

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰، زمستان ۱۳۹۶

بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی در الگوی کشت منطقه‌ای استان اصفهان با استفاده از الگوهای برنامه‌ریزی چندمعیاره

مصطفی مردانی^۱، سامان ضیائی^۲، علیرضا نیکوئی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۳/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۳

چکیده

تجارت آب مجازی به عنوان یک راهکار جدید در دسترسی به منابع جهانی آب، توجه مجامع مختلف جهانی را جلب کرده و اختصاص سهم ۹۰ درصدی بخش کشاورزی در این تجارت لزوم توجه ویژه به آن را نمایان ساخته است. مطالعه حاضر با هدف بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی در ۲۳ شهرستان واقع در استان اصفهان صورت گرفت. به این منظور، یک الگوی منطقه‌ای کشت چندمعیاره با توانایی برنامه‌ریزی نقل و انتقال محصولات تولیدی طراحی و اجرا شد. نتایج نشان داد که استان اصفهان در الگوی کشت جاری ۱۱۸/۷ میلیون

۱. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان m.mardani@ramin.ac.ir

۲. استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه زابل (نویسنده مسئول) samanziaee@gmail.com

۳. استادیار بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان anikooie@yahoo.com

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

مترمکعب خالص صادرات آب مجازی داشته و اجرای الگوی چندمعیاره منجر به ۱۷/۸ میلیون مترمکعب خالص واردات آب مجازی شده است. بنابراین، بهبود خالص واردات آب مجازی مقدار ۱۳۶/۵ میلیون مترمکعب بوده که این میزان، بهینه‌سازی مبادلات را نشان می‌دهد. در این راستا، شاخص سرانه آب تجدیدپذیر (فالکن مارک) با میانگین ۱۱۹ مترمکعب در سال توسط الگوی چند معیاره بهبود یافت. نتایج حاصل می‌تواند کمک شایانی به مدیران تصمیم‌گیرنده در زمینه بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی داشته باشد. از این منظر می‌توان به تعیین دقیق خالص مبادلات آب مجازی منطقه‌ای به کمک انتقال محصولات کشاورزی به جهت مقابله با توزیع زمانی و مکانی نامناسب نزولات جوی در استان اصفهان اشاره نمود.

طبقه بندی JEL: C02, C61, Q15, Q25

کلیدواژه‌ها: سرانه آب تجدید پذیر، شاخص فالکن مارک، تنش آبی، استان اصفهان

مقدمه

بخش کشاورزی در ایران و جهان بزرگترین مصرف کننده منابع آب می‌باشد؛ اما برخلاف میانگین جهانی که نشانگر تخصیص ۷۰ درصد از کل منابع آب مصرفی به این بخش است، در ایران و با وجود قرار گرفتن کشور در منطقه‌ای خشک این نسبت بیش از ۹۰ درصد است (۱). افزون بر رشد تقاضای آب و عدم ثبات فزاینده در عرضه آن، آب قابل دسترس برای آبیاری به گونه‌ای پیوسته در حال کاهش است (۲). در واقع، بخش کشاورزی تکیه‌گاه اساسی در تأمین نیازهای غذایی کشور بوده و در این مورد نقش آب به عنوان مهم‌ترین عامل محدود کننده در توسعه بخش کشاورزی، اهمیت اقتصادی آن را بسیار تعیین کننده نموده است.

هیچ راه عملی برای تجارت حجم عمده و کافی آب خالص همچون دیگر کالاها وجود ندارد؛ چراکه به لحاظ اقتصادی، وزن و حجم این نهاد از عوامل بازدارنده می‌باشد.

بهینه‌سازی مبادلات آب

بنابراین یک کشور می‌تواند با انتخاب خویش به عنوان وارد کننده آب مجازی (در مقابل آب واقعی) خود را از فشار بر منابع آبی آزاد سازد (۳). در این راستا، کشورهای کم آب می‌توانند با واردات کالاهای کشاورزی، صنعتی و حتی خدمات، دسترسی خود به منابع جهانی آب را افزایش دهند (۴) و با دخالت دادن تجارت آب مجازی در سیاست‌های آبی، علاوه بر اینکه میزان آب قابل دسترس را برای خود افزایش دهند، از افزایش فشار بر منابع محدود خود نیز بکاهند و منجر به پایداری استفاده از این منابع گردند.

واژه آب مجازی، که توسط آلن (۵) ارائه شد، نشان داد که توسعه تجارت مواد غذایی بر مبنای مزیت نسبی و استفاده بهینه از فرصت‌های ایجاد شده می‌تواند علاوه بر کاهش مصرف آب جهانی سبب ارتقای رشد اقتصادی و رفاه اجتماعی گردد. بر اساس دیدگاه وی، آب مجازی که در یک محصول خاص وجود دارد، عبارت از حجم آب استفاده شده در فرایند تولید آن محصول است. طبق تعریف کامل‌تری از آب مجازی که اخیراً ارائه شده، آب مجازی جمع کل آب مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول (کالا) با توجه به شرایط اقلیمی و مکانی، زمان تولید و بازده می‌باشد (۶). این تعریف اشاره به این امر دارد که برآورد واردات و صادرات آب مجازی در مقیاس بین‌المللی و درون کشوری (استانی و شهرستانی) برای استفاده از منابع آب و خاک کشور بر اساس پتانسیل هر منطقه می‌تواند به عنوان یک راهکار اثربخش در تعدیل پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی در مناطق مختلف مد نظر قرار گیرد (۷).

بر اساس نظر کارشناسان موسسه بین‌المللی هیدرولیک و مهندسی محیط زیست (IHE)^۴ وابسته به یونسکو، ۶۷٪ تجارت آب مجازی در جهان مرتبط با تجارت جهانی محصولات زراعی، ۲۳٪ مربوط به محصولات دامی و تنها ۱۰ درصد مربوط به محصولات صنعتی می‌باشد (۶). این گزینه باعث توجه بیشتر کشورها به مقدار آب لازم برای تولید محصولات زراعی شده است. در این راستا، کشورها به دنبال افزایش امنیت غذایی به همراه کمیته‌سازی اثرات آن

4. International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE)

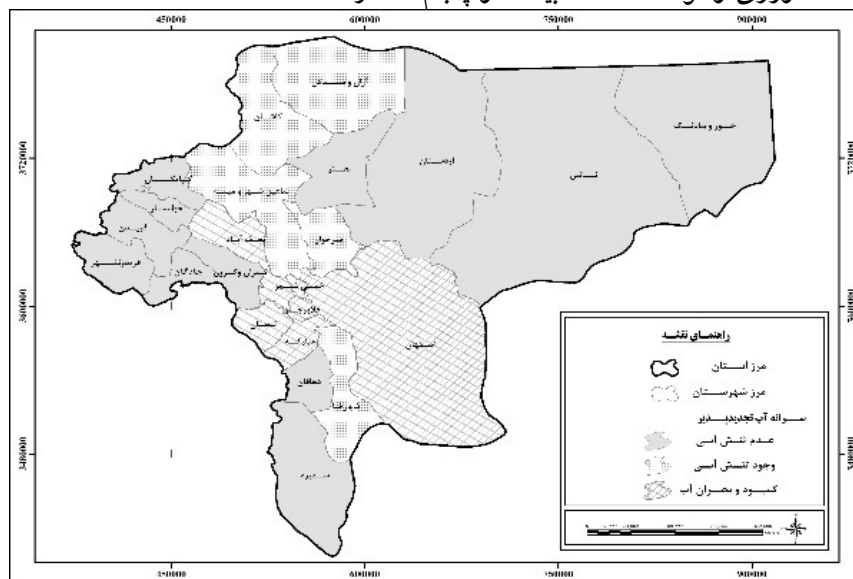
اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

روی منابع آب خود می‌باشند. در نتیجه، تجارت آب مجازی شاید منجر به واردات محصول از سایر کشورها به جای تولید آن در داخل کشور شده و به این ترتیب، از اثرات منفی استفاده از منابع آب آن کشور پرهیز شود (۸). هرچند واردات مواد غذایی به منظور استفاده از منبع تجارت آب مجازی، بخش‌های اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست یک کشور را تحت تأثیر قرار می‌دهد و با امنیت غذایی و فرهنگ آن کشور در ارتباط است، اما در کشورهای کم آب می‌توان با توجه به شرایط، ظرفیت‌ها و نیازهای داخلی و همچنین ملاحظات امنیت غذایی، نقطه بهینه‌ای را برای برآورد میزان واردات مواد غذایی به کشور ارائه کرد (۹). از این رو و با توجه به تشدید بحران کمبود آب در کشورهای مختلف جهان، موضوع آب مجازی به واسطه عمق و مفهوم آن در آینده از اهمیت ویژه‌ای در برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری‌های کلان آب (به ویژه در کشورهایی که در مناطق خشک و نیمه خشک قرار دارند) برخوردار خواهد شد؛ زیرا این کشورها را قادر می‌سازد تا با واردات کالاهای آب‌بر، آبی را که برای تولید آن مورد نیاز بوده در سایر بخش‌ها استفاده نمایند (۱۰).

استفاده از واژه آب مجازی در کاربرد کشاورزی سه مفهوم آب، غذا و تجارت این محصولات را به یکدیگر پیوند می‌دهد (۱۱). به تبع استفاده از مفهوم تجارت در این مبحث، جریان تبادل کالاهای کشاورزی بین مناطق مختلف نیز قوت می‌گیرد. دو مفهوم آب و غذا نیز ذهن را به یک گام عقب‌تر از مرحله تبادل محصولات یعنی تولید آن محصولات سوق داده که در بخش کشاورزی موجب تداعی شدن مبحث گسترده الگوی منطقه‌ای کشت می‌شود (۱۲-۱۴). الگوی کشت بر مبنای برنامه‌ریزی منطقه‌ای به تعیین نظام کشت مبتنی بر شرایط اقلیمی، بهره‌برداری بهینه از منابع و عوامل تولید متناسب با پتانسیل‌های منطقه‌ای و مزیت اقتصادی با رعایت اصول تولید محصولات کشاورزی و ملاحظات زیست محیطی در راستای سیاست‌های کلان کشور و تأمین امنیت غذایی می‌پردازد (۱۵). بنابراین، طراحی الگویی جامع که توانایی گنجاندن سه مفهوم تجارت، آب و غذا را داشته باشد، مستلزم استفاده از الگوی کشت با خصوصیت تبادل منطقه‌ای کالاهای کشاورزی است (۱۶ و ۱۷).

بهینه‌سازی مبادلات آب

استان اصفهان با قرارگیری در منطقه خشک و نیمه خشک مرکزی، یکی از استان‌های کم آب ایران است که همواره تحت تأثیر پدیده خشکسالی بوده است. گسترش اراضی تحت آبیاری از طریق احداث و توسعه شبکه‌های آبیاری و توسعه صنایع در استان اصفهان حجم قابل ملاحظه‌ای از منابع آب استان به ویژه رودخانه زاینده رود را مصرف می‌نماید (۱۸). از سوی دیگر، رشد جمعیت اصفهان و خشکسالی‌های اخیر تأمین آب استان را دچار مشکل نموده است به طوری که علی‌رغم اجرای طرح‌های انتقال آب، افزایش در مصارف آب باعث گردیده تا استان تحت تنش آبی قرار گیرد (۱). توزیع زمانی و مکانی نامناسب نزولات جوی و کمبود رواناب در فصول مصرف باعث گردیده که نیاز آبی استان عمدتاً از طریق حفر قنات و چاه‌های عمیق و نیمه عمیق تأمین گردد. محاسبه تنش آبی نسبی - که نشان‌دهنده نسبت میزان مصارف آب در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی به منابع آبی تجدیدشونده است - حاکی از آن می‌باشد که در تمامی شهرستان‌های استان (به جز شهرستان‌های چادگان، سمیرم، فریدونشهر و خورویبابانک) تنش آبی شدید وجود دارد (۱۹). شکل ۱ به صورت شماتیک وضعیت بحرانی منابع آب استان اصفهان را نشان می‌دهد. استفاده از مفهوم آب مجازی در تأمین تقاضای محصولات کشاورزی با توجه به مزیت نسبی تولید محصولات می‌تواند یکی از راهکارهای مقابله با این بحران در نظر گرفته شود.



شکل ۱. نقشه استان اصفهان به همراه نمایش سطوح تنش آبی نسبی و تقسیمات سیاسی در سطح شهرستان

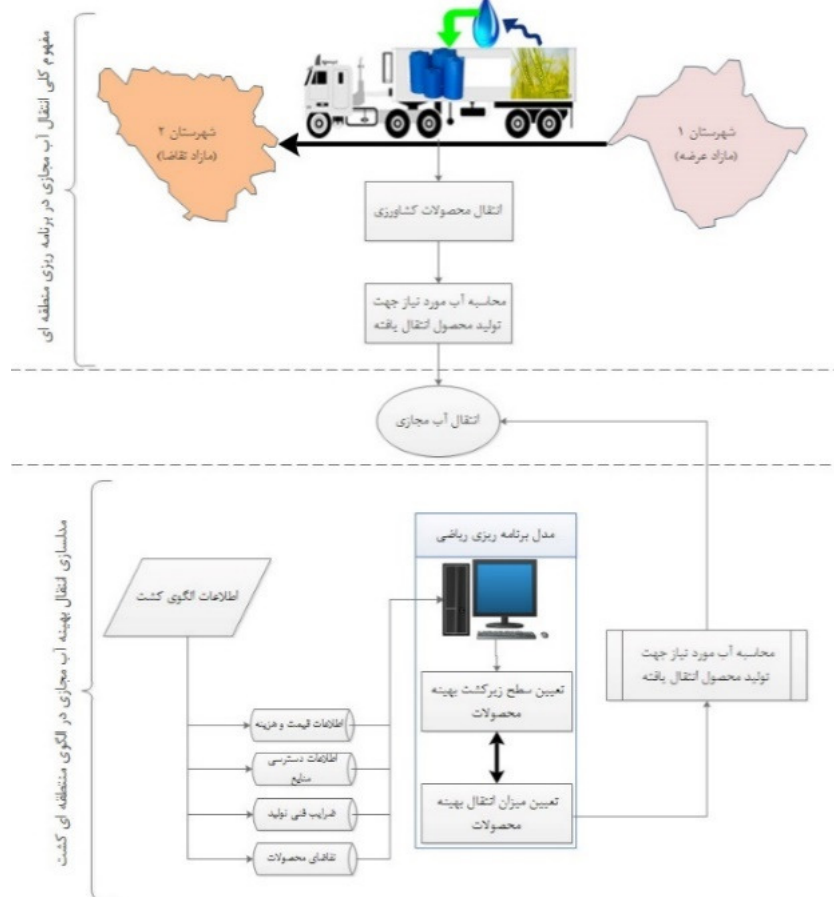
با این مقدمه، هدف از انجام مطالعه جاری، تعیین برنامه‌ریزی منطقه‌ای کشت چند معیاره برای ۲۳ شهرستان واقع در استان اصفهان به جهت بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی از طریق امکان انتقال محصولات کشاورزی بین این شهرستان‌ها بود. در الگوی معرفی شده به اهداف گوناگون اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی به صورت جداگانه و توأمان توجه شده است.

مواد و روش‌ها

شکل ۲ نمای واضحی از مفهوم آب مجازی در دو بعد کلی و الگوسازی بهینه را نشان می‌دهد. در قسمت مفهوم کلی انتقال آب مجازی (بالای شکل ۲) دو شهرستان ۱ و ۲ به ترتیب دارای مازاد عرضه و تقاضا در یک محصول بوده که جهت ایجاد تعادل در بازار این مازاد عرضه از شهرستان ۱ به شهرستان ۲ که دچار کمبود عرضه (مازاد تقاضا) است، حمل می‌شود. در این میان با استفاده از محاسبه میزان آب مصرف شده در تولید این محصول در شهرستان ۱

بهینه‌سازی مبادلات آب

می‌توان مشخص نمود که واردات آب مجازی به شهرستان ۲ (به عبارت دیگر صادرات آب مجازی از شهرستان ۱) به چه میزان است.



شکل ۲. نمایی از مفهوم انتقال آب مجازی در دو بعد کلی و الگوسازی منطقه‌ای کشت

بعد الگوسازی انتقال بهینه آب مجازی با استفاده از الگوی منطقه‌ای کشت از سه قسمت اصلی اطلاعات الگوی کشت، الگوی برنامه‌ریزی ریاضی و محاسبه آب مجازی انتقال یافته تشکیل شده است. چهار دسته از اطلاعات اصلی شامل اطلاعات قیمت و هزینه تولید، دسترسی منابع، ضرایب فنی تولید و تقاضای محصولات کشاورزی می‌باشد. الگوی برنامه‌ریزی ریاضی طراحی شده در این مطالعه شامل دو بخش اساسی تعیین میزان سطح

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

زیرکشت بهینه در هر منطقه و تعیین میزان انتقال مازاد کالای تولیدشده از منطقه‌ای به منطقه دیگر می‌باشد. پس از تعیین میزان نقل و انتقالات محصولات کشاورزی برای هر منطقه، به محاسبه میزان آب مجازی انتقال یافته پرداخته می‌شود.

ساختار اصلی الگوی برنامه‌ریزی ریاضی مبتنی بر مطالعات اخیر صورت گرفته در خصوص الگوسازی الگوی منطقه‌ای کشت و حمل و نقل محصولات کشاورزی می‌باشد (برای نمونه: مطالعات مردانی و همکاران (۲۰)؛ مصون و همکاران (۲۱)؛ نیکویی و وارد (۲۲)). این الگو شامل قسمت‌های توابع هدف و قیدهای مربوط به آن بوده که متعاقباً بررسی می‌گردد.

با توجه به ازدیاد نمادهای به کار رفته در مطالعه حاضر و همچنین جهت درک بهتر، نمادهای مربوط به هر یک از مجموعه‌ها و متغیرها در جداول ۱ و پارامترها در جداول ۲ شرح داده شده است.

جدول ۱. فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف مجموعه‌ها و متغیرها

نماد	شرح
$d2 \in \{1, 2, \dots, D2\}$	مجموعه مربوط به سطح دوم تقسیمات سیاسی (شهرستان)
$j \in \{1, 2, \dots, J1\}$	مجموعه مربوط به گروه اصلی محصولات
$k \in \{1, 2, \dots, K\}$	مجموعه مربوط به گروه نهاده‌های تولید
$m \in \{1, 2, \dots, 12\}$	مجموعه مربوط به ماه‌های سال
$r \in \{1, 2, \dots, R\}$	مجموعه مربوط به واحدهای صنعتی و صنایع تبدیلی
$q \in \{1, 2, \dots, Q\}$	مجموعه مربوط به واحدهای دامپروری و پرورش طیور
$Land_{-}V_j^{d2}$	متغیر مربوط به مقدار زمین تخصیص داده شده به محصول j در شهرستان $d2$
$Water_{-}V_{jm}^{d2}$	متغیر مربوط به مقدار آب تخصیص داده شده به محصول j در شهرستان $d2$
$NetBenefit_{-}V^{d2}$	متغیر مربوط به سود ناخالص کل در شهرستان $d2$
$Prod_{-}d2_{-}V_j^{d2}$	متغیر مربوط به مقدار تولید تخصیص داده شده حاصل از کشت محصول j در شهرستان $d2$
$ObjPr ofit_{-}V$	متغیر مربوط به سود ناخالص کل در الگو (متغیر تابع هدف)
$ObjWater_{-}V$	متغیر مربوط به آب آبیاری کل در الگو (متغیر تابع هدف)
$ObjPes\& fert_{-}V$	متغیر مربوط به هزینه کل مصرف کود و سم در الگو (متغیر تابع هدف)
$ObjLabor_{-}V$	متغیر مربوط به تعداد نیروی کار کل در الگو (متغیر تابع هدف)
$CityTrans_{-}V_{jl}^{d2d2}$	متغیر میزان حمل و نقل واحد محصول از شهرستان $d2$ به سایر شهرستان‌ها

ادامه جدول ۱

متغیر میزان صادرات تولید محصول از شهرستان d2 به خارج استان	$EXP_{Province_V_j}^{d2}$
متغیر میزان واردات تولید محصول از شهرستان d2 به خارج استان	$IMP_{Province_V_j}^{d2}$
رواناب ناشی از باران	$WaterRunRain$
رواناب ورودی	$IMP_{WaterRun}$
حجم آب نفوذ یافته	$Influ$
رواناب خروجی	$EXP_{WaterRun}$
جریان زیرزمینی ورودی	$IMP_{GrandWater}$
جریان زیرزمینی خروجی	$EXP_{GrandWater}$

جدول ۲. فهرست نمادهای مورد استفاده در مدل برای تعریف پارامترها

شرح	نماد
ضریب اشغال زمین برای محصول j، ماه m در شهرستان d2	$LandSch_{jm}^{d2}$
هزینه نهاده تولید از نوع k برای کشت محصول j در شهرستان d2	$InputCost_{jk}^{d2}$
مقدار زمین قابل کشت در شهرستان d2	$LandRHS^{d2}$
مقدار آب خالص مورد نیاز برای کشت یک هکتار از محصول j در ماه m برای شهرستان d2	$NetWaterReq_{jm}^{d2}$
راندمان آبیاری برای محصول j در شهرستان d2	$WaterEff_j^{d2}$
مقدار آب قابل دسترس در ماه m برای شهرستان d2	$WaterRHS_m^{d2}$
مقدار مورد نیاز از نهاده تولید نوع k برای کشت یک هکتار از محصول j در شهرستان d2	$InputAMT_{jk}^{d2}$
متوسط عملکرد محصول j در شهرستان d2	$CropYeild_j^{d2}$
مقدار قابل دسترس از نهاده تولید نوع k در شهرستان d2	$InputRHS_k^{d2}$
سود ناخالص برای کشت یک هکتار از محصول j در شهرستان d2	$CropBenefit_j^{d2}$
سود ناخالص جاری شهرستان d2 واقع در استان d1 و شهرستان d2	$NetBenefitCrrent^{d2}$
حداکثر مقدار تقاضای شهرستان d2 از محصول j	$Demand_Max_j^{d2}$
حداقل مقدار تقاضای استان d2 از محصول j	$Demand_Min_j^{d2}$
ضریب هزینه حمل و نقل واحد محصول j	$CostDisj_1$
جمعیت مناطق شهری و روستایی در شهرستان d2	POP^{d2}
نیاز سرانه هر فرد به محصول j	$UNITDM_j$
جمعیت مناطق روستایی در شهرستان d2	$RURPOP^{d2}$
جمعیت دام و طیور نوع q در شهرستان d2	$AnimPOP_q^{d2}$
مصرف سرانه دام و طیور نوع q از محصول j در شهرستان d2	WNM_{qj}^{d2}
خودمصرفی سرانه در مناطق روستایی برای محصول j	$PHEAD_j$

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

ادامه جدول ۲

نیاز مصرفی محصول i برای صنعت r در شهرستان $d2$	WNM_{ir}^{d2}
فاصله بین شهرستان‌های متفاوت در استان	$CirvDist_{d2d2}$
فاصله مربوط به خروج محصول i از استان	$OutProvinDist_i$
ضریب قیمت واردات محصول i به شهرستان $d2$	$CropIMPPrice_i^{d2}$
نیاز ناخالص آبی محصول i در شهرستان $d2$	$Water Re q_i^{d2}$
مقدار آب مجازی محصول i در شهرستان $d2$	$VirtualWater_{er_i}^{d2}$
مقدار واردات آب مجازی از محصول i در شهرستان $d2$	$IMPVirWater_{-V_i}^{d2}$
مقدار صادرات آب مجازی از محصول i در شهرستان $d2$	$EXPVirWater_{-V_i}^{d2}$
مقدار وارداتخالص آب مجازی از محصول i در شهرستان $d2$	$NetIMPVirWater_{-V_i}^{d2}$
حجم آب تجدیدپذیر	$RevWater_{-V}$
ضریب قیمت واردات بین شهرستانی برای محصول i	$CronIMPPrice_{i}^{Exp2}$
تفاوت قیمت درون استانی برای محصول i	$DiffCropCityPrice_{ii}^{d2IMP}$
تفاوت قیمت برون استانی برای محصول i	$DiffCropPrice_{ji}^{d2}$

اهداف متفاوتی از الگوی منطقه‌ای کشت می‌توان متصور شد. در مطالعه حاضر بیش از یک هدف دنبال شده که شامل حداکثرسازی سود ناخالص (اقتصادی)، حداقل‌سازی هزینه استفاده از کود و سم (زیست محیطی)، حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری (زیست محیطی) و حداکثرسازی استفاده از نیروی کار (اجتماعی) می‌باشد. الگوی جبری این اهداف به ترتیب اهمیت آنها به صورت زیر است:

$$\begin{cases}
 1 \rightarrow \text{Min: } ObjWater_{-V} = \sum_{d2=1}^{D2} \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M (NetWater Re q_{jm}^{d2} / WaterEff_j^{d2}) Land_{-V_j}^{d2} \\
 2 \rightarrow \text{Max: } ObjPr ofit_{-V} = \sum_{d2=1}^{D2} NetBenefit_{-V}^{d2} \\
 3 \rightarrow \text{Min: } ObjPse \& Fert_{-V} = \sum_{d2=1}^{D2} \sum_{j=1}^J InputCost_{jk}^{d2} Land_{-V_j}^{d2} \quad \forall k = \{\text{pesticide, fertilizer}\} \\
 4 \rightarrow \text{Max: } ObjLabor_{-V} = \sum_{d2=1}^{D2} \sum_{j=1}^J InputAMT_{jk}^{d2} Land_{-V_j}^{d2} \quad \forall k = \{\text{Labor}\}
 \end{cases} \quad (1)$$

شایان ذکر است که وزن‌های در نظر گرفته شده جهت حل الگوی برنامه‌ریزی چندمعیاره با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان بخش کشاورزی و به شیوه تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ^۵ برآورد گردیدند (۲۳).

بهبودسازی مبادلات آب.....

در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم‌گیری‌های چندهدفی، می‌توان از منطق فازی برای همگون کردن اهداف استفاده کرد (۲۷-۲۴). از این روش تاکنون در مطالعات گسترده‌ای استفاده شده است (۲۸-۳۱). الگوی در نظر گرفته شده برای مطالعه حاضر در چارچوب هدف حداکثر مسافت مرکب آرمانی^۶ اهداف یادشده از حد بحرانی هر یک طراحی شده است. به دلیل غیرخطی بودن تابع مسافت مرکب آرمانی مطالعه جاری، از روش برنامه‌ریزی غیرخطی^۷ برای حل آن استفاده شد. به این ترتیب، با توجه به فازی‌سازی اهداف مطالعه و تلاش در جهت تحقق یک آرمان کلی بر اساس حداکثر کردن مقدار تابع مسافت مرکب آرمانی آنها، ساختار الگو به شکل یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندمعیاره^۸ که امکان مصالحه چند هدف را به‌طور توأم مشروط بر محدودیت منابع فراهم می‌نماید، طراحی شده است. در مطالعه حاضر چارچوب کلی الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندمعیاره، برگرفته از مطالعه جانز و بارنس (۳۰) است.

تأمین هدف این الگو در چارچوب مجموعه قیدهایی صورت می‌پذیرد. در این خصوص، مقدار کل زمین تخصیص داده‌شده به محصولات نباید از کل زمین قابل کشت برای هر شهرستان (در هر منطقه) و در هر ماه مطابق رابطه ۲ بیشتر باشد:

$$\sum_{j=1}^J LandSch_{jm}^{d2} Land_V_j^{d2} \leq LandRHS^{d2} \quad \forall d2, m \quad (2)$$

در این رابطه ضریب اشغال زمین و به‌عبارت دیگر تعداد ماه‌هایی که هر محصول زمین را اشغال می‌کند مد نظر قرار گرفته است. با توجه به اینکه برنامه‌ریزی ارائه شده در این مطالعه یک برنامه‌ریزی منطقه‌ای بوده که زیر مجموعه‌ای از برنامه‌ریزی ساختاری است، اعمال ضریب اشغال زمین در این محدودیت کفایت می‌کند. بررسی تناوب کشت محصولات در برنامه‌ریزی‌های عملیاتی و در سطوح با مقیاس پایین‌تر مصداق داشته و عملیاتی است.

6. Fuzzy Composite Distance

7. Non-linear Programming (NLP)

8. Multi Objective Fuzzy Non-Linear Programming (MOFNLP)

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

موازنه سطوح متفاوت میزان مصرف آب آبیاری به تفکیک ماه، شهرستان و محصول از موارد بسیار پراهمیت در تعیین الگوی کشت محسوب می‌شود. در این میان توجه به عدم انحراف الگو از مقدار آب قابل دسترس^۹ برای مناطق و ماه‌های مختلف مد نظر قرار گرفته است. راندمان آبیاری هر یک از زیرحوضه‌های آبریز زاینده رود در آرشو سازمان جهاد کشاورزی وجود داشته و محدوده‌ای بین ۳۳/۷ تا ۴۵/۲ درصد را پوشش می‌دهد:

$$(NetWaterReq_{jm}^{d2} / WaterEff_j^{d2}) Land_V_j^{d2} \leq WaterRHS_m^{d2} \quad \forall d2, j, m \quad (3)$$

عدم انحراف میزان استفاده از هر نهاده کشاورزی از مقدار قابل در دسترس این نهاده‌ها از محدودیت‌های سیستمی مربوط به الگوی کشت می‌باشد:

$$\sum_{j=1}^J InputAMT_{jk}^{d2} Land_V_j^{d2} \leq InputRHS_k^{d2} \quad \forall d2, k \quad (4)$$

مجموعه محدودیت‌های ۵ و ۶ به ترتیب سود ناخالص محصولات کشاورزی و حداقل

میزان سود مورد انتظار را به لحاظ جبری تبیین می‌کنند:

$$\begin{aligned} NetBenefit_V^{d2} = & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (CropBenefit_j^{d2} - InputCost_{jk}^{d2}) Land_V_j^{d2} \\ & - \sum_{j=1}^J \sum_{EXP}^{D2} CropIMP_{City} Price_j^{Expd2} CityTrans_V_j^{Expd2} \\ & + \sum_{j=1}^J \sum_{IMP}^{D2} (DiffCrop_{City} Price_j^{d2IMP} - CityDista_j^{d2IMP} CostDista_j) CityTrans_V_j^{d2IMP} \\ & + \sum_{j=1}^J (DiffCrop_{Price_j}^{d2} - CostDista_j OutProvinDist_j) EXPProvince_V_j^{d2} \\ & - \sum_{j=1}^J CropIMP_{Price_j}^{d2} IMPProvince_V_j^{d2} \quad \forall d2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$NetBenefit_V^{d2} \geq NetBenefitCrrrent^{d2} \quad \forall d2 \quad (6)$$

۹. عدم تفکیک نوع منبع آب (زیرزمینی و سطحی) به دلیل خشکسالی‌های اخیر تنها شریان حیاتی سطحی استان اصفهان یعنی رودخانه زاینده‌رود و عدم استفاده از آب سطحی جهت آبیاری مزارع حتی در شبکه‌های آبیاری به جز در مواقع بسیار ضروری می‌باشد.

بهینه‌سازی مبادلات آب

مجموع محصول z که در شهرستان $d2$ پس از نقل و انتقال وجود دارد از طریق حاصل جمع تولید داخل و واردات داخلی و خارجی آن محصول و کسر این مقدار از صادرات درون و برون استانی آن محصول به دست آمده که فرمول جبری آن به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} & CropYield_j^{d2} Land_V_j^{d2} - EXPProvince_V_j^{d2} \\ & + IMPProvince_V_j^{d2} + \sum_{EXP}^{D2} CityTrans_V_{j1}^{Expd2} \\ & - \sum_{IMP}^{D2} CityTrans_V_{j1}^{d2IMP} = Prod_d2_V_j^{d2} \quad \forall j, d2 \end{aligned} \quad (7)$$

ملاحظه می‌شود که انتقال محصولات کشاورزی درون و برون استانی قابل تعمیم است. با توجه به ضرایب معادله ۵ و همچنین میزان تقاضای هر شهرستان برای هر محصول میزان نقل و انتقال محصولات کشاورزی تعیین می‌گردد.

معادله ۸ برقراری عرضه و تقاضای هر شهرستان برای هر محصول را تعیین می‌نماید.

تقاضای محصولات کشاورزی بسته به نوع متقاضی تعیین می‌گردد:

$$\begin{aligned} Prod_d2_V_j^{d2} = & (POP^{d2}UNITDM_j) + (RURPOP^{d2}PHEAD_j) \\ & + \left(\sum_{q=1}^Q AnimPOP_q^{d2} WNM_{qj}^{d2} \right) + \sum_{r=1}^R WNI_{rj}^{d2} \quad \forall j, d2 \end{aligned} \quad (8)$$

در معادله ۸ چهار جمله سمت راست معادله به ترتیب مربوط به نیاز سرانه مناطق شهری و روستایی (امنیت غذایی)، نیاز خود مصرفی، نیاز واسطه واحدهای دامداری و پرورش طیور و نیاز واسطه واحدهای صنعتی و صنایع تبدیلی به محصولات کشاورزی تولیدی هر شهرستان می‌باشند. انتقال مازاد یک محصول از هر شهرستان (عرضه) در الگوی ارائه شده در مجموعه محدودیت ۷ و ۸ رخ داده که توانایی انتقال محصول بین مناطق (در مطالعه حاضر شهرستان‌ها) را دارا است.

در این مطالعه به منظور ارزیابی‌های به هم پیوسته مصارف آب بخش کشاورزی، از مفهوم آب مجازی و تجارت آب مجازی استفاده شد. به طور کلی مقدار آب مجازی یک

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

محصول می‌تواند به صورت نسبی از متوسط نیاز آبی به متوسط عملکرد آن محصول محاسبه شود:

$$WaterReq_j^{d2} = \sum_{m=1}^{12} (NetWaterReq_{jm}^{d2}) / WaterEff_j^{d2} \quad (9)$$

$$VirtualWater_j^{d2} = WaterReq_j^{d2} / CropYield_j^{d2} \quad (10)$$

مبادله آب مجازی برای هر محصول که شامل واردات و صادرات می‌شود از حاصل ضرب مقدار کمی واردات یا صادرات آن محصول در میزان آب مجازی مربوط به آن محاسبه می‌شود:

$$IMPVirWater_{-V_j^{d2}} = VirtualWater_j^{d2} * (IMPProvince_{-V_j^{d2}} + CityTrans_{-V_{j1}^{Expd2}}) \quad (11)$$

$$EXPVirWater_{-V_j^{d2}} = VirtualWater_j^{d2} * (EXPProvince_{-V_j^{d2}} + CityTrans_{-V_{j1}^{d2IMP}}) \quad (12)$$

بنابراین واردات خالص آب مجازی را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$NetIMPVirWater_{-V_j^{d2}} = IMPVirWater_{-V_j^{d2}} - EXPVirWater_{-V_j^{d2}} \quad (13)$$

جهت ارزیابی وضعیت منابع آب در استان اصفهان پس از اجرای الگوی مطروح، شاخص‌های متعددی از جمله شاخص تنش آبی نسبی، شاخص حداکثر اراضی فاریاب، و شاخص فالکن مارک (FI)^{۱۰} را می‌توان به کار برد. در این مطالعه با توجه به فراگیر بودن و همچنین با در نظر گرفتن حجم آب تجدیدپذیر در هر شهرستان، از شاخص فالکن مارک جهت تحلیل وضعیت تعادل منابع آب استفاده شد. فالکن مارک در مطالعات خود بحران آب را براساس مقدار سرانه منابع تجدیدپذیر سالانه هر کشور تعریف و میزان سرانه آب ۱۷۰۰ و ۱۰۰۰ مترمکعب در سال را به ترتیب به عنوان شاخص تنش و کمبود معرفی کرده است (۳۲). حجم آب تجدیدپذیر را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$RevWater_{-V} = WaterRunRain + IMPWaterRun + Inflow - EXPWaterRun + IMPGrandWater - EXPGrandWater \quad (14)$$

از معادله ۱۴ به وضوح مشخص است که دو پارامتر $EXPWaterRun$ و $EXPGrandWater$ که به ترتیب مربوط به جریان خروجی رواناب و آب‌های زیرزمینی هستند، باعث کاهش حجم

10. Falkenmark Index

بهینه‌سازی مبادلات آب

آب تجدیدپذیر ($RevWater_V$) و به تبع آن ایجاد تنش‌های آبی در مناطق مختلف می‌شوند. این دو پارامتر دقیقاً دو مؤلفه مربوط به محاسبه آب آبی^{۱۱} بوده که به مقدار آب استحصالی از منابع آب سطحی و زیرزمینی گفته می‌شود که در فرایند تولید استفاده شده و به مکان اصلی خود باز نمی‌گردد (۳۳). چهار پارامتر دیگر این معادله شامل $WaterRunRan$ ، $IMPWaterRun$ ، $Influ$ و $IMPGrandWater$ به ترتیب مربوط به رواناب ناشی از باران، رواناب ورودی، حجم آب نفوذیافته و جریان زیرزمینی ورودی می‌باشند. از اهداف مذکور در رابطه ۱، که در اولویت اول نیز قرار دارد، کاهش میزان مصرف آب آبیاری از طریق حداقل‌سازی میزان مصرف است. این مهم کمک شایانی به بهبود تجدید منابع آب آبی در مناطقی می‌کند که با تنش آبی شدید رو به رو هستند، به این صورت که با انجام حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری محصولاتی که از نظر نیاز ناخالص آبی دارای مزیت نیستند با کاهش سطح زیرکشت مواجه شده و اگر تقاضایی در آن منطقه برای آن محصول وجود داشته باشد از طریق نقل و انتقال محصولات از منطقه‌ای تهیه می‌شود که دارای مزیت باشد.

پس از فرموله کردن ساختار ریاضی الگوی منطقه‌ای کشت، الگوی ریاضی مربوطه در بسته نرم‌افزاری GAMS کدنویسی شد (۳۴). روش بهینه‌سازی انتخاب شده برای حل این مسئله CONOPT3 بوده که برای حل مسائل برنامه‌ریزی غیر خطی بزرگ مقیاس است. اطلاعات مربوط به هزینه تولید و قیمت محصولات کشاورزی از طریق تکمیل ۲۳ پرسش‌نامه استاندارد سازمان جهاد کشاورزی به تفکیک محصولات زراعی و باغی توسط کارشناسان هر شهرستان در سال ۱۳۹۳ جمع‌آوری گردید. لازم به ذکر است که مبنای تکمیل پرسش‌نامه مذکور توسط کارشناسان هر شهرستان براساس تکمیل همین نوع پرسش‌نامه برای تعداد بهره‌برداران زراعی و باغی وارد شده در جمعیت نمونه طرح هزینه تولید محصولات زراعی و باغی (که از روش نمونه‌گیری سیستماتیک صورت پذیرفته) می‌باشد و جمع‌بندی نتایج در پرسش‌نامه نهایی هر

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

شهرستان وارد شده و با مکاتبه رسمی مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان جهت استفاده در این تحقیق، از طریق سازمان جهاد کشاورزی استان در اختیار محققین قرار گرفته است. سایر اطلاعات مورد نیاز نیز از سازمان‌ها و ادارات دولتی اعم از سازمان جهاد کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، شرکت میراب زاینده رود و سازمان آب منطقه‌ای استان اصفهان دریافت گردید.

نتایج و بحث

با توجه به اهمیت هر یک از اهداف، وزن‌های در نظر گرفته شده جهت حل الگوی برنامه‌ریزی چندمعیاره برای حداقل‌سازی مصرف آب آبیاری، حداکثرسازی سود خالص، حداکثرسازی استفاده از نیروی کار و حداقل‌سازی مصرف کود شیمیایی و آفت‌کش به ترتیب ۰/۷، ۰/۱، ۰/۱۵ و ۰/۰۵ بوده که با استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان بخش کشاورزی و به شیوه تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP)^{۱۲} برآورد گردیدند.

الگوی بهینه کشت گروه اصلی محصولات استان اصفهان به تفکیک اهداف مورد مطالعه در جدول ۳ گزارش شده است. ملاحظه می‌شود که دو گروه اصلی غلات و علوفه در کلیه الگوها کاهش سطح زیرکشت نسبت به الگوی جاری را تجربه کرده‌اند به طوری که در گروه غلات سطح زیرکشت از ۱۵۴۷۷۲ هکتار در الگوی جاری به ۱۰۸۷۲۳ در الگوی چندمعیاره کاهش یافته است (کاهش ۳۰ درصدی). این کاهش در گروه علوفه شدیدتر بوده و سطح زیرکشت علوفه به میزان ۴۷ درصد کاهش یافته است. صبوحی و سلطانی (۳۵) نیز با وارد کردن مبحث آب مجازی در الگوی کشت خود برای منطقه خراسان به نتیجه‌ای مشابه در کشت محصول گندم و جو دست یافتند. اما این نتیجه عکس مطالعه دهقانپور و بخشوده (۳۶)

12. Analytic Hierarchy Process

بهینه‌سازی مبادلات آب

در منطقه مرودشت رقم خورد به طوری که در مطالعه آنها سطح زیرکشت محصول گندم ۹۰ درصد و ذرت ۲۳۰ درصد افزایش داشت که البته دلیل این امر اضافه شدن سطح زیرکشت این دو محصول به جای محصول برنج با نیاز آبی بسیار بالا می‌باشد. گروه اصلی گیاهان دارویی بیشترین درصد تغییر در سطح زیرکشت با میزان ۱۵۶ درصد را به خود اختصاص داده است. البته میزان مطلق این افزایش ۳۰۱۹ هکتار بوده که در مجموع سطح زیرکشت استان رقم بالایی محسوب نمی‌شود. با این وجود مستعد بودن برخی از شهرستان‌ها نظیر مبارکه و نجف‌آباد در زمینه کشت گیاهان دارویی در نتایج حل الگوی بهینه به خوبی نمایان شده است. بیشترین افزایش سطح زیرکشت مطلق مربوط به گروه محصولات باغی با میزان ۳۰۲۶۲ هکتار (افزایش ۳۹ درصدی) می‌باشد. این افزایش بیشتر در باغات بادام، انار، پسته و گل محمدی- که نسبتاً نیاز آبی پایین و سود ناخالص بالایی داشته و همچنین در مناطقی که با کمبود و بحران آب رو به‌رو هستند- اتفاق افتاده است. این یافته در مطالعه میرزاوند و ایمانی (۱۸)، که به تعیین الگوی کشت بر اساس مفهوم آب مجازی پرداختند، با توصیه به افزایش سطح زیرکشت انار در دشت کاشان استان اصفهان نیز به چشم می‌خورد. البته در مطالعه آنان افزایش سطح زیرکشت محصولات صیفی نظیر خیار و گوجه‌فرنگی نیز وجود دارد که مطابق جدول ۳ در مطالعه حاضر این افزایش محسوس است (افزایش زیرکشت به میزان ۷۷ درصد). میزان سطح زیرکشت کل در الگوی چندمعیاره برابر با ۳۱۷۶۰۷ هکتار بوده که کاهش معادل ۴/۶ درصد نسبت به الگوی جاری را متحمل شده است.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰
 جدول ۳. سطح زیر کشت گروه اصلی محصولات کشاورزی در استان اصفهان به تفکیک اهداف مورد
 مطالعه (واحد: هکتار)

گروه محصول	جاری	حداکثر سود	حداقل مصرف آب	حداقل مصرف آفت کش و کود شیمیایی	حداکثر نیروی کار	چند معیاره	
						سطح زیر کشت	درصد تغییرات
غلات	۱۵۴۷۷۲	۱۰۹۵۶۰	۴۲۸۶۱	۴۵۳۵۹	۱۰۷۷۲۴	۱۰۸۷۲۳	-۳۰
علوفه	۴۸۸۶۱	۴۵۶۶۱	۲۵۰۰۳	۱۹۷۷۱	۹۳۶۹۱	۲۵۸۱۲	-۴۷
صیفی	۸۰۹۸	۲۷۴۱۰	۱۹۳۴۲	۱۱۳۶۱	۵۵۳۴۳	۱۴۳۴۷	۷۷
صنعتی	۷۲۴۸	۱۶۸۳۳	۳۱۰۵	۳۷۴۴۹	۱۰۷۴۱	۹۴۳۰	۳۰
سبزی	۲۳۳۷۸	۳۲۸۲۰	۱۲۸۵۳	۱۹۹۰۹	۱۵۴۶۳	۳۰۲۶۸	۲۹
دارویی	۱۹۳۰	۳۵۴۰	-	۳۴۴	۶۰۴۷	۴۹۴۹	۱۵۶
حبوبات	۱۰۹۶۲	۲۶۳۴	۲۱۳۱	۷۳۶۵	۱۷۳۹۷	۱۶۲۵۶	۴۸
باغی	۷۷۵۶۰	۱۳۷۹۷۹	۱۱۰۹۴۴	۱۰۴۹۶۸	۱۱۲۷۶۶	۱۰۷۸۲۲	۳۹
جمع کل	۳۳۲۸۰۹	۳۷۶۴۳۷	۲۱۶۲۳۹	۲۴۶۵۲۶	۳۶۱۵۰۰	۳۱۷۶۰۷	-۴/۶

منبع: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که شاخص سرانه آب تجدیدپذیر فالکن مارک در جدول ۴ نشان می‌دهد، شهرستان‌های اصفهان، خمینی شهر، فلاورجان، کاشان، لنجان، مبارکه و نجف‌آباد با کمبود و بحران آب مواجه هستند. علی‌رغم جمعیت زیاد این شهرستان‌ها (حدود ۷۷ درصد جمعیت استان)، منابع تجدیدپذیر این ۷ شهرستان تنها حدود ۱۸ درصد منابع آب تجدید شونده کل استان را تشکیل می‌دهد. همچنین مشخص است که شهرستان‌های آران و بیدگل، برخوار، شاهین شهر و میمه و شهرضا دارای تنش آبی هستند. بررسی این جدول نشان می‌دهد که از میان شهرستان‌های مذکور تنها شهرستان نجف‌آباد و خمینی شهر دارای خالص واردات آب مجازی به ترتیب با مقادیر ۱ و ۱/۷ میلیون مترمکعب (علامت مثبت نشان از واردات دارد) بوده و سایر این شهرستان‌ها دارای خالص صادرات آب مجازی (علامت منفی نشان از صادرات دارد) هستند. به عنوان نمونه در شرایط جاری، شهرستان اصفهان ۲۱/۷ میلیون مترمکعب خالص صادرات آب مجازی حاصل از نقل و انتقال محصولات کشاورزی داشته که رتبه

بهینه‌سازی مبادلات آب

نخست را در بین سایر شهرستان‌های دارا می‌باشد. در این شرایط، شهرستان سمیرم با میزان ۱۹/۷ میلیون مترمکعب در رتبه دوم خالص صادرات آب مجازی قرار داشته که البته این شهرستان جزء شهرستان‌هایی است که با عدم تنش آبی مواجه است. شاخص مجموع در ردیف انتهایی جدول ۴ نشان می‌دهد که در شرایط جاری خالص واردات آب مجازی بسیار کمتر از خالص صادرات آن بوده که موجب شده به‌طور کلی استان اصفهان ۱۱۸/۷ میلیون مترمکعب خالص صادرات آب مجازی داشته باشد. این نتیجه درست منطبق با نتیجه مطالعه بابازاده و سرایی تبریزی (۷) برای استان هرمزگان است به طوری که میزان خالص صادرات آب مجازی استان هرمزگان (تحت عنوان تراز تجاری آب مجازی) ۱۶۲/۵ میلیون مترمکعب برآورد شد. بیشترین میزان نقل و انتقال آب مجازی در الگوی چندمعیاره مربوط به کل واردات خارج استانی با میزان ۶۷/۷ میلیون مترمکعب و کل صادرات خارج استانی با میزان ۴۹/۹ میلیون مترمکعب است. بهبود خالص واردات آب مجازی در الگوی چندمعیاره نسبت به شرایط جاری از تفاضل خالص واردات آب مجازی در شرایط جاری و الگوی چند معیاره حاصل شده که نشان دهنده بهبود وضعیت واردات آب مجازی در کلیه شهرستان‌ها به غیر از شهرستان خور و بیابانک است. به عنوان نمونه در شهرستان کاشان میزان بهبود خالص واردات آب مجازی در الگوی چندمعیاره ۱۱/۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. در مجموع، با اجرای الگوی منطقه‌ای کشت چندمعیاره به میزان ۱۷/۸ میلیون مترمکعب، خالص واردات آب مجازی برای استان اصفهان تخمین زده می‌شود که باعث بهبود خالص واردات آب به میزان ۱۳۶/۵ میلیون مترمکعب گشته که دقیقاً همان میزان آب مجازی آبی است که می‌تواند با اجرای الگوی منطقه‌ای کشت ذخیره گردد. این نتیجه نشان می‌دهد که تولیدات شهرستان‌های واقع در استان اصفهان به لحاظ انتقال آب مجازی کاملاً غیر بهینه عمل می‌کنند به طوری که بیشترین صادرات به محصولاتی اختصاص داده شده که نیاز آبی زیاد دارند. این درست همان نتیجه‌ای است که مباکو و همکاران (۳۷) در تحلیل انتقال آب مجازی دو ایالت کالیفرنیا و

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

ایلیونیز به دست آورده و مشخص کردند که ۷۳٪ از صادرات آب مجازی این دو ایالت مربوط به محصولات با نیاز آبی بالا است.

بهبود شاخص سرانه آب تجدیدپذیر (فالکن مارک) را می‌توان از تقسیم مقدار آب ذخیره شده در هر شهرستان بر تعداد جمعیت آن شهرستان محاسبه نمود که در ستون آخر جدول ۴ این کار صورت پذیرفته است. ملاحظه می‌شود که در کلیه شهرستان‌ها این شاخص بهبود یافته و عددی مثبت را نشان می‌دهد. به عنوان نمونه در شهرستان اصفهان ۳۸ مترمکعب در سال برای هر نفر با اجرای الگوی منطقه‌ای کشت ذخیره خواهد شد. البته در شهرستان‌هایی مانند فریدن، که دچار تنش آبی نیستند، بهبود بیشتری در این شاخص به دلیل کم بودن تعداد جمعیت دیده می‌شود (۴۱۴ مترمکعب در سال). به طور کلی میانگین بهبود شاخص سرانه آب تجدیدپذیر فالکن مارک مقداری در حدود ۱۱۹ مترمکعب در سال برآورد می‌شود.

نمودار انباشته صادرات و واردات داخل و خارج استانی انتقال آب مجازی در الگوی چندمعیاره به تفکیک گروه محصولات اصلی در نمودار ۱ نمایش داده شده است. ملاحظه می‌شود که در گروه محصولات باغی ۱۰۰٪ نقل و انتقالات آب مجازی جهت صادرات این محصولات به خارج از استان با مقدار ۴۱/۶ میلیون مترمکعب انجام پذیرفته است. بیشترین مقدار انتقال آب مجازی در گروه محصولات حبوبات مربوط به واردات از خارج استان با میزان ۷۱۹۷ هزار متر مکعب می‌باشد. نکته مهم در این نمودار واردات آب مجازی نسبتاً زیاد گروه محصولات علوفه و غلات به ترتیب با مقادیر ۹۱۰۸۱ و ۴۶۳۶۳ هزار متر مکعب است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مازاد تقاضای گروه محصولات غلات و علوفه، که در اثر کاهش سطح زیرکشت و تبعاً تولید این محصولات ایجاد شده است، از طریق واردات این محصولات از خارج استان جبران خواهد شد. در مورد سهم نسبتاً زیاد گروه محصولات صیفی در صادرات خارج استانی می‌توان به نیاز آبی متوسط و سود ناخالص بالای این محصولات اشاره کرد که درست مطابق نتیجه مطالعه میرزاوند و ایمانی (۱۸) در دشت کاشان بود.

بهبود بهینه‌سازی مبادلات آب

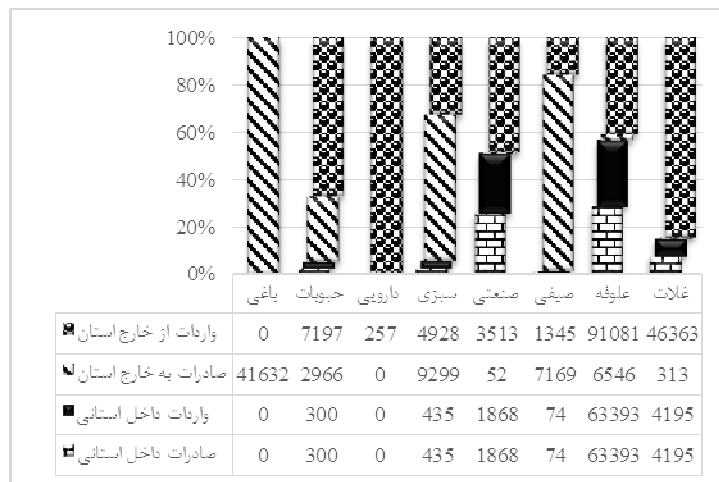
جدول ۴. میزان انتقال آب مجازی در استان اصفهان به صورت دورن و برون استانی به

تفکیک شهرستان (واحد: هزار مترمکعب)

شهرستان	شاخص سرانه آب تجدیدپذیر (جاری)		کل واردات خارج استان (چندمعیاره)	کل صادرات خارج استان (چندمعیاره)	کل واردات داخل استان (چندمعیاره)	کل صادرات داخل استان (چندمعیاره)	خالص واردات آب مجازی (جاری)	خالص واردات آب مجازی (چندمعیاره)	نسبت به شرایط جاری	بهبود خالص واردات آب مجازی	تجدیدپذیر شاخص سرانه آب
	مقدار (مترمکعب در سال)	شاخص فالکن مارک									
اران و بیدگل	۱۰۶۲	وجود تنش آبی	۱۷۱۱	۲۷۰۸	۰	۱۲۶	-۷۵۸۶	-۱۱۲۳	۶۴۶۳	۵۲	
اردستان	۴۳۵۵	عدم تنش آبی	۳۹۴۹	۵۲۲۹	۳۵۲	۰	-۷۵۴۴	-۹۲۸	۶۶۱۶	۸۰	
اصفهان	۲۸۳	کمبود و بحران آب	۴۳۳۰	۴۶۰	۰	۲۶	-۲۱۶۹۹	۳۸۴۴	۲۵۵۴۳	۳۸	
برخورار	۱۵۴۴	وجود تنش آبی	۵۱۴۰	۲۵۲	۰	۶۱۵	-۳۱۶۷	۴۲۷۳	۷۴۴۰	۴۶	
تیران و کرون	۳۷۴۹	عدم تنش آبی	۲۲۲۲	۲۹۳۶	۰	۷۱	-۵۳۱۶	-۷۸۵	۴۵۳۱	۴۱	
چادگان	۱۰۶۱۶	عدم تنش آبی	۱۲۴	۱۵۶۱	۰	۱۹۰	-۴۸۲۱	-۱۶۲۷	۳۱۹۴	۹۲	
خمینی شهر	۸۷	کمبود و بحران آب	۵۴۹۱	۱۷۴۷	۱۰۳۷	۰	۱۰۲۹	۴۷۸۱	۳۷۵۲	۱۹۳	
خوانسار	۲۹۸۱	عدم تنش آبی	۴۶۴	۱۲۸۴	۰	۲	-۲۲۰۶	-۸۲۲	۱۳۸۴	۲	
خور و بیابانک	۵۲۰۰	عدم تنش آبی	۵۷	۸۱۸	۰	۲۹	-۵۳۸	-۷۹۰	۲۵۲	۳۳	
دهاقان	۲۷۷۶	عدم تنش آبی	۱۸۷۱	۷۴۷	۰	۹۱۲	-۲۳۴۰	۲۱۲	۲۵۵۲	۸۰	
سمیرم	۲۵۵۸۰	عدم تنش آبی	۱۵۴۵	۱۳۰۶۵	۳۹۱	۰	-۱۹۶۵۱	-۱۱۱۱۹	۸۵۲۲	۳۵	
شاهین شهر و میمه	۱۲۱۱	وجود تنش آبی	۴۰۰	۲۱۴	۰	۳۹۲	-۳۴۰۸	-۲۰۶	۳۲۰۲	۸۵	
شهرضا	۱۰۳۲	وجود تنش آبی	۴۷۸	۲۵۸۰	۱۰۳	۲۷۴	-۵۴۴۳	-۲۲۷۳	۳۱۷۰	۲۵۲	
فریدن	۴۷۹۲	عدم تنش آبی	۲۲۲	۲۵۳۹	۰	۴۶۲	-۶۵۱۳	-۲۷۷۹	۳۷۳۴	۱۳۱	
فریدونشهر	۴۹۵۳۰	عدم تنش آبی	۱۰۵۵۸	۱۳۷۲	۰	۳۹۹	۲۱۴۳	۸۷۸۷	۶۶۴۴	۴۱۴	
فلاورجان	۳۰۶	کمبود و بحران آب	۳۱۴۹	۵۸۳	۱۳۳۹	۰	-۳۴۱۱	۳۹۰۵	۷۳۱۶	۱۲۱	
گلیانگان	۱۸۹۷	عدم تنش آبی	۳۲۵	۱۷۳	۰	۲۰۲۲	-۱۹۲۹۱	-۱۸۷۰	۱۷۴۲۱	۲۴۲	
لنجان	۴۵۷	کمبود و بحران آب	۲۶۰۷	۱۲۷۰	۱۵۷۷	۱۱۷۷	-۳۷۱	۱۷۳۷	۲۱۰۸	۴۴	
مبارکه	۷۹۰	کمبود و بحران آب	۲۶۹۲	۲۵۰۰	۰	۹۸	-۵۱۲۷	۹۴	۵۲۲۱	۵۲	
نائین	۲۴۹۰	عدم تنش آبی	۲۸۱۱	۰	۵۳	۵	۶۷۷	۲۸۵۹	۲۱۸۲	۱۱	
نجف اباد	۷۵۴	کمبود و بحران آب	۷۰۳۲	۳۰۹۸	۳۲۸	۰	۱۷۵۲	۴۲۶۲	۲۵۱۰	۱۹۴	
نطنز	۲۷۸۹	عدم تنش آبی	۷۹	۲۲۶۵	۰	۱۲۴	-۴۴۸۳	-۲۳۱۰	۲۱۷۳	۲۳۲	
کاشان	۴۰۳	کمبود و بحران آب	۱۰۴۸۴	۲۵۴۵	۱۷۴۴	۰	-۱۴۱۵	۹۶۸۳	۱۱۰۹۸	۲۷۸	
جمع کل استان	-	-	۶۷۷۴۱	۴۹۹۴۶	۶۹۲۴	۶۹۲۴	-۱۱۸۷۲۹	۱۷۷۹۵	۱۳۶۵۲۴	-	

منبع: یافته‌های تحقیق

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰



نمودار ۱. انباشته انتقال آب مجازی در الگوی چندمعیاره به تفکیک گروه محصولات اصلی و

صادرات و واردات داخل و خارج استانی

جدول ۵ برخی از متغیرهای مهم در برآورد الگوی منطقه‌ای کشت استان اصفهان به تفکیک اهداف مورد مطالعه را گزارش می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در کلیه الگوهای تحت بررسی میزان مصرف آب آبیاری از میزان مصرف کنونی آب کمتر شده است به طوری که این میزان از ۴/۴ میلیارد مترمکعب در الگوی جاری به ۴/۲ میلیارد متر مکعب در الگوی چندمعیاره کاهش یافته است (کاهش ۵/۳۲ درصدی). نیاز خالص و ناخالص آب آبیاری به ازای هر هکتار هر کدام حدوداً به مقدار ۱۵ درصد کاهش نسبت به الگوی جاری نشان می‌دهد. سود ناخالص کل نیز به تبع افزایش ۱۸/۷۷ درصدی تولید کل در الگوی چندمعیاره افزایشی حدوداً ۲۳/۳۷ درصدی نسبت به الگوی جاری را نشان می‌دهد. این نتیجه در مطالعات صبحی و سلطانی (۳۵) و دهقانپور و بخشوده (۳۶) دیده می‌شود. هزینه تولید کل در دو الگوی حداکثرسازی سود و نیروی کار افزایش و در سایر الگوها کاهش داشته است به طوری که در الگوی چندمعیاره میزان این کاهش نسبت ۶/۸۲ درصد را نشان می‌دهد. سود خالص کل در کلیه الگوهای مورد بررسی افزایش یافته و در الگوی چندمعیاره این افزایش نسبت ۵۷/۵ درصد را مشخص می‌سازد.

بهینه‌سازی مبادلات آب

جدول ۵. برخی از متغیرهای مهم در برآورد الگوی منطقه‌ای کشت استان اصفهان به تفکیک

اهداف مورد مطالعه

شرح	جاری	حداکثر سود	حداقل مصرف آب	حداقل مصرف آفت‌کش و کود شیمیایی	حداکثر نیروی کار	چند معیاره	
						مقدار	درصد تغییرات
آب آبیاری (هزار متر مکعب در سال)	۴۴۴۲۶۸۴	۴۳۶۰۹۴۰	۲۶۵۰۵۴۳	۳۱۲۹۰۱۳	۴۳۱۲۰۹۳	۴۲۰۶۱۶۰	-۵/۳۲
نیاز خالص آبیاری (هزار مترمکعب در هکتار)	۶/۰۱	۵/۲۱	۴/۷۱	۵/۷۱	۵/۰۱	۵/۰۹	-۱۵/۳۱
نیاز ناخالص آبیاری (هزار مترمکعب در هکتار)	۱۳/۳۶	۱۱/۵۹	۱۰/۴۷	۱۲/۶۹	۱۱/۱۴	۱۱/۳	-۱۵/۴۲
سود خالص کل (میلیون ریال)	۱۲۸۴۷۸۰۶	۲۱۸۴۵۸۲۷	۱۴۵۲۸۴۷۱	۱۴۷۱۵۲۶۸	۱۵۸۳۴۱۷۳	۲۰۲۳۱۶۵۴	۵۷/۴۷
سود ناخالص کل (میلیون ریال)	۲۷۳۵۷۴۳۴	۳۶۵۸۸۸۸۸	۲۸۱۴۹۶۹۸	۲۸۰۹۲۴۳۹	۳۱۸۳۶۹۰۳	۳۳۷۵۲۰۷۴	۲۳/۳۷
هزینه تولید کل (میلیون ریال)	۱۴۵۰۹۶۲۸	۱۴۷۴۳۰۶۱	۱۳۶۲۱۲۲۷	۱۳۳۷۷۱۷۱	۱۶۰۰۲۷۳۰	۱۳۵۲۰۴۲۰	-۶/۸۲
تولید کل (تن)	۳۹۲۷۴۱۸	۴۰۹۸۷۳۴	۴۲۴۱۰۳۰	۴۲۴۶۳۲۲	۴۵۲۱۰۵۱	۴۶۶۴۵۱۱	۱۸/۷۷

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در ساختار پیشنهادی این مطالعه به منظور بهینه‌سازی مبادلات آب مجازی در استان اصفهان از الگوی منطقه‌ای کشت با توانایی برنامه‌ریزی نقل و انتقال محصولات کشاورزی استفاده و با توجه به وجود اهداف گوناگون در تولید محصولات کشاورزی، الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی فازی چندمعیاره جهت بهینه‌سازی به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که کاهش ۳۰ و ۴۷ درصدی سطح زیرکشت دو گروه اصلی غلات و علوفه و افزایش سطح زیرکشت گروه اصلی باغی و صیفی در الگوی چندمعیاره به ترتیب با ۳۹ و ۷۷ درصد افزایش باعث بهبود شاخص خالص واردات آب مجازی خواهد شد. پیشبرد ساختارها و برنامه‌های ترویجی سازمان‌های متبوع به سمت اصلاح الگوی کشت جاری با توجه به این تغییرات توصیه می‌گردد. بیشترین افزایش سطح زیرکشت مربوط به گروه محصول گیاهان دارویی با میزان

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و پنجم، شماره ۱۰۰

۱۵۶ درصد بوده که به علت نیاز به شرایط خاص اقلیمی برای این گیاهان، دوشهرستان نجف آباد و مبارکه در این زمینه پیشتاز بوده‌اند. با توجه به موقعیت اقلیمی انحصاری کشت گیاهان دارویی در این دو شهرستان، اشاعه تفکر بازده برنامه‌ای بالا در کشت این محصولات می‌تواند گامی مؤثر در ایجاد درآمد پایدار باشد.

محاسبه شاخص سرانه آب تجدیدپذیر فالکن مارک در شرایط جاری خبر از بحرانی بودن وضعیت منابع آب در برخی شهرستان‌های استان اصفهان از جمله شهرستان‌های پرجمعیت اصفهان، نجف آباد و کاشان داده و در این بحران، خالص صادرات آب مجازی هر یک از دو شهرستان اصفهان و کاشان به ترتیب ۲۱/۷ و ۱/۴ میلیون مترمکعب بوده و به لحاظ انتقال آب مجازی کاملاً غیر بهینه عمل کرده‌اند. استفاده از سیاست‌های تشویقی و یا بازدارنده جهت جلوگیری از کشت و صادرات محصولات با نیاز آبی بالا، مانند برنج و هندوانه در این دو شهرستان، کمک شایانی در کاهش میزان خالص صادرات آب مجازی خواهد کرد. از جمله موارد بازدارنده در این مورد، اعمال ممنوعیت کشت محصولات مذکور می‌باشد. در نتایج حاصل از الگوی چندهدفه، بیشترین میزان انتقال آب مجازی به خارج از استان مربوط به محصولات باغی به میزان ۴۱/۶ میلیون مترمکعب بوده که بیشتر مربوط به محصولات بادام، انار، پسته و گل محمدی است. محصولات نامبرده به نسبت سایر محصولات باغی نیاز آبی پایین داشته و در عین حال محصولات بادام و پسته تقاضای نسبتاً بالایی از خارج کشور دارند. به همین دلیل توصیه اکید به حمایت از تولید کنندگان این محصولات برای ادامه تولید (بیمه محصولات کشاورزی مخصوصاً برای محصول بادام جهت جبران سرمازدگی) و همچنین تشویق به کشت بیشتر این محصولات می‌شود. تسهیل روند صادرات این محصولات و به تبع آن ایجاد تقاضای جدید و در نهایت سود بیشتر برای کشاورزان، از جمله پیشنهادات در جهت اعمال سیاست‌های تشویقی می‌باشد.

کاهش حدود ۵ درصدی میزان مصرف آب آبیاری، افزایش حدود ۱۹ درصدی تولید کل و افزایش تقریبی ۵۷ درصدی سود خالص کل در الگوی کشت چندمعیاره نسبت به

بهینه‌سازی مبادلات آب

الگوی جاری و همچنین مصالحه ایجاد شده بین اهداف گوناگون در الگوی کشت چندمعیاره می‌تواند دلایل قابل قبولی در انتخاب این الگو جهت ساماندهی به تصمیمات تعیین الگوی کشت استان اصفهان باشد.

منابع

1. Dehghanian Menshadi, H., Nik Sokhan, M. and Ardestani, M. (2013). Estimation of virtual water of watershed and its role in inter-basin water transmission systems. *Journal of Water Resources Engineering*, 6:101–107. (Persian)
2. Nikouei, A., Torkamani, J. and Mamanpoush, A. (2010). Management of water consumption at different levels of salinity in order to achieve multiple goals of Zayandehrood basin farmers. *Journal of Irrigation and Drainage*, 4:143–155. (Persian)
3. Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE Institute for water Education (Value of Water Research Report).
4. Safi, R. and Mirlotfi, S. (2015). Assessment of sugarcane cultivation in Khuzestan province from the virtual water viewpoint. *Journal of Water Resources Engineering*, 8:87–96. (Persian)
5. Allan, J.A. (1988). Virtual water: a strategic resource. *Ground Water*, 36(4):545–547.

6. Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. (2005). Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, 15(1):45-56.
7. Babazadeh, H. and Saraei Tabrizi, M. (2012). Evaluation of agricultural situation of Hormozgan province for virtual water perspective. *Water Research in Agriculture (Soil and Water Sciences)*, (26):485-489. (Persian)
8. Dabrowski, J.M., Murray, K., Ashton, P.J. and Leaner, J.J. (2009). Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecological Economics*, 68(4):1074-1082.
9. Wichelns, D. (2001). The role of "virtual water" in efforts to achieve food security and other national goals, with an example from Egypt. *Agricultural Water Management*, 49(2):131-151.
10. Yang, H. and Zehnder, A. (2016). "Virtual water": An unfolding concept in integrated water resources management. *Water Resource Research*, 43(12):109-123.
11. Galan, A., Pozo, C., Guillen-Gosalbez, G., Anton Vallejo, A. and Jimenez Esteller, L. (2016). Multi-stage linear programming model for optimizing cropping plan decisions under the new Common Agricultural Policy. *Land Use Policy*, 48:515-524.
12. Mandal, R. (2014). Flood, cropping pattern choice and returns in agriculture: A study of Assam plains, India. *Economic Analysis and Policy*, 44(3):333-344.
13. Li, M. and Guo, P. (2016). 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*, 155:53-66.

بهینه‌سازی مبادلات آب

14. Garg, N.K. and Dadhich, S.M. (2014). Integrated non-linear model for optimal cropping pattern and irrigation scheduling under deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 140:1–13.
15. Anonymous. (2014). Crop pattern project in the pilot study of Shahreza city located in Isfahan province. Isfahan Agricultural and Natural Resources Research Center, Isfahan Agricultural Jihad Organization. (Persian)
16. Julaei, R., Azar, A. and Chizari, A. (2005). Multi-regional planning models and their applications in agriculture: Case study of Fars province. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 1:87–112. (Persian)
17. 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.
18. Mirzavand, M. and Eimani, R. (2015). Determination of optimal cropping pattern based on the concept of virtual water and economic profitability for dealing with water deficit: Case study: Kashan plain, Isfahan province. *Water Resources and Development*, 4:51–9. (Persian)
19. Anonymous. (2015). Land expansion and strategic document for development of Isfahan Province. Isfahan Science and Research Campus, Isfahan University of Technology, Iran. (Persian)
20. Mardani, M., Kenari, R.E., Babaei, M. and Asemani, E. (2013). Application of Meta-goal programming approach to determine optimal cropping pattern. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(8):1928–35.

21. Masson, R., Lahrichi, N. and Rousseau, L.M. (2016). A two-stage solution method for the annual dairy transportation problem. *European Journal of Operational Research*, 251(1):36–43.
22. Nikouei, A. and Ward, F.A. (2016). Pricing irrigation water for drought adaptation in Iran. *Journal of Hydrology*, 503:29–46.
23. Karami, E. (2016). Appropriateness of farmers' adoption of irrigation methods: The application of the AHP model. *Agricultural Systems*, 87(1):101–19.
24. Fernandez, E. and Olmedo, R. (2016). An outranking-based general approach to solving group multi-objective optimization problems. *European Journal of Operational Research*, 225(3):497–506.
25. Hannan, E.L. (1981). On Fuzzy Goal Programming. *Decision Sciences*, 12(3):522–531.
26. Singh, S.K. and Yadav, S.P. (2015). Modeling and optimization of multi objective non-linear programming problem in intuitionistic fuzzy environment. *Applied Mathematical Modelling*, 39(16):4617–4629.
27. Yalcin, G. and Erginel, N. (2015). Fuzzy multi-objective programming algorithm for vehicle routing problems with backhauls. *Expert Systems with Applications*, 42(13):5632–5644.
28. Mardani, M., Sakhdari, H. and Sabouhi, M. (2011). Application of multi-objective programming and degree of conservative controller parameters in agricultural planning, the case study: Mashhad district. *Agricultural Economics Research*, (3):158–63. (Persian)

..... بهینه‌سازی مبادلات آب

29. Bender, M.J. and Simonovic, S.P. (2000). A fuzzy compromise approach to water resource systems planning under uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 115(1):35–44. (Persian)
30. Jones, D.D. and Barnes, E.M. (2000). Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management. *Biological Systems Engineering: Papers and Publications*, 65:137–58.
31. 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.
32. Falkenmark, M. and Widstrand, C. (1992). Population and water resources: a delicate balance. *Popul Bull*, 47(3):1–36.
33. Hess, T., Andersson, U., Mena, C. and Williams, A. (2015). The impact of healthier dietary scenarios on the global blue water scarcity footprint of food consumption in the UK. *Food Policy*, 50:1–10.
34. Brooke, A., Kendrick, K. and Meeraus, A. (1998). GAMS: A users's guide. The Scientific Press.
35. Sabouhi, M. and Soltani, G. (2008). Optimization of crop patterns in the basin with emphasis on social benefits and net imports of virtual water: A case study of Khorasan region. *Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resource)*, 12:197–302. (Persian)
36. Dehghanpur, H. and Bakhshode, M. (2008). Investigating the constraints of virtual trade in Marvdasht region. *Economics and Agriculture Development (Agricultural Sciences and Technology)*, 22:126–37. (Persian)

37. Mubako, S., Lahiri, S. and Lant, C. (2013). Input-output analysis of virtual water transfers: Case study of California and Illinois. *Ecological Economics*, 93:230-238.