ داده است. مقایسهٔ سطح زیر کشت گندم در حالت بدون لحاظ عدم حتمیت و در الگوی چندهدفه برابر با ۱۶۳۸۵هکتار بوده، که این میزان با سطوح احتمال ده، سی و پنجاه درصد برابر است، اما در حالتی که این سطح احتمال بیست درصد باشد، سطح زیر کشت گندم افزایش یافته و به ۱۷۶۲۸ هکتار رسیده است، که دلیل آن اعمال شرایط عدم حتمیت بوده و نتایج متفاوت در سطوح متفاوت عدم حتمیت امری طبیعی است. نتیجهٔ به‌دست‌آمده از این بخش با نتایج مطالعه مردانی و همکاران (Mardani et al., 2016) مشابه است.



شکل ۱- مقایسهٔ سطح زیر کشت (هکتار) محصول گندم در شرایط عدم حتمیت معین(۰/۱ =ε) با توجه به اهداف متفاوت

جدول ۵ نتایج بررسی سطح زیر کشت تخصیص‌یافته به محصولات کشت‌شده در شهرستان ملاثانی را مطابق با الگوی جاری و چندهدفه و همچنین، با لحاظ شرایط مختلف عدم حتمیت نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این جدول، در سطح احتمال ۰/۱، سطح زیر کشت جاری برای محصول گندم ۱۸/۷۰ هزار هکتار است که طبق الگوی چندهدفه، ۱۲/۴ درصد کاهش داشته و به میزان ۱۶/۳۹ هزار هکتار رسیده است. کاهش سطح زیر کشت برای محصول گندم در سطوح سی و پنجاه درصد تکرار شده، اما در سطوح بیست و صد درصد، این مقدار کاهش کمتری داشته و با ۵/۷ درصد کاهش از ۱۸/۷ هزار هکتار در الگوی جاری به ۱۷/۶۳ هزار هکتار در الگوی چندهدفه تنزل یافته است. بیشترین تغییر سطح زیر کشت مربوط به محصول کلزا بوده که در الگوی چندهدفه نسبت به الگوی جاری، با ۷۵ درصد کاهش، از پانصد هکتار به ۱۲۰ هکتار کاهش یافته است. این روند برای این محصول در تمامی سطح عدم حتمیت مورد بررسی، تکرار شده و با مقداری ثابت کاهش داشته است. بیشترین افزایش در سطح زیر کشت با ۴۳/۶ درصد افزایش متعلق به محصول جو در سطوح ده، سی و پنجاه درصد بوده و سطح زیر کشت محصولات خرما، انگور و مرکبات در الگوی جاری و چندهدفه هیچ تغییری نداشته است. در حالت کلی و در تمام سطوح عدم حتمیت، بین الگوی جاری و چندهدفه، کاهش ۳/۵ درصدی دیده می‌شود، که این تفاوت چشمگیر نیست. این در حالی است که در مطالعه مردانی و همکاران (Mardani et al., 2016)، در استان اصفهان، در گروه حبوبات، تمام محصولات با کاهش سطح زیر کشت چشمگیر مواجه شده‌اند و در الگوی چندهدفه، عدم کشت برخی از محصولات مانند عدس، ماش و لوبیا قرمز توصیه شده است.

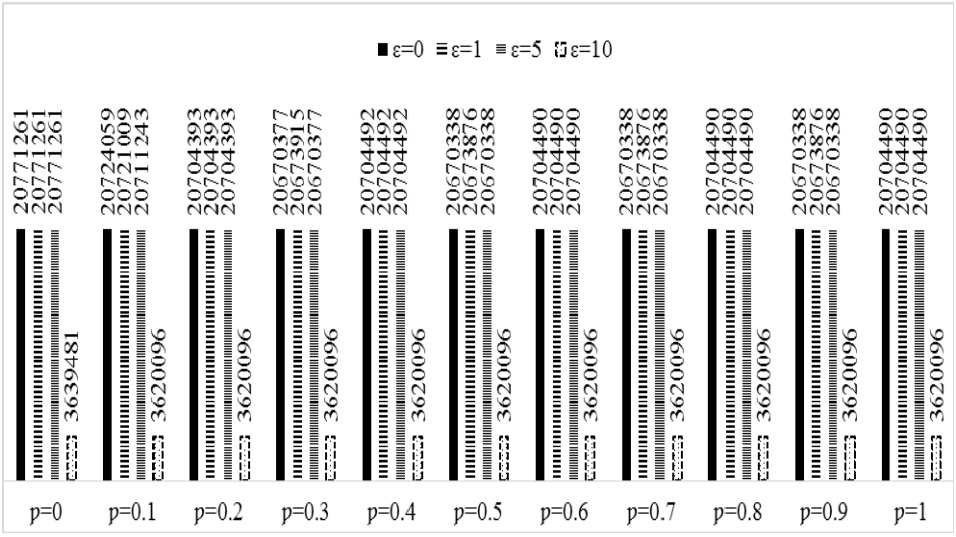
جدول ۵- مقایسهٔ سطوح زیر کشت محصولات مختلف با توجه به الگوهای متفاوت در شرایط عدم حتمیت (واحد: هزار هکتار)

	$\varepsilon = 1$														
	$\rho = 0.1$			$\rho = 0.2$			$\rho = 0.3$			$\rho = 0.5$			$\rho = 1$		
محصولات	جاری	چند هدفه	درصد تغییرات	جاری	چند هدفه	درصد تغییرات	جاری	چند هدفه	درصد تغییرات	جاری	چند هدفه	درصد تغییرات	جاری	چند هدفه	درصد تغییرات
گندم	۱۸/۷۰	۱۶/۳۹	-۱۲/۴	۱۸/۷۰	۱۷/۶۳	-۵/۷	۱۸/۷۰	۱۶/۳۹	-۱۲/۴	۱۸/۷۰	۱۶/۳۹	-۱۲/۴	۱۸/۷۰	۱۷/۶۳	-۵/۷
جو	۴/۰۰	۵/۷۴	۴۳/۶	۴/۰۰	۴/۵۵	۱۳/۹	۴/۰۰	۵/۷۴	۴۳/۶	۴/۰۰	۵/۷۴	۴۳/۶	۴/۰۰	۴/۵۵	۱۳/۸
کلزا	۰/۵۰	۰/۱۲	-۷۵/۳	۰/۵۰	۰/۱۲	-۷۵/۳	۰/۵۰	۰/۱۲	-۷۵/۳	۰/۵۰	۰/۱۲	-۷۵/۳	۰/۵۰	۰/۱۲	-۷۵/۳
سیزیجات	۰/۳۰	۰/۴۰	۳۳/۹	۰/۳۰	۰/۳۵	۱۵/۵	۰/۳۰	۰/۴۰	۳۳/۹	۰/۳۰	۰/۴۰	۳۳/۹	۰/۳۰	۰/۳۵	۱۵/۵
خرما	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۰
انگور	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰
مرکبات	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰
مجموع	۲۳/۹۵	۲۳/۱۰	-۳/۵	۲۳/۹۵	۲۳/۱۰	-۳/۵	۲۳/۹۵	۲۳/۱۰	-۳/۵	۲۳/۹۵	۲۳/۱۰	-۳/۵	۲۳/۹۵	۲۳/۱۰	-۳/۵

مأخذ: یافته‌های پژوهش

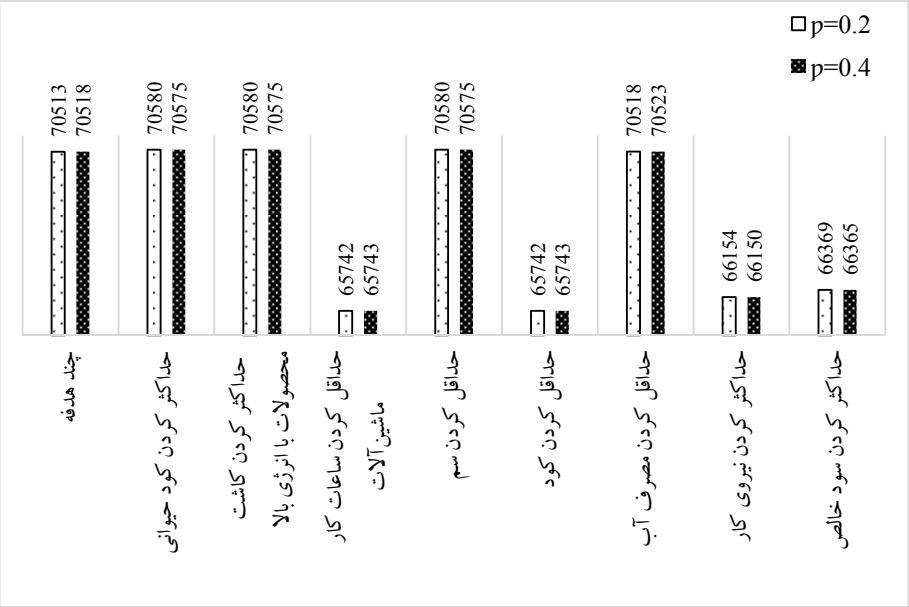
در شکل ۲، سود کل سیستم در شرایط متفاوت عدم حتمیت و عادی آمده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، سود سیستم با افزایش سطوح ε کاهش یافته است و میزان آن در سطح $\varepsilon = 0$ و سطح احتمال صفر، ۲۰۷۷۱۲۶۱ میلیون ریال بوده که این مقدار در سطح ε= ۰/۱ (ده درصد) و سطح احتمال صفر با کاهشی معادل ۱۷۱۳۱۷۸۰ میلیون ریال به میزان ۳۶۳۹۴۸۱ میلیون ریال رسیده است. این روند کاهشی در بقیه موارد نیز دیده می‌شود. به دیگر سخن، با افزایش احتمال وجود خطا در داده‌ها توسط تصمیم‌گیرنده، سیستم بهینه‌سازی استوار به‌طور خودکار با هزینه کردن از سود کل سیستم، مدل را در مقابل عدم حتمیت محافظت می‌کند. وجود این رابطه الاکلنگی[1] بین سود سیستم و میزان محافظت در مقابل تغییر داده‌ها در مطالعات دیگری که از این روش برای اعمال شرایط عدم اطمینان استفاده کرده‌اند، تأیید شده است (Sabouhi Sabouni and Mardani, 2013).

1. Trade-off



شکل ۲. سود کل سیستم در شرایط عدم حتمیت (میلیون ریال)

نتایج بررسی نیروی کار مورد استفاده در سیستم در الگوهای مختلف و در سطح عدم اطمینان ε= ۰/۱ و سطوح احتمال بیست و چهل درصد در شکل ۳ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که تفاوت اندکی بین این دو سطح وجود دارد.



شکل ۳- مقایسهٔ به‌کارگیری نیروی کار با توجه به اهداف متفاوت در شرایط عدم حتمیت

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تولید محصولات کشاورزی در یک منطقه باید با توجه به منابع موجود، قیمت محصولات، هزینه‌های تولید، عملکرد محصول، نیاز کشور و منطبق بر سیاست‌های کلان کشور صورت گیرد و همچنین، تصمیم‌گیری در انتخاب گیاهان زراعی یا باغی مناطق مختلف باید بر اساس زیرساخت‌های موجود، مسائل اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و سطح فناوری با حفظ منابع پایهٔ تولید در راستای تامین نیازهای اساسی کشور انجام شود. در ساختار پیشنهادی مطالعهٔ حاضر، هفت جنبه اساسی تعریف الگوی کشت اعم از برنامه‌ریزی، پایداری تولید، بهره‌برداری بهینه از منابع تولید، مزیت اقتصادی، امنیت غذایی، سیاست‌های کلان کشور و ملاحظات زیست‌محیطی برای شهرستان ملاثانی واقع در استان خوزستان مورد توجه قرار گرفته و الگوهای مورد بررسی در دو حالت «با لحاظ» و «بدون لحاظ» عدم حتمیت ارائه شده است.

بررسی الگوی کشت چندهدفه نشان می‌دهد که سطح زیر کشت برای دو محصول جو و سبزیجات افزایش یافته، به‌گونه‌ای که برای جو، از چهار هزار هکتار به ۵/۷۴ هزار هکتار (۴۳/۵۵ درصد) و برای سبزیجات، از سی‌صد به ۴۱۰ هکتار (۳۷/۳۸ درصد) افزایش یافته است. در الگوی کشت چندهدفه، کاهش سطح زیر کشت محصول کلزا از پانصد به ۱۲۰ هکتار (۷۵/۳۴ درصد) از دیگر نتایج قابل ملاحظه در مطالعهٔ حاضر است. این کاهش قابل ملاحظهٔ سطح زیر کشت، در تمامی اهداف مورد مطالعه به‌جز حداقل‌سازی ساعات کار ماشین‌آلات دیده می‌شود (با توجه بدین هدف، سطح زیر کشت محصول کلزا از پانصد هکتار به ۲۳۰ هکتار رسیده است). کاهش ۱۲/۴۳ درصدی سطح زیر کشت محصول گندم نیز از دیگر موارد قابل توجه در مرحلهٔ اول مطالعه است. در مرحلهٔ دوم مطالعه، مشخص شد که بیشترین سطح زیر کشت (۱۸۹۲۱ هکتار) در سطح احتمال ده درصد و مربوط به هدف حداکثرسازی کشت محصولات با انرژی بالا بوده و کمترین مقدار ممکن نیز برای هدف حداکثرسازی کود شیمیایی با مقدار ۱۶۵۱ هکتار و در سطوح ده، سی و پنجاه درصد رخ داده است. مقایسهٔ سطح زیر کشت گندم در حالت عادی با توجه به الگوی چندهدفه برابر با ۱۶۳۸۵ هکتار بوده که این میزان در سطوح ده، سی و پنجاه درصد برابر است، اما در سطح بیست درصد، این مقدار افزایش یافته و به ۱۷۶۲۸هکتار رسیده است.

نتایج بررسی الگوی کشت در الگوی چندهدفه نسبت به سطح زیر کشت جاری در هر دو نوع مدل حاکی از پیشنهاد جدی در کاهش سطح زیر کشت برخی محصولات کشاورزی نظیر کلزا و افزایش سطح زیر کشت محصولاتی مانند جو و سبزیجات در شهرستان ملاثانی است. البته مطالعه‌ای برای بررسی تمایل کشاورزان به اجرای الگوی پیشنهادی بسیار ضروری می‌نماید، زیرا با انجام چنین مطالعه‌ای، علاوه بر واسنجی نتایج مدل در مطالعهٔ حاضر، دیدگاهی جامع‌تر نیز برای انجام مطالعات آتی ترسیم خواهد شد. با این وصف، برای مقابله با این معضل، در آینده، باید از سطح زیر کشت برخی محصولات کشاورزی استان خوزستان کاسته شود و در عوض، با تغییراتی که در الگوی کشت استان صورت می‌گیرد، به‌سوی افزایش بهره‌وری

استفاده از منابع آب به‌شدت کمیاب در استان، تغییر راهبرد داده شود. از دیدگاه نوع برنامه‌ریزی، این پیشنهاد را می‌توان به برنامه‌ریزان راهبردی برای ایجاد قوانین تشویقی و بازدارنده در کاهش سطح زیر کشت و به برنامه‌ریزان عملیاتی برای ترویج و اجرای این قوانین ارائه کرد. یکی از مهم‌ترین اقدامات احتمالی تحویل حجمی آب آبیاری است؛ از آنجا که حدود هشتاد درصد از آب آبیاری مصرفی شهرستان ملاثانی از طریق شبکه‌های آبیاری و زهکشی تأمین می‌شود، اجرای این پیشنهاد بسیار ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر از راه‌هایی مانند نصب کنتور هوشمند است.

منابع

1. Bahrami, N., Dourandish, A., Shahnoushi, N. and Kohansal, M. (2014). Determining optimal cropping pattern in Esfarayen city (application of fuzzy programming with interval values based on unlimited alpha-cuts. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 64: 12-24. (Persian)
2. Bertsimas, D. and Sim, M. (2003). Robust discrete optimization and network flows. *Mathematical Programming*, 98(1-3): 49-71.
3. Bertsimas, D. and Sim, M. (2004). The price of robustness. *Operations Research*, 52(1): 35-53.
4. De Oliveira, F., Volpi, N.M.P. and Sanquetta, C.R. (2003). Goal programming in a planning problem. *Applied Mathematics and Computation*, 140(1): 165-178.
5. 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)
6. Filippi, C., Mansini, R. and Stevanato, E. (2017). Mixed integer linear programming models for optimal crop selection. *Computers and Operations Research*, 81: 26-39.
7. Hazell, P.B. and Norton, R. (1986). Mathematical programming for economic analysis in agriculture. London, UK: Colliei MacMillan publisher.
8. Jayaraman, R., Colapinto, C., Torre, D.L. and Malik, T. (2015). Multi-criteria model for sustainable development using goal programming applied to the United Arab Emirates. *Energy Policy*, 87: 447-454.
9. 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*, 65: 137-158.
10. Julaei, R. Azar, A. and Chizari, A.H. (2005). Multi-regional planning models and its application in agriculture: a case study of Fars province. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 13: 87-112. (Persian)

11. KAJO (2014). Studies on the pattern of cultivation in the pilot province of Isfahan province located in Shahreza city. Ahvaz: Khouzestan Agriculture-Jahad Organization (KAJO). (Persian)
12. Majidi, N., Alizadeh, A. and Ghorbani, M. (2011). Determining the optimum cropping pattern for water resources management of Mashhad-Chenaran Plain. *Journal of Water and Soil*, 25(4): 12-28. (Persian)
13. 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): 1593-1600.
14. 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. *gricultural Economics and Development*, 30(3): 188-206. (Persian)
15. 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)
16. Mishra, B., Nishad, A.K. and Singh, S.R. (2014). Fuzzy multi-fractional programming for land use planning in agricultural production system. *Fuzzy Information and Engineering*, 6(2): 245-262.
17. Mousavi, S. and Akbari, S. (2014). Investigating the optimal cropping pattern and its impact on water resources management, case study: Marvdasht-Karbal. *Journal of Water Resources Engineering*, 7(22): 101-110. (Persian)
18. Rezaee Zaman, M. and Afruzi, A. (2015). Evaluation of climate change impacts on crop yields and proposing a change in cropping pattern strategy (case study: Simineh-Rood basin). *Journal of Soil and Water Conservation*, 4(4): 51-64. (Persian)
19. Sabouhi Sabouni, M. and Mardani, M. (2013). Application of robust optimization approach for agricultural water resource management under uncertainty. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(7): 571-581. (Persian)
20. Sante-Riveira, I., Boullon-Magan, M., Crecente-Maseda, R. and Miranda-Barros, D. (2008). Algorithm based on simulated annealing for land-use allocation. *Computers and Geosciences*, 34(3): 259-268.
21. 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.
22. Shirzadi, S., Sabouhi Sabouni, M. and Jalali, A. (2013). Determination of Kashmar Plain cultivar pattern based on preserving and maintaining the quality of groundwater resources. *Economics and Agricultural Development*, 26(4): 261-271. (Persian)

23. Siadat, A.S., Fathi, G. and Abdali, A. (2009). Determination of the most suitable crop rotation systems in Ahvaz region. *Iranian Journal of Crop Science*, 11(2): 174-192. (Persian)
24. Ustaoglu, E., Perpina Castillo, C., Jacobs-Crisioni, C. and Lavalle, C. (2016). Economic evaluation of agricultural land to assess land use changes. *Land Use Policy*, 56: 125-146.
25. Ward, F.A. (2007). Decision support for water policy: a review of economic concepts and tools. *Water Policy*, 9: 1–31.
26. Zeng, X., Kang, S., Li, F., Zhang, L. and Guo, P. (2010). Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. *Agricultural Water Management*, 98(1): 134-142.
27. Zhang, C., Engel, B.A., Guo, P., Zhang, F., Guo, S., Liu, X. and Wang, Y. (2018). An inexact robust two-stage mixed-integer linear programming approach for crop area planning under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 204: 489-500.