عوامل مؤثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چند هدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد

فاطمه فتحی* و منصور زیبایی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۱۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۵)

چکیده

بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب‌های زیرزمینی به دلیل عدم موازنه میان کل برداشت و تغذیه منجر به کاهش سطح آب‌های زیرزمینی با نرخی سریع‌تر خواهد شد. به منظور برقراری تراز بین برداشت و تغذیه، راه‌کارهای عمده مشتمل بر تقویت مدیریت بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی، به کارگیری سیاست‌های مدیریت تقاضا، بهبود راندمان آبیاری و افزایش عرضه آب است. نظر به این که بین درآمد زارعین و پایداری در مزارعی که متکی برآب‌های زیرزمینی هستند مبادله وجود دارد، ضروری است که از مدل‌های ریاضی جهت بررسی تأثیر میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی بر درآمد کشاورزان و پایداری استفاده شود. چنین مدل‌هایی قادرند که الگوی کشت بهینه، استراتژی‌ها و روش‌های مناسب آبیاری را در سطوح مختلف دسترسی به آب آبیاری، تعیین نمایند. ارتباط میان سود زارعین و برداشت از آب‌های زیرزمینی با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفه مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز با استفاده از مصاحبه حضوری از کشاورزان دشت فیروزآباد در سال زراعی ۸۷-۸۶ جمع‌آوری شد و ۱۱۲ بهره‌بردار نمونه انتخاب شدند. بر اساس نتایج به دست آمده از برنامه‌ریزی چندهدفه برای همه گروه‌های همگن درصد کاهش سود کمتر از درصد کاهش برداشت آب است. به طور مثال کاهش ۸ درصد آب مصرفی اثر چشمگیری را بر کاهش سود زارعین نداشته است (سود زارعین حدود ۴ درصد کاهش می‌یابد). نهایتاً این‌که نتایج مطالعه حاضر می‌تواند به کشاورزان در انتخاب الگوی کشت، استراتژی و روش آبیاری، به گونه‌ای که سود زارعین و برداشت آب از سفره‌های زیرزمینی همزمان بهینه گردند و منجر به کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی در مقایسه با شرایط کنونی شود، کمک نماید.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی چند هدفه، استراتژی کم آبیاری، سیستم آبیاری، الگوی کشت

---

۱. به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد و دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fathifateme@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

مقدمه

در نقاط خشک و نیمه خشکی چون ایران، آب مهم‌ترین عامل محدود کننده در توسعه اقتصادی است که مدیریت اصولی برداشت آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کشاورزی ایران وابسته به استحصال آب‌های زیرزمینی است و برداشت بیش از حد منابع آب زیرزمینی درچند دهه اخیر منجر به کاهش قابل ملاحظه سطح ایستابی شده است و استان فارس یکی از استان‌هایی است که در مقایسه با سایر استان‌های کشور با مشکل بیلان منفی دشت‌ها روبه‌رو است. این استان ۸۰ درصد آب مصرفی خود را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کند که عمدتاً با بیلان منفی روبه‌رو هستند. در ۶۷ دشت از مجموع ۹۰ دشت کشاورزی استان فارس، بیلان آب زیرزمینی منفی است و دشت فیروز آباد در این استان با مساحت ۲۷۹/۴ کیلومترمربع یکی از این دشت‌هاست (۱). مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در جهت حفظ پایداری این منابع از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در خصوص مدیریت و بحران آب زیرزمینی، با استفاده از تکنیک‌های مختلف، بررسی‌های بسیاری انجام گرفته است. اکثر این مطالعات تنها اهداف اقتصادی را مدنظر قرار داده و به تعیین الگوی بهینه کشت پرداخته‌اند. این اهداف، شامل حداکثرسازی سود، حداقل کردن هزینه و حداکثرسازی اشتغال است. از جمله مسائلی که باید به اهداف اقتصادی اضافه شود مدیریت مصرف منابع آب است. مینودین و همکاران (۶) مسأله برنامه ریزی زراعی بهینه را در طرح آبیاری موجود در تایلند با اهداف حداکثرسازی سود و سطح زیر کشت آبی بررسی کردند. کوهن و مارکس (۲) تخصیص منابع آب را با استفاده از روش محدودیت بررسی کردند. تامپالیا و سیندن (۱۱) روش چندهدفه وزنی را برای تخصیص زمین در استرالیا به کار بردند. ودولا و روگرس (۱۳) در هند با استفاده از روش محدودیت، منحنی مبادله بین سود اقتصادی و کل سطح کشت تحت آبیاری را به دست آوردند. راجو و کومار (۹) جهت انتخاب برنامه آبیاری از روش برنامه‌ریزی چند هدفه، چند معیاره و خوشه‌بندی استفاده نمودند. سه هدف سود اقتصادی، تولید و اشتغال نیروی کار در این مدل در نظر گرفته شد. کوکاکمهمتوگلو و گولدمن (۵) حداکثرسازی سود حاصل از مصرف آب برای کشور ترکیه، سوریه و عراق را با استفاده از روش محدودیت و روش وزنی دنبال نمودند و سود ناشی از مصرف آب را برای هر کشور به طور جداگانه مورد محاسبه قرار دادند. تعدادی از این مطالعات هدف حداقل کردن آب مصرفی را در مطالعه خود وارد نموده اما برای هر محصول تنها یک استراتژی آبیاری را در نظر گرفتند. این در حالی است که در دنیای واقعی کشاورز با شرایط کم آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه روبه‌رو است. از این رو علاوه بر اضافه نمودن این هدف (حداقل‌سازی مصرف آب) به هدف حداکثرسازی سود، استراتژی‌های مختلف کم آبیاری برای هر محصول و هم‌چنین وارد نمودن محصولات با راندمان‌های آبیاری متفاوت، کشاورز را در شرایط واقعی‌تر قرار می‌دهد. بنابراین علاوه بر محصولات با استراتژی‌های کم آبیاری از محصولاتی که از سیستم‌های آبیاری نوین برای بالا بردن راندمان آبیاری استفاده می‌نمایند، همراه با وارد کردن تنش آبی و بدون تنش آبی برای فعالیت‌های مختلف در مدل لازم است.

مواد و روش‌ها

در ابتدا منابع آب روستاها تعیین شد. آبادی‌های دشت فیروزآباد استان فارس بر اساس منبع تأمین آب به دو طبقه تقسیم شدند که این طبقه‌بندی شامل روستاهایی که از آب زیرزمینی (چاه) تغذیه می‌شوند و روستاهایی که به صورت توأم از آب سطحی (نهر) و آب زیرزمینی (چاه) استفاده می‌کنند. در مرحله دوم برای مشخص نمودن تعداد روستاهای نمونه در هر منبع تأمین آب، اندازه حجم نمونه در هر منبع تأمین آب با استفاده از فرمول نمونه‌گیری تصادفی محاسبه شد. تعداد ۷۱ بهره‌بردار از آبادی‌های استفاده کننده از چاه و تعداد ۴۱ بهره‌بردار از آبادی‌های استفاده کننده از آب سطحی و چاه انتخاب شدند. برای تعیین بهره‌برداران نمونه هر روستا، از روش سیستماتیک ۱:۱۰ استفاده شد. در نتیجه ۱۱۲ بهره‌بردار نمونه انتخاب شدند.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

ویژگی دو گروه به صورت زیر است.

۱. بهره‌برداران استفاده کننده از آب چاه با اندازه مزرعه بین ۶ تا ۱۰ هکتار و کلاس خاک نوع ۱

۲. بهره برداران استفاده کننده از آب چاه و رودخانه و کلاس خاک نوع ۲

اولین گام در ساختن مدل برنامه ریزی ریاضی تعریف متغیرهای تصمیم‌گیری یا فعالیت‌هاست. در انتخاب استراتژی‌های مناسب توجه به بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هر چه کمتر آب ضروری است از این رو کم آبیاری به عنوان یک راهبرد عملی و روشی اقتصادی در حصول الگوی بهینه مصرف آب به شمار می‌رود. با توجه به منابع محدود (آب و زمین) می‌توان استراتژی‌های کم آبیاری را نیز مانند استراتژی‌های آبیاری کامل برای گیاهان مختلف، در مدل‌های تخصیص بهینه آب و زمین به کار برد. هم‌چنین وارد نمودن محصولاتی که از سیستم آبیاری نوین برای بالا بردن راندمان آبیاری استفاده می‌کنند همراه با استراتژی‌های کم آبیاری به شکل توأم به مدل، مدل را کامل‌تر و واقعی‌تر می‌نماید. از این رو فعالیت‌های مدل بر اساس استراتژی‌های مختلف آبیاری، راندمان آبیاری متفاوت بر اساس سه روش آبیاری بارانی، استفاده از لوله برای انتقال آب و آبیاری سنتی همراه با تنش آبی و بدون تنش آبی تقسیم‌بندی شدند. برای تقسیم‌بندی فعالیت‌های مدل لازم است که عملکرد متناظر با هر فعالیت محاسبه شود. بدین منظور در این مطالعه از رابطه ۱ که توسط مییر و همکاران (۷) پیشنهاد شده است، استفاده گردید. اعمال کم آبیاری منجر به کاهش در میزان عملکرد محصولات می‌گردد. پس از محاسبه حداکثرعملکرد گیاه در شرایط بدون تنش، عملکرد واقعی با در نظر گرفتن تنش برای گیاهان مختلف با استفاده از نرم‌افزار Exel محاسبه شد.

$$\frac{Y_a}{Y_p}=\prod_{j=1}^{n}\left[1-KY_j\left[1-\frac{W_a}{W_p}\right]_j\right] \qquad [1]$$

در این روابط Y_a حداکثر محصول واقعی در شرایط واقعی (شرایط تنش آبی)، Y_p حداکثر محصول تولیدی در شرایط بدون تنش آبی، KY_j ضریب واکنش عملکرد نسبت به آب در مرحله رشد j که از پژوهش‌های گذشته به دست آمده است. W_a مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه که در دوره‌های مختلف رشد مقدار آن در شرایط آبیاری کامل برابر $W_a=W_p$ و در شرایط اعمال کم آبیاری از رابطه ۲ به دست می‌آید.

$$W_{aj}=(1-h)W_{pj} \qquad [2]$$

در این رابطه W_p، حداکثر آب مورد نیاز گیاه و h مقدار کاهش نسبی مصرف آب در کل دوره رشد (کوچک‌تر یا مساوی یک) است. رابطه فوق در هریک از مراحل مختلف رشد اعمال می‌شود. در این قسمت استراتژی‌های کم آبیاری به گونه‌ای تعریف شده است که اگر کم آبیاری در یک دوره اتفاق افتد در سایر دوره‌های آبیاری به صورت کامل در نظر گرفته شده است به طوری که اگر در یک دوره کم آبیاری ($h>0$) باشد در سایر دوره‌های رشد $h=0$ (آبیاری کامل $W_a=W_p$) فرض شده است. در واقع در این حالت کم آبیاری فقط در یک دوره رشد اعمال می‌شود. تقسیم‌بندی محصولات بر اساس استراتژی آبیاری و راندمان آبیاری متفاوت (بر اساس سیستم آبیاری) است. بر اساس نظر کارشناسان راندمان آبیاری با استفاده از سیستم آبیاری بارانی، ۶۵ درصد و برای لوله‌های پلاستیکی، ۴۰ درصد و آبیاری سنتی ۳۴ درصد در نظر گرفته شد. میزان تنش‌ها در هر دوره ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد در مراحل مختلف رشد از جمله استقرار، رشد، گل‌دهی، شکل‌گیری عملکرد و رسیدن اعمال شد. به طوری که گندم و جو به ۴۹ فعالیت مختلف، ذرت و چغندرقند هر کدام به ۴۸ و کنجد به ۷ فعالیت مختلف تقسیم‌بندی شدند.

یکی از اهداف در نظر گرفته شده حداکثرسازی سود ناخالص کشاورز است. ضرایب تابع هدف سود ناخالص هر فعالیت است که به عنوان بازده برنامه‌ای در مدل وارد شده است.

$$\max \quad Z_1=\sum_{i=1}^{n}(P_iY_i-TVC_i-C_wTW_i)X_i \qquad [3]$$

P_i: قیمت محصول i، Y_i عملکرد محصول i، TVC_i هزینه

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

خرید بذر، کود، سم، نیروی کار، ماشین آلات برای یک هکتار محصول i، است، برای محصولاتی که از سیستم‌های آبیاری نوین استفاده می‌نمایند هزینه یک‌نواخت ماهانه استفاده از این نوع سیستم‌ها با توجه به عمر مفید آنها، نیز در نظر گرفته شد. C_w هزینه استحصال هر مترمکعب آب، TW_i کل آب مصرفی برای کشت یک هکتار محصول i در طول فصل زراعی و X_i متغیر تصمیم، سطح زیر کشت محصول i است. هدف دوم حداقل‌سازی مصرف آب کشاورزی است که به صورت رابطه ۴ می‌باشد.

$$\min \quad Z_2 = \sum_{i=1}^{n} TW_i X_i \qquad [4]$$

TW_i: کل آب مصرفی برای کشت یک هکتار محصول i در طول فصل زراعی است که این مقدار برای هر محصول از حداکثر آب مورد نیاز هر فعالیت تقسیم بر راندمان توزیع و انتقال به دست آمده است.

محدودیت‌های مدل، شامل: محدودیت زمین زراعی است که به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود.

X_i: سطح زیر کشت فعالیت i، X_{total}: کل اراضی موجود در مزرعه نماینده است.

$$\sum_{i=1}^{n} X_i \le X_{total} \qquad [5]$$

دومین محدودیت، محدودیت آب است که در رابطه ۶ نشان داده شده است. از آنجا که دوره کشت و نیاز آبی محصولات میزان موجودی آب منطقه در ماه‌های مختلف سال با یکدیگر متفاوت است، محدودیت آب به صورت دوره‌های ده روزه در نظر گرفته شد. در واقع محدودیت آب بیانگر آن است که جمع مقدار آب مورد نیاز هر یک از گیاهان در دوره‌های مختلف نمی‌تواند از کل آب در دسترس بهره‌بردار که در راندمان آبیاری توزیع و انتقال ضرب شده است بیشتر شود. سمت راست منبع آب در اختیار کشاورز است که بر اساس متوسط آبدهی چاه در هر دوره ضربدر ساعات آبدهی در شبانه روز در راندمان آبیاری توزیع و انتقال محاسبه شد. در این رابطه $water_k$ حداکثر آب در دسترس بهره بردار در دوره k و W_{ik} آب مورد نیاز گیاه در دوره k است.

$$\sum_{i=1}^{n} W_{ik} X_{ik} \le water_k \qquad k = 1,2,...,27 \qquad [6]$$

محدودیت دیگر، محدودیت نیروی کار است، تقاضا برای نیروی کار در فعالیتهای تولیدی محصولات زراعی تابع عملیات مراحل مختلف کاشت، داشت و برداشت است و به دلیل تنوع کشت محصولات و متفاوت بودن دوره رشد آنها، تأمین نیروی کار مورد نیاز در فصل‌های مختلف متفاوت خواهد بود، لذا نیروی کار مورد نیاز فعالیت‌های مختلف در چهار دوره فصلی به صورت رابطه ۷ در مدل لحاظ گردید. در این رابطه L_{is} تعداد نیروی کار مورد نیاز فعالیت i در فصل s است و $labour_s$ تعداد نیروی کار در دسترس بهره بردار نمونه در فصل s است.

$$\sum_{i}^{n} L_{is} X_{is} \le labour_s \qquad s = 1,2,3,4 \qquad [7]$$

مدل با استفاده از روش محدودیت در برنامه‌ریزی چند هدفه انجام شد. دسته جواب‌های بهینه به دست آمده با استفاده از تحلیل خوشه‌ای، به خوشه‌هایی که تقریباً همگن هستند تقسیم‌بندی شدند. استفاده از این روش برای کاهش تعداد جواب‌های بهینه در تصمیم‌گیری چند معیاره توسط مورس (۸) و هم‌چنین راجو و کومار (۹) و سرجیو و مبارک (۱۰) به کار گرفته شد. از این روش برای کم کردن تعداد جواب‌های بهینه حاصل از مدل‌های برنامه‌ریزی چند هدفه با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید و برای انتخاب جواب‌ها بر اساس وزن که به اهداف داده می‌شود از برنامه‌ریزی توافقی استفاده شد. در برنامه‌ریزی توافقی، نقطه یا جواب ایدآل به عنوان بهترین نقطه از هر هدف تعریف می‌شود. چون در دنیای واقعی رسیدن به یک جواب ایدآل غیر ممکن است نزدیک‌ترین جواب به نقطه ایدآل بیشتر ترجیح داده می‌شود. برای این کار از ماتریس‌های L_p نرمال شده استفاده می‌شود که در رابطه ۸ نشان داده شده است (۱۰ و۱۴).

$$L_P(m) = [\sum_{k=1}^{m} (m_k . d_{kn})^p]^{1/p} \qquad [8]$$

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

L_p ماتریس فاصله است که تابعی از پارامتر p و m_k است. m_k فرم نرمال شده وزن مربوط به هر معیار است که در رابطه ۹ نشان داده شده است. w_k وزنی است که به اهمیت فاصله k ام از نقطه ایدآل داده می‌شود (۴ و۱۲).

$$m_k = w_k / \sum_{i=1}^{w} w_k \qquad [۹]$$

درجه نزدیکی (d_k) هر هدف به نقطه بهینه به‌صورت رابطه ۱۰ تعریف می‌شود:

$$d_k = \frac{\left|Z_k^* - Z_k(x)\right|}{\left|Z_k^* - Z_{*k}\right|} \qquad [۱۰]$$

Z_k^* ارزش بهینه و Z_{*k} نقطه مقابل ارزش بهینه و حداقل ارزش است هنگامی که واحدهای اندازه‌گیری اهداف متفاوت باشند، انحرافات نسبی به انحرافات مطلق ترجیح داده می‌شود.

اگر در رابطه ۸ $p=1$ باشد در این حالت با مینیمم کردن این رابطه (بیشترین فاصله از لحاظ هندسی) بهترین توافق یا نزدیک‌ترین جواب به نقطه ایدآل به دست می‌آید (۱۳). در $p=\infty$ بیشترین فاصله انفرادی حداقل می‌شود. یو (۱۲)، L_1, L_∞ را زیرمجموعه‌ای از جواب‌های بهینه می‌داند که زلنی (۱۴) آن را دسته جواب‌های توافقی نامید.

نتایج و بحث

در گروه بهره‌برداران استفاده کننده از آب چاه با اندازه مزرعه بین ۶ تا ۱۰هکتار و کلاس خاک نوع ۱، کشاورز نماینده با اندازه مزرعه ۸ هکتار انتخاب شد. اراضی درجه یک یا کلاس یک، زمین‌های قابل کشت و مرغوب برای آبیاری و بدون هیچ محدودیت برای زراعت‌های آبی هستند. در گروه بهره‌برداران که از آب رودخانه و چاه استفاده می‌کنند بر اساس متوسط سطح زیر کشت، کشاورز نماینده با اندازه مزرعه ۱۰ هکتار انتخاب شد. نتایج حاصل از بهینه‌سازی هر هدف به طور جداگانه (ماتریس بازده) در جدول ۱ نشان داده شده است. عناصر این ماتریس از طریق بهینه‌سازی هر یک از اهداف مورد نظر به طور جداگانه تعیین شد. با حل مدل بهینه‌سازی، ۱۹۱۰۴۳۶۹۰ ریال سود نصیب کشاورز نماینده گروه همگن یک می‌شود که با این الگوی حداکثرسازی سود، ۱۴۵۱۸۶ مترمکعب آب مصرف می‌شود. این جدول تضاد بین دو هدف را نشان می‌دهد، زمانی که مصرف آب حداقل است میزان سود صفر است و وقتی سود حداکثر است میزان مصرف آب ۱۴۵۱۸۶ مترمکعب است. عناصر قطر فرعی ماتریس، مقادیر بهینه هر یک از اهداف را به طور جدا نشان می‌دهد. در این نقاط بهینه مصرف آب صفر و سود معادل با ۱۹۱۰۴۳۶۹۰ ریال است که دسترسی همزمان به این دو نقطه غیر ممکن است. رسیدن به اهداف حداقل مصرف آب و حداکثر سود به طور کامل قابل دست‌یابی نیست از این رو استفاده از روش برنامه ریزی چند هدفه لازم است. با استفاده از این نوع مدل‌ها می‌توان سود را با توجه به حداقل کردن آب مصرفی در جهت جلوگیری از به وجود آمدن بیلان منفی حداکثر ساخت. در ابتدا مدل دو هدفه، با استفاده از روش محدودیت حل شد. برای این منظور تابع سود هدف واقع شد و هدف آب مصرفی به شکل محدودیت پارامتریک به مدل اضافه شد. با استفاده از ماتریس بازده حداکثر آب مصرفی برای بهره‌بردار نماینده گروه یک ۱۴۵۱۸۶ مترمکعب و برای گروه دو ۲۱۹۷۳۱ مترمکعب (آب مصرفی در حالت حداکثرسازی سود کشاورز نماینده) در نظر گرفته شد و از این مقدار به شکل پارامتریک کاسته شد.

برای نماینده هر گروه مدل به طور جداگانه حل شد. برای انتخاب دسته جوآب‌های بهینه از تحلیل خوشه‌ای استفاده گردید. از میان بیش از پنجاه حالت جوآب‌های بهینه با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ۷ حالت با شماره‌های، ۵، ۱۶، ۲۳، ۳۱، ۳۵، ۴۲ و ۴۳ برای گروه همگن یک در جدول ۲ و ۶ حالت، ۵، ۱۴، ۲۱، ۲۹، ۳۶ و ۴۸ برای گروه همگن دو انتخاب شدند و در جدول ۳ آورده شده است. نتایج روش توافقی lp_1 و lp_2 برای انتخاب جواب‌های بهینه در سه حالت مختلف وزن، براساس اهمیت فاصله‌ای که هر هدف نسبت به نقطه ایدآل

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

جدول۱. ماتریس بازده دو هدف برای بهره بردار نماینده گروه همگن ۱ و ۲

ماتریس بازده برای کشاورز نماینده گروه همگن ۱						
	سود	آب مصرفی	گندم۱	ذرت۹	ذرت۲۱	برنج
سود (ریال)	۱۹۱۰۴۳۶۹۰	۱۴۵۱۸۶	۸	۰	۰	۲/۹
مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
ماتریس بازده برای کشاورز نماینده گروه همگن ۲						
	سود	آب مصرفی	گندم۱	ذرت۱	ذرت۹	برنج
سود (ریال)	۲۵۸۵۶۰۵۵۰	۲۱۹۷۳۱	۱۰	۱/۲۴	/۵۹	۳/۴۷
مصرف آب (مترمکعب در هکتار)	۰	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۲. تغییرات سود، آب مصرفی و الگوی بهینه کشت در وضعیت‌های مختلف انتخاب شده برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن یک

واحد	مترمکعب	ریال			سطح زیر کشت (هکتار)			
حالات انتخاب شده	آب مصرفی	سود	تغییرات آب مصرفی	تغییرات سود	گندم۲۵	گندم۴۹	گندم دیم	برنج
۵	۱۳۰۳۷۲	۱۸۱۵۳۹۷۱۰	-۸/۳	-۴/۸	۵/۹	۲/۱		۲/۹
۱۶	۹۷۷۷۹	۱۵۳۳۹۵۵۱۰	-۳۱/۳	-۱۹/۶		۶/۷	۱/۳	۲/۹
۲۳	۷۷۰۳۸	۱۳۱۲۰۹۱۴۰	-۴۵/۸	-۳۱/۲		۳	۵	۲/۹
۳۱	۵۳۳۳۴	۱۰۲۳۷۸۲۵۰	-۶۲/۵	-۴۶/۳			۸	۲/۶
۳۵	۴۱۴۸۲	۸۵۴۹۴۱۹۰	-۷۰/۸	-۵۵/۲			۸	۲/۱
۴۲	۲۰۷۴۱	۵۵۹۴۷۰۹۰	-۸۵/۴	-۷۰/۷			۸	۱/۱
۴۳	۱۷۷۷۸	۵۱۷۲۶۰۸۰	-۸۷/۵	-۷۲/۹			۸	۱

جدول۳. تغییرات سود، آب مصرفی و الگوی بهینه کشت در وضعیت های مختلف انتخاب شده برای بهره بردار نماینده گروه همگن دو

شماره حالات انتخاب شده	مترمکعب	ریال			سطح زیر کشت (هکتار)				
	آب مصرفی	سود	تغییرات آب مصرفی	تغییرات سود	گندم۲۵	گندم۴۹	گندم دیم	ذرت۱	برنج
۵	۱۹۸۴۶۸	۲۴۷۲۹۱۹۳۰	-۸/۳	-۴/۳	۷/۵۲	۲/۵		۱/۸	۳/۵
۱۴	۱۵۷۸۷۲	۲۱۹۶۲۸۷۷۰	-۲۷/۱	-۱۵/۰		۱۰/۰		۱/۶	۳/۵
۲۱	۱۲۶۲۹۸	۱۸۹۱۷۳۲۴۰	-۴۱/۷	-۲۶/۸		۸/۲	۱/۸		۳/۷
۲۹	۹۰۲۱۳	۱۵۰۵۷۳۷۴۰	-۵۸/۳	-۴۱/۷		۱/۸	۸/۳		۳/۷
۳۶	۵۸۶۳۸	۱۱۰۲۷۴۴۱۰	-۷۲/۹	-۵۷/۳			۱۰/۰		۲/۷
۴۸	۴۵۱۱	۳۸۹۴۴۱۹۰	-۹۷/۹	-۸۴/۹			۱۰/۰		۰/۴

برای دو گروه همگن در جدول ۳ و ۵ آورده شده است. این حالات شامل اهمیت یکسان دو هدف، اهمیت بیشتر تابع کاهش مصرف آب نسبت به سود و اهمیت بیشتر سود ناخالص کشاورز نسبت به آب مصرفی است. انتخاب جواب ایدآل برای حل این گونه مسائل به اهداف مدیران و تصمیم گیرندگان و درجه اهمیتی که به اهداف داده می‌شود، مرتبط است. در حالاتی که اهمیت بیشتر به تابع آب مصرفی داده شود حالات مختلف با ترکیبات مختلف وزن با استفاده از جدول ۴ برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن یک انتخاب شده‌اند. در حالتی که مقدار اهداف بین lp_1 و lp_2 قرار گرفته و بر اساس وزن داده شده حالاتی انتخاب شده‌اند که در زیر به توصیف آنها پرداخته می‌شود. در ترکیب وزن (۰/۷۵ و ۰/۲۵) (۰/۷۵ به تابع سود و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

جدول ۴. نتایج حل مدل با استفاده از روش توافقی برای انتخاب جواب های بهینه برای بهره بردار نماینده گروه همگن یک

	وزن به تابع سود	وزن به آب مصرفی	مقدار تابع هدف	برنج	گندم۴۹	گندم۲۵	گندم دیم	تغییرات سود	تغییرات آب مصرفی	سود (ریال)	آب مصرفی (مترمکعب)
در صورتی که به تابع مصرف آب اهمیت بیشتری داده شود.											
lp_1	/۱۵	/۸۵	۰/۱				۸	-۸۶/۲	-۱۰۰	۲۶۴۰۰۰۰۰	۰
lp_2	/۱۵	/۸۵	۰/۳	۱/۱			۸	-۶۹/۳	-۸۴/۴	۵۸۶۲۳۲۲۰	۲۲۶۲۰
lp_1	/۲۰	/۸۰	۰/۲				۸	-۸۶/۲	-۱۰۰	۲۶۴۰۰۰۰۰	۰
lp_2	/۲۰	/۸۰	۰/۳	۱/۴			۸	-۶۳/۱	-۷۸/۷	۷۰۵۳۸۳۹۰	۳۰۹۸۴
lp_1	/۳۰	/۷۰	۰/۳				۸	-۸۶/۲	-۱۰۰	۲۶۴۰۰۰۰۰	۰
lp_2	/۳۰	/۷۰	۰/۴	۲/۲			۸	-۵۰/۲	-۶۶/۷	۹۵۱۸۷۱۵۰	۴۸۲۸۶
lp_1	/۴۰	/۶۰	۰/۴				۸	-۸۶/۲	-۱۰۰	۲۶۴۰۰۰۰۰	۰
lp_2	/۴۰	/۶۰	/۴	۲/۹			۸	-۳۹/۱	-۵۶/۵	۱۱۶۳۲۷۵۸۰	۶۳۱۲۶
در صورتی که وزن هردو هدف یکسان باشد.											
lp_1	/۵۰	/۵۰	۰/۴	۲/۹			۸	-۳۹/۱	-۶۵/۵	۱۱۶۳۲۷۵۸۰	۶۳۱۲۶
lp_2	/۵۰	/۵۰	۰/۳	۲/۹		۱/۶	۶/۵	-۳۱/۶	-۴۵/۹	۱۳۰۷۵۸۱۳۰	۷۸۴۸۶
در صورتی که به تابع سود اهمیت بیشتری داده شود.											
lp_1	/۶۰	/۴۰	۰/۴	۲/۹	۸			۱۴/۱	-۲۵/۸	۱۶۴۱۱۴۱۳۰	۱۰۷۸۰۰
lp_2	/۶۰	/۴۰	۰/۳	۲/۹		۳/۱	۴/۹	-۲۴/۱	-۳۵/۵	۱۴۵۰۱۵۰۷۰	۹۳۶۶۱
lp_1	/۷۵	/۲۵	۰/۲	۲/۹		۸		-/۱	-۱/۹	۱۹۰۹۰۷۹۱۰	۱۴۲۵۰۸
lp_2	/۷۵	/۲۵	۰/۲	۲/۹		۵/۹	۲	-۹/۹	-۱۵/۶	۱۷۲۲۱۳۷۸۰	۱۲۲۶۱۰

جدول ۵. نتایج حل مدل با استفاده از روش توافقی برای انتخاب جواب‌های بهینه برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن دو

	وزن تابع سود	وزن آب مصرفی	مقدار تابع هدف	برنج	ذرت۱	ذرت۹	گندم۴۹	گندم۲۵	گندم دیم	تغییرات سود	تغییرات آب مصرفی	سود (ریال)	آب مصرفی (مترمکعب)
در صورتی که به تابع مصرف آب اهمیت بیشتری داده شود.													
lp_1	/۱۰	/۹۰	/۱	۰					۱۰	-۸۷/۲	-۱۰۰/۰	۳۳۰۰۰۰۰۰	۰
lp_2	/۱۰	/۹۰	/۳	۱/۰					۱۰	-۷۵/۴	-۸۹/۴	۶۳۵۵۰۸۶۰	۲۳۱۸۳
lp_1	/۳۰	/۷۰	/۳	۰					۱۰	-۸۷/۲	-۱۰۰/۰	۳۳۰۰۰۰۰۰	۰
lp_2	/۳۰	/۷۰	/۴	۳/۲					۱۰	-۴۹/۱	-۶۵/۹	۱۳۱۶۲۱۶۴۰	۷۴۸۳۷
در صورتی که وزن هردو هدف یکسان باشد.													
lp_1	/۵۰	/۵۰	/۴	۳/۷					۱۰	-۴۳/۹	-۶۱/۴	۱۴۴۹۲۶۶۷۰	۸۴۹۳۳
lp_2	/۵۰	/۵۰	/۳	۳/۵	۱/۸			۰/۴	۹/۷	-۳۴/۵	-۴۸/۷	۱۶۹۳۴۴۳۱۰	۱۱۲۸۶۴
در صورتی که به تابع سود اهمیت بیشتری داده شود.													
lp_1	/۵۴	/۴۶	/۴	۳/۷			۱۰			-۲۰/۹	-۵۳/۹	۲۰۴۶۵۹۸۶۰	۱۴۰۷۷۵
lp_2	/۵۴	/۴۶	/۳	۳/۵	۱/۸			۱/۶	۸/۴	-۳۰/۲	-۴۲/۷	۱۸۰۵۹۲۱۷۰	۱۲۵۸۵۸
lp_1	/۶۰	/۴۰	/۴	۳/۵	۱/۸		۱۰			-۱۲/۷	-۲۴/۹	۲۲۵۸۱۹۹۴۰	۱۶۴۹۴۳
lp_2	/۶۰	/۴۰	/۳	۳/۵	۱/۸			۳/۴	۶/۶	-۲۳/۷	-۳۳/۹	۱۹۷۳۴۲۹۰	۱۴۵۲۰۸
lp_1	/۸۰	/۲۰	/۲	۳/۵	۱/۲		۰/۶	۱۰		-/۱	-۱/۶	۲۵۸۴۲۷۳۷۰	۲۱۶۱۳۹
lp_2	/۸۰	/۲۰	/۲	۳/۵	۱/۸			۸/۳	۱/۷	-۶/۱	-۹/۹	۲۴۲۹۲۰۳۲۰	۱۹۷۸۵۹

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

۰/۲۵ به تابع آب مصرفی) حالت ۵، انتخاب می‌شود. در این حالت ۸/۳ درصد کاهش آب مصرفی و ۴/۸ درصد سود کاهش می‌یابد و آب مصرفی ۱۱۸۵۲ مترمکعب کاهش می‌یابد. الگوی کشت گندم ۲۵ (۳۰ درصد تنش در مرحله رسیدن و سیستم آبیاری سنتی)، ۵/۹ هکتار،گندم ۴۹، (گندم با سیستم آبیاری بارانی همراه با ۳۰ درصد تنش در مرحله رسیدن) ۲/۱ هکتار و برنج ۲/۹ هکتار است. در ترکیب وزن (۰/۶۰ و ۰/۴۰) حالت ۱۶، انتخاب می‌شود. مصرف آب ۳۱/۲ درصد و سود ۱۹/۵ درصد و آب مصرفی ۴۴۴۴۵ مترمکعب کاهش می‌یابد. الگوی کشت گندم دیم ۱/۳ هکتار، گندم ۴۹، ۶/۷ هکتار و برنج ۲/۹ هکتار می‌باشد بر اساس جدول (۴) در حالتی که اهمیت یکسانی به دو هدف داده شده است مقدار توابع هدف آب مصرفی و سود حالت ۲۳ بین جواب مدل توافقی lp_1 و lp_2 هستند. به عبارت دیگر در ترکیب وزن (۰/۵۰ و ۰/۵۰) حالت ۲۳، انتخاب می‌شود. در این وضعیت مصرف آب ۴۵/۸ درصد و سود ۳۱/۲ درصد کاهش می‌یابد و آب ۶۵۱۸۶ مترمکعب کاهش می‌یابد، الگوی کشت گندم دیم، ۵ هکتار، گندم ۴۹، ۳ هکتار و برنج ۲/۹ هکتار است. در حالاتی که وزن بیشتری به سود داده شود که بیشتر مورد نظر کشاورزان می‌باشد حالات و ترکیبات مختلف وزن به شکل زیر توصیف می‌شوند. در ترکیب وزن (۰/۴۰ و ۰/۶۰) حالت ۳۱، انتخاب می‌شود. مصرف آب ۶۲/۵ درصد و سود ۴۶/۳ درصد کاهش می‌یابد و آب مصرفی ۸۸۸۹۰ مترمکعب آب کاهش می‌یابد، الگوی کشت گندم دیم، ۸ هکتار و برنج ۲/۶ می‌باشد. در ترکیب وزن(۰/۳۰ و ۰/۷۰) حالت۳۵، انتخاب می‌شود. مصرف آب ۷۰/۸ درصد و سود ۵۵/۲ درصد کاهش می‌یابد و ۱۰۰۷۴۲ مترمکعب مصرف آب کاهش می‌یابد، الگوی کشت در این وضعیت گندم دیم، ۸ هکتار و برنج ۲/۱ هکتار می‌باشد. در ترکیب وزن (۰/۲۰ و ۰/۸۰) حالت ۴۲، انتخاب می‌شود. در این وضعیت مصرف آب ۸۵ درصد و سود ۷۰/۶ درصد کاهش می‌یابد و ۱۲۱۴۸۳ مترمکعب آب کاهش می‌یابد. الگوی کشت گندم دیم، ۸ هکتار و برنج ۱/۱ هکتار است. در ترکیب وزن (۰/۱۵ و ۰/۸۵) حالت ۴۳ انتخاب می‌شود. در این وضعیت مصرف آب۸۷/۵۰ درصد و سود ۷۲/۹ درصد کاهش می‌یابد و ۱۲۴۴۴۶ مترمکعب مصرف آب کاهش می‌یابد و الگوی کشت گندم دیم، ۸ هکتار و برنج ۱ هکتار می‌باشد.

انتخاب جواب ایدآل برای حل این گونه مسائل به اهداف مدیران و تصمیم گیرندگان و درجه اهمیتی که به اهداف داده می‌شود، مرتبط است. بر اساس جدول ۵ برای بهره‌بردار نماینده گروه همگن دو در حالاتی که اهمیت بیشتر به تابع آب مصرفی داده شود حالات مختلف با ترکیبات مختلف وزن انتخاب شده‌اند. در حالتی که مقدار اهداف بین lp_1 و lp_2 قرار گرفته و بر اساس وزن داده شده حالات انتخاب شده‌اند که در زیر به توصیف آنها پرداخته می‌شود. در حالاتی که وزن بیشتری به سود داده شود که بیشتر مورد نظر کشاورزان می‌باشد حالات و ترکیبات مختلف وزن برای کشاورز نماینده گروه همگن دو به شکل زیر توصیف می‌شوند. در ترکیب وزن (۰/۸۰ و ۰/۲۰) حالت ۵، انتخاب می‌شود. در این حالت۸/۳ درصد کاهش آب مصرفی و ۴/۳ درصد سود کاهش می‌یابد تا ۱۸۰۴۲ مترمکعب مصرف آب کاهش یابد. در ترکیب وزن (۰/۶۰ و ۰/۴۰) حالت ۱۴، انتخاب می‌شود. در این حالت ۲۷/۱ درصد کاهش آب مصرفی و ۱۵ درصد سود کاهش می‌یابد. در ترکیب وزن (۰/۵۴ و ۰/۴۶) حالت ۲۱، انتخاب می‌شود. در این حالت۴۱/۷ درصد کاهش آب مصرفی و ۲۶/۸ درصد سود کاهش می‌یابد و ۹۰۲۱۲ مترمکعب آب مصرفی کاهش می‌یابد. در حالتی که اهمیت یکسانی به دو هدف داده شده است مقدار توابع هدف آب مصرفی و سود حالات ۲۹ بین جواب مدل توافقی lp_1 و lp_2 می باشند. در ترکیب وزن (۰/۵۰ و ۰/۵۰) حالت ۲۹، انتخاب می‌شود. مصرف آب ۵۸/۳ درصد و سود ۴۱/۷ درصد کاهش می‌یابد و ۱۲۶۲۹۷ مترمکعب مصرف آب کاهش می‌یابد. الگوی کشت گندم دیم، ۸/۳ هکتار گندم ۴۹ گندم ۳۰ درصد تنش در مرحله رسیدن با سیستم آبیاری بارانی، ۱/۸ هکتار، برنج ۳/۷ هکتار می‌باشد. در حالتی که وزن بیشتری به آب مصرفی داده شود، در ترکیب وزن (۰/۳۰ و ۰/۷۰) حالت ۳۶،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

انتخاب می‌شود. مصرف آب ۷۲/۹ درصد و سود ۵۷/۳ درصد کاهش می‌یابد و مصرف آب ۱۵۷۸۷۲ مترمکعب کاهش می‌یابد. الگوی کشت در این وضعیت گندم دیم، ۱۰ هکتار و برنج ۲/۷۳ هکتار می‌باشد. در ترکیب وزن (۰/۱۰ و ۰/۹۰) حالت ۴۸ انتخاب می‌شود. مصرف آب ۹۷/۹ درصد و سود ۸۴/۹ درصد و مصرف آب ۲۱۱۹۹۹ مترمکعب کاهش می‌یابد، الگوی کشت گندم دیم، ۱۰ هکتار و برنج ۰/۴ هکتار است.

در تمام دسته جواب‌های بهینه ارائه شده در برنامه‌ریزی چند هدفه درصد کاهش آب مصرفی بیش از درصد کاهش سود بوده که ناشی از وارد شدن محصولات با استراتژی‌های مختلف کم آبیاری همراه با سیستم آبیاری نوین در حالت‌های مختلف می‌باشد. اگرچه وارد کردن سیستم‌های آبیاری مدرن منجر به کاهش آب مصرفی می‌شود اما از سوی دیگر این نوع سیستم‌های آبیاری برای کشاورز هزینه بر بوده و سود کشاورز را تحت تأثیر قرار می‌دهد لذا پیشنهاد می‌شود با مدیریت صحیح کم آبیاری در مراحل خاصی از رشد و افزایش راندمان و استفاده توأم از استراتژی‌های مختلف کم آبیاری و افزایش راندمان آبیاری، گزینه‌های انتخاب بیشتری در اختیار کشاورز قرار گیرد تا کشاورز در شرایط مختلف امکانات آبی، از آنها به نحو مناسب‌تری استفاده نماید. وارد کردن استراتژی‌های مختلف کم آبیاری در دو حالت استفاده از روش آبیاری سنتی و بارانی در دیگر مطالعات وجود ندارد. بنابراین نتایج ارائه شده (الگوی کشت) در مطالعات پیشین تنها به محصولات مختلف بدون در نظر گرفتن استراتژی‌های مختلف کم آبیاری و سیستم‌های مختلف آبیاری پرداخته شده است. از آنجا که الگوهای بهینه کشت ارائه شده در مطالعه حاضر مشابه الگوی منطقه مورد مطالعه بوده است و تنها تفاوت در مدیریت زمان آبیاری و تغییر در راندمان است ارائه چنین الگوهایی کشاورز را به سمت کاهش مصرف آب به گونه‌ای که درصد کاهش سود کمتر از درصد کاهش آب باشد سوق می‌دهد. بنابراین انجام این‌گونه مطالعات می‌تواند به کشاورز در شرایط‌های مختلف امکانات آبی و وضعیت اقتصادی در جهت مدیریت تقاضای آب کمک نماید.

منابع مورد استفاده

۱. پولادیان، ع. ۱۳۸۶. گزارش توجیهی پیشنهاد تمدید ممنوعیت منابع آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی فیروزآباد سال آبی ۸۵-۸۶. معاونت مطالعات پایه منابع آب مدیریت آب‌های زیرزمینی، وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس.

2. Cohon, J. L. and D.H. Marks. 1975. A review and evaluation of multi objective programming techniques. Water Resour. 11: 208-220.
3. Cohon, J. L. 1978. Multi Objective Programming and Planning. Academic Press., New York.
4. Duckstein, L. and S. Opricovic. 1980. Multi objective optimization in river basin development. Water Resour. Res. 16: 14-20.
5. Kucukmehmetoglu, M. and J. Guldmann. 2005. Multi-Objective programming for the allocation of trans-boundary water resources: The Case of the Euphrayes and Tigris. 45th Congress of the European Regional Science Association. 23-27.
6. Mainuddin, M., A. D. Gupta and P.R. Onta. 1997. Optimal crop planning model for an existing groundwater irrigation project in Thailand. Agric. Water Manag. 33: 43-62.
7. Meyer, S. J., K. G. Hubbard and D. A. Wilhite. 1993. A crop – specific drought index for corn: I. Model development and validation. Agron. J. 85: 388-395.
8. Morse, J. N. 1980. Reducing the size of the non dominated set: pruning by clustering. Comp. Oper. Res. 7: 55-66.
9. Raju, K. S. and D.N. Kumar. 1999. Multi-criterion decision making in irrigation planning. Agric. Sys. 62: 117-129.
10. Sergio, R. F. and A. Mubarik. 2006. Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems :An application of multiple objective programming. Agric. Sys. 87: 147-168.
11. Steuer, RE. 1986. Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application. John Wiley Pub., New York.
12. Thampapillai, D. J. and J.A. Sinden. 1979. Trade-offs for multiple objectives planning through linear programming.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]

Water Resour. Res. 15: 1028-1033.
13. Tiwari, D. N., R. N. Loof and G.N. Paudyal. 1999. Environmental economic decision-making in lowland irrigated agriculture using multi-criteria analysis techniques. Agric. Sys. 60: 99-112.
14. Yu, P.l. 1973. A class of solutions for group decision problem. Manag. Sci. 19: 934-946.
15. Vedula, S. and P. Rogres. 1981. Multi-objective analysis of irrigation planning in river basin development. Water Resour. Res. 17: 1304-1310.
16. Zeleny, M. 1974. Compromise solution and the methods of the displaced ideal. Comp. and Oper. Res. 1: 479-496.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.13.0]