

## تعیین الگوی کشت بهینه بخش مرکزی شهرستان سیرجان با توجه به

### پایداری منابع آب و محیط زیست

عباس میرزایی<sup>\*</sup>، قاسم لیانی<sup>۱</sup>، حسن آزمون<sup>۱</sup> و سیامک جمشیدی<sup>۲</sup>

#### چکیده

امروزه پایداری منابع آب و محیط زیست در کشاورزی از اهمیتی بسیار زیاد برخوردار است. از این رو، تعیین الگوی کشت سودآور با مصرف کمتر منابع آب و کود شیمیایی باعث استفاده پایدار از منابع می‌شود. هدف از این مطالعه تعیین الگوهای کشت بهینه محصولات کشاورزی بخش مرکزی شهرستان سیرجان با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و زیست محیطی به گونه جداگانه و هم‌زمان می‌باشد که برای مسایل تک هدفه، مدل برنامه‌ریزی خطی ساده و برای مسئله چند هدفه، مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه با استفاده از روش مقید تعمیم‌یافته (Augmented e-constraint) و روش TOPSIS حل شد. داده‌های مورد نیاز مطالعه از راه پرسش‌نامه از ۱۹۰ نفر از بهره‌برداران منطقه در دوره زمانی ۱۳۹۲ و به روش نمونه‌گیری ساده تصادفی استخراج شد. نتایج الگوهای بهینه منتخب در حالات وزنی گوناگون نشان داد که برای مزارع کوچک‌تر از پنج هکتار، محصول یونجه سطح زیر کشت کم‌تر و محصول جو در الگوهای بهینه با وزن بیش‌تر اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و کود شیمیایی، سطح زیر کشت بیش‌تری نسبت به الگوی کنونی را به خود اختصاص می‌دهد، اما در الگوهای بهینه با وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن یکسان اهداف، محصول پیاز جایگزین این محصول می‌شود. همچنین، نتایج برای مزارع بزرگ‌تر از ۵ هکتار نشان داد که برای تأمین هم‌زمان اهداف، محصول یونجه کم‌تر و محصولات جو و پیاز بیش‌تر از الگوی کنونی کشت شوند. در پایان، مشخص شد که مزارع بزرگ‌تر از لحاظ سوددهی بهتر از مزارع کوچک‌تر عمل کرده‌اند، اما از لحاظ مصرف آب کارا عمل نکرده‌اند.

طبقه‌بندی JEL: c63, c61, c60

واژه‌های کلیدی: الگوی بهینه کشت، پایداری، مدل چندهدفه، روش مقید تعمیم یافته، روش TOPSIS.

<sup>۱</sup> - دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی، بخش اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز.

<sup>۲</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی، بخش اقتصاد کشاورزی، دانشگاه شیراز.

\*- نویسنده مسئول مقاله: mabbas1369@gmail.com

### پیشگفتار

در کشاورزی به دلیل اتکای بی‌رویه بر مصرف نهاده‌ها بویژه، کودها و سموم شیمیایی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب، فشار بی‌رویه‌ای بر محیط زیست وارد شده است (بیلین و همکاران ۲۰۰۴). در دهه‌های اخیر، به دلیل نگرانی از مشکلات زیست محیطی، نظام‌های کشاورزی مدرن مورد انتقاد شدید قرار گرفته و کشاورزی پایدار از اهمیت بسیار زیادی برخوردار شده است.

بحث پایداری در کشاورزی ابعاد گوناگونی شامل اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی را در بر می‌گیرد (لینام و هردت ۱۹۸۹). کشاورزی پایدار سیستمی است که منابع آن به گونه متعادل نگه داشته می‌شوند، تولید و سودمندی و سایر موارد آن نه فقط برای کشاورزی بلکه برای جامعه و کشاورزان پایدار باشد (گولد ۲۰۰۷). در کشاورزی پایدار، بیشینه کردن یک هدف مطلق مطرح نیست بلکه هدف بیشینه کردن ستانده‌ها و کمینه نمودن نهاده‌ها (به گونه نسبی و هم‌زمان) است. این راهبرد با نقش پایداری یعنی کاهش یا حذف استفاده از فراورده‌های شیمیایی بویژه کودها و سموم و همچنین، کاهش تخریب منابع آب ارتباط نزدیکی دارد. به گونه معمول، در کارهای عملی بمنظور دستیابی به پایداری، ستانده (های) مطلوب بیشتر و در مقابل ستانده (های) نامطلوب و استفاده از نهاده‌های تجدیدناپذیر و کمیاب و زیان‌بار کمینه می‌شود، به بیان دیگر، رسیدن به پایداری مستلزم مقایسه سطوح تولید و نهاده‌های اقتصادی با سطوح نهاده‌ها یا ستانده‌های نامطلوب است (لارا و میناسیان ۱۹۹۹).

مدیریت منابع آب به‌عنوان مهم‌ترین منبع تجدیدپذیر، اما محدود، یکی از مهم‌ترین چالش‌های سده کنونی بوده و موجبات نگرانی‌های عمده جهانی را فراهم آورده است (دینگ ۲۰۰۵؛ لیرن ۲۰۰۹). مباحث و مطالعاتی که پیرامون موضوع آب به‌عنوان یکی از محوری‌ترین اجزای توسعه پایدار صورت پذیرفته، مدیریت ضعیف و ناپایدار آب و نه محدودیت‌های واقعی فیزیکی عرضه را مسئول مشکلات یاد شده می‌داند (استراتون ۲۰۰۸؛ آنجلس ۲۰۱۱). بر اساس شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، کشور ایران در وضعیت بحران شدید کم آبی قرار دارد. بنابر گزارش این مؤسسه ایران برای حفظ وضع موجود خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این مقدار با توجه به امکانات و منابع موجود ناممکن به نظر می‌رسد (مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ۲۰۱۲). لذا، وضعیت موجود آب کشور می‌بایست جزو نگرانی‌ها و دغدغه‌های کارشناسان، مدیران و دولتمردان بوده و برای حل این معضل، لازم است با گرفتن تصمیم‌های اصولی و کارساز مانع از گسترش این بحران شوند. بنابراین، از یک سو منابع آب موجود رفته رفته در حال کاهش و آلوده شدن هستند و از سوی دیگر، تقاضا برای مواد غذایی در حال

افزایش می‌باشد. از این رو، اتخاذ یک الگوی کشت مناسب برای هر منطقه ضروری به نظر می‌رسد (ویوکاناندان و همکاران ۲۰۰۹).

در این مطالعه، الگوی کشت اقتصادی، زیست محیطی و پایدار بخش مرکزی شهرستان سیرجان که از شهرستان‌های استان کرمان بشمار می‌آید، مورد بررسی قرار گرفته است. این شهرستان در منطقه خشک کشور واقع شده است و مانند دیگر مناطق کشور از مشکل کم آبی رنج می‌برد. حال با توجه به کاهش سطح آب زیرزمینی منطقه و همچنین، کاهش استفاده از کود و سموم شیمیایی بمنظور حفاظت از محیط زیست و عملی کردن بحث پایداری، بایستی تعیین گردد که الگوی کشت در منطقه مورد مطالعه چگونه باشد تا افزون بر استفاده بهینه از منابع موجود، بیشینه بازده و سود را برای کشاورزان تامین کند.

چندین مطالعه که افزون بر هدف اقتصادی، سایر اهداف از جمله حفاظت از منابع آب را به گونه هم‌زمان با توجه به محدودیت‌های موجود، تأمین می‌کنند، در زمینه تدوین الگوی کشت بهینه وجود دارند که در این مطالعات از برنامه‌ریزی چندهدفه استفاده شده است.

فتحی و زیبایی (۱۳۸۹) به مدیریت منابع آب زیرزمینی در منطقه فیروزآباد استان فارس و بررسی تاثیر مقدار برداشت از آب زیرزمینی بر درآمد کشاورزان، با استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفه پرداختند. در این مطالعه نیز در راستای حفظ منابع آب زیرزمینی با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی، به تعیین الگوی کشت بهینه و مقدار بهینه آب زیرزمینی مورد نیاز در دشت کوار واقع در استان فارس پرداخته شد. قربانیان و همکاران (۱۳۹۲) به تعیین الگوی بهینه کشت در دشت کوار با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی پرداختند. در این مطالعه از داده‌های سری زمانی قیمت و عملکرد طی سال‌های ۸۸-۱۳۷۸ و داده‌های پرسش‌نامه‌ای (۱۳۸۹-۹۰) در دشت کوار واقع در استان فارس استفاده شد و تعیین الگوی بهینه کشت و مقدار بهینه آب کشاورزی مورد نیاز را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی مورد توجه قرار دادند. نتایج نشان دادند که هدف بیش‌ترین سود در مقایسه با هدف بیشینه سازی مطلوبیت، سود بیش‌تری ایجاد می‌کند، اما مقدار مصرف آب نیز بیش‌تر است. همچنین، مقدار مصرف آب با ریسک‌گریزی زارع رابطه عکس دارد و بهره‌بردار ریسک‌گریز از تمامی امکانات آبی خود استفاده نمی‌کند. فلاحی و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی به تدوین الگوی کشت که دو هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و کمینه سازی مصرف آب در دشت سیدان - فاروق شهرستان مرودشت را دنبال می‌کند، پرداختند. در این مطالعه، از ترکیب‌های گوناگون وزن اهداف استفاده شد که تمامی الگوی پیشنهادی به وسیله مدل، امکان افزایش بازده ناخالص و کاهش مصرف آب را برای دو گروه از مزارع فراهم می‌کند (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۲).

ژوی و خان (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای به حل مسئله مدیریت آب و الگوی کشت بهینه با استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی آرمانی برای دستیابی به اهداف متضاد درآمد خالص و هزینه‌های متغیر ناشی از پمپاژ آب زیر زمینی پرداختند. فرانسیسکو و علی (۲۰۰۶) با بکارگیری برنامه‌ریزی چندهدفه به بررسی تخصیص منابع در مزارع منطقه مانیلا در کشور فیلیپین پرداخته‌اند. کیورشی و همکاران (۲۰۰۷) با ارایه مدل اقتصادی و زیست محیطی و بکارگیری روش‌های گوناگون، اثرات گوناگون مدیریت آب زیرزمینی و اثر مستقیم آن را بر سوددهی گیاه چغندر قند را در ناحیه کوئینزلند استرالیا مورد بررسی قرار دادند. ژنگ و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به تعیین الگوی کشت بهینه منطقه لیانگ ژو در استان گانسو با استفاده از روش برنامه‌ریزی چند هدفه پرداختند. آن‌ها در این مطالعه، دو هدف بیشینه سازی درآمد خالص و کمینه سازی تبخیر و تعرق را برای رسیدن به الگوی کشت بهینه مورد نظر قرار دادند. لی (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به بررسی حوزه آبریز سد مخزنی تسنگ-ون در تابوان پرداخت. او در این مطالعه با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی به بیشینه سازی اهداف اقتصادی و کمینه سازی آلودگی منابع آب پرداخت. نتایج مطالعه نشان دادند که با افزایش سود اقتصادی، آلودگی منابع آب نیز افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج نشان دادند که برای کاهش آلودگی منابع آب بایستی کشت چای افزایش یابد.

در این مطالعه از روش خاص مقید تعمیم‌یافته که دارای مزیت‌های است استفاده شده است، اما در مطالعات داخلی تاکنون از این روش استفاده نشده است. همچنین، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله روش TOPSIS بمنظور انتخاب بهترین جواب کارا از میان جواب‌های کارای بدست آمده، استفاده می‌کند.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه ابتدا الگوی کشت بر اساس تامین هدف اقتصادی که بیشینه نمودن بازده ناخالص است، تعیین می‌گردد. از این رو تابع هدف به صورت (۱) فرموله می‌گردد:

$$\max z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \quad (1)$$

n: شمار محصولات موجود در الگوی کشت است. متغیرهای مجهول در تابع هدف Xها و Z می‌باشند.  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  بیان‌گر سطح زیر کشت محصولات گوناگون که در منطقه مورد مطالعه کشت می‌شوند و  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  نیز بیان‌گر بازده ناخالص هر واحد سطح محصول

<sup>1</sup>- Augmented E-constraint

(فعالیت) است. بازده ناخالص از تفاوت درآمد و هزینه‌های متغیر حاصل می‌شود. محدودیت‌های مدل (۲) به صورت زیر فرموله می‌گردند:

(۲)

محدودیت زمین: ( $A_{total}$  مقدار زمین در دسترس)

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n \leq A_{total}$$

محدودیت نیروی کار: ( $Labor$  مقدار نیروی کار در دسترس و  $L$ ها ضرایب فنی)

$$L_1 X_1 + L_2 X_2 + \dots + L_n X_n \leq Labor$$

محدودیت مکانیزاسیون: ( $T$  مقدار ساعت ماشین در دسترس و  $T$ ها ضرایب فنی)

$$T_1 X_1 + T_2 X_2 + \dots + T_n X_n \leq T$$

محدودیت سرمایه: ( $TCC$  مقدار سرمایه نقدی در دسترس و  $TVC$ ها ضرایب فنی)

$$TVC_1 X_1 + TVC_2 X_2 + \dots + TVC_n X_n \leq TCC$$

محدودیت تناوب زراعی

$$(\pm)X_1(\pm)X_2(\pm)X_3(\pm)\dots \leq 0$$

محدودیت غیر منفی

$$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \geq 0$$

محدودیت منابع آبی ( $Q^s_{total}$  منابع آب سطحی در دسترس،  $Q^g_{total}$  منابع آب زیرزمینی

در دسترس و  $q$ ها ضرایب فنی)

$$q_1 X_1 + q_2 X_2 + \dots + q_n X_n \leq q^s_{total} + q^g_{total}$$

محدودیت کود شیمیایی ( $FF$  کود شیمیایی در دسترس و  $F$ ها ضرایب فنی)

$$F_1 X_1 + F_2 X_2 + \dots + F_n X_n \leq FF$$

تابع هدف بر اساس تامین هدف زیست محیطی حداقل نمودن کود شیمیایی مصرفی، به صورت

زیر فرموله می‌گردد:

$$\min z = C'_1 X_1 + C'_2 X_2 + \dots + C'_n X_n$$

$C' = \{C'_1, C'_2, \dots, C'_n\}$  نیز بیانگر ضرایب فنی مربوط به کود شیمیایی مورد نیاز هر

محصول (فعالیت) در منطقه مورد مطالعه است که محدودیت‌های مدل نیز مانند مدل بالا می‌باشند

با این تفاوت که جای محدودیت کود شیمیایی، محدودیت بازده ناخالص قرار می‌گیرد.

$$C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n \geq g$$

(۳)

محدودیت بازده ناخالص ( $g$ : کمینه بازده ناخالص)

تابع هدف بر اساس تامین هدف زیست محیطی کمینه نمودن آب مصرفی، به صورت زیر فرموله می‌گردد:

$$\min z = C_1''X_1 + C_2''X_2 + \dots + C_n''X_n$$

$C'' = \{C_1'', C_2'', \dots, C_n''\}$  نیز بیان‌گر ضرایب فنی مربوط به آب مورد نیاز هر محصول (فعالیت) در منطقه مورد مطالعه است. محدودیت‌های مدل نیز مانند مدل بالا می‌باشند با این تفاوت که جای محدودیت مصرف آب، محدودیت مصرف کودشیمیایی قرار می‌گیرد. رهیافت برنامه‌ریزی چندهدفه، امکان بهینه‌سازی چند هدف را به گونه هم‌زمان مشروط به محدودیت منابع فراهم می‌کند. البته، بیش‌تر به جای یک جواب بهینه، یک مجموعه از جواب‌ها بدست می‌آید. بهینه‌سازی به صورت سیستمی مجموعه‌ای از هدف‌ها، بهینه‌سازی چند هدفی یا برداری نامیده می‌شود (مارلر و آرورا ۲۰۰۴). شکل کلی الگوی یک برنامه‌ریزی چند هدفی را می‌توان به صورت زیر نوشت (فرانسیکو و علی ۲۰۰۶):

(۴)

$$Z_1(x) = Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$Z_2(x) = Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$Z_h(x) = Z_h(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\vdots$$

$$Z_k(x) = Z_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad \max z = (Z_1(X_j), Z_2(X_j), \dots, Z_h(X_j), \dots, Z_k(X_j))$$

که در آن  $Z$  بردار تابع هدف و  $Z_i$  توابع هدف انفرادی است.  $n$  تعداد محصولات منتخب و  $X_j$  سطح زیر کشت اختصاص داده شده به محصول  $j$ ام است. در دانش‌های گوناگون از روش‌هایی گوناگون برای حل یک الگوی بهینه‌یابی چند هدفی استفاده می‌شود. این روش‌ها عبارتند از روش وزنی، روش مقید و روش سیمپلکس چند معیاری.

روش مقید در مقایسه با سایر روش‌های حل برنامه‌ریزی چند هدفی از مقبولیتی بیش‌تر برخوردار است. این روش افزون بر این که امکان مدل‌سازی آسان‌تر را فراهم می‌کند، امکان تلفیق با سایر روش‌ها مانند روش وزنی را نیز فراهم می‌کند. در این روش هر بار یکی از توابع هدف بهینه شده و سایر توابع به عنوان محدودیت یا تنگنا به مدل افزوده می‌شوند. با تغییر در مقدار تنگنای سمت راست هر یک از هدف‌های مقید شده می‌توان به مجموعه‌ای از پاسخ‌های بهینه پارتو دست یافت (هانگ و موساد ۱۹۷۹). بنابراین شکل کلی یک مدل چند هدفی در حالتی که  $h$ امین هدف

از مجموع  $k$  هدف بهینه شده و  $k-1$  هدف باقی مانده به صورت تنگنا لحاظ می‌شود را می‌توان به صورت (۵) در نظر گرفت (فرانسیکو و علی ۲۰۰۶):

$$\begin{aligned} \max : & Z_h(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ & Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq e_1 \\ & Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq e_2 \\ & \vdots \\ & Z_{h-1}(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq e_{h-1} \\ & Z_{h+1}(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq e_{h+1} \\ & \vdots \\ & Z_k(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq e_k \end{aligned} \quad (5)$$

که مقادیر  $e$ ها پارامتریک می‌باشند. به وسیله تغییر در مقادیر سمت راست ( $e$ ها) اهدافی که به صورت تنگنا در نظر گرفته شده‌اند، مجموعه جواب‌های کارایی به دست می‌آیند. روش مقید در مقایسه با روش وزنی از مزیت‌هایی برخوردار است (ماوروتاس ۲۰۰۹):

۱) روش وزنی برای مسایل خطی، جواب‌های کارایی گوشه‌ای یا جواب‌های کارایی حدی از ارایه می‌کنند حال آن‌که روش مقید افزون بر جواب‌های گوشه‌ای، جواب‌های کارایی مابین آن‌ها را نیز تعیین و ارایه می‌کند. به عبارتی مجموعه‌ای از جواب‌های کارایی حدی و غیر حدی ارایه می‌کند. از این رو، با استفاده از روش مقید می‌توان به جواب‌های بهینه بیش‌تری دست یافت که تولیدکنندگان را به سمت الگوهای کشت بهینه رهنمون کند.

۲) روش وزنی برای حل مسائل چند هدفه عدد صحیح و ترکیب عدد صحیح ممکن است جواب‌های کارایی را ارایه ندهد. حال آن‌که روش مقید این‌گونه نمی‌باشد (استیور ۱۹۸۶، میتینن ۱۹۹۸).

۳) در روش وزنی مقیاس اندازه‌گیری توابع اهداف تاثیر بسیار زیادی در جواب‌های بدست آمده دارد. از این رو، نیاز به تبدیل مقیاس اهداف به یک مقیاس مشترک قبل از حل مسایل با این‌گونه روش است. حال آن‌که در روش مقید این کار نیاز نیست.

تا به امروزه چندین نسخه از روش مقید برای بهبود این روش در حل مسایل برنامه‌ریزی چند هدفه استفاده شده است. در این مطالعه از روش مقید تعمیم‌یافته استفاده می‌شود. این روش مزیت‌هایی را در حل مسائل برنامه‌ریزی خطی بوجود می‌آورد. یکی از مزیت‌های این روش این

<sup>1</sup> - Integer programming

<sup>2</sup> - Mixed integer programming

است که بر خلاف نسخه قدیم روش مقید مجموعه جواب‌های کارای قوی را استخراج می‌کند و جواب‌های کارای ضعیف را حذف می‌کند. برای این کار این روش تنگناهای تابع هدف را که به صورت نامعادله هستند را به معادله تبدیل می‌کند و برای این کار از متغیرهای مازاد یا کمبود کمک می‌گیرد. بر این اساس مدل جدید به صورت (۶) ارائه می‌شود:

(۶)

$$\max(Z_h(x_1, x_2, \dots, x_n) + \text{eps}(s_1 + s_2 + \dots + s_{h-1} + s_{h+1} + \dots + s_k))$$

$$Z_1(x_1, x_2, \dots, x_n) - s_1 = e_1$$

$$Z_2(x_1, x_2, \dots, x_n) - s_2 = e_2$$

⋮

$$Z_{h-1}(x_1, x_2, \dots, x_n) - s_{h-1} = e_{h-1}$$

$$Z_{h+1}(x_1, x_2, \dots, x_n) - s_{h+1} = e_{h+1}$$

⋮

$$Z_k(x_1, x_2, \dots, x_n) - s_k = e_k$$

که  $\text{eps}$  یک مقدار خیلی ناچیز (معمولاً بین  $10^{-3}$  و  $10^{-6}$ ) می‌باشد. ویژگی مدل بالا این است که حل آن جواب‌های کارای ضعیف را تولید نمی‌کند. هم‌چنین، این روش برای جلوگیری از مسئله مقیاس اندازه‌گیری به جای متغیرهای  $S_i$  در تابع هدف از  $S_i/I_i$  استفاده می‌کند. که  $I_i$  دامنه‌ای از تابع هدف  $I_i$  است (فاصله بدترین و بهترین مقدار هدف مورد نظر) از این رو، تابع هدف به صورت زیر تغییر پیدا می‌کند.

$$\max(Z_h(x_1, x_2, \dots, x_n) + \text{eps}(\frac{s_1}{I_1} + \frac{s_2}{I_2} + \dots + \frac{s_{h-1}}{I_{h-1}} + \frac{s_{h+1}}{I_{h+1}} + \dots + \frac{s_k}{I_k})) \quad (7)$$

از این رو، این نسخه‌ی جدید از روش مقید، روش مقید تعمیم‌یافته نامیده می‌شود. این روش در نرم افزار GAMS قابل اجرا می‌باشد. در این مطالعه ۳ هدف بیش‌ترین بازده ناخالص (سود)، کم‌ترین مصرف آب و کود شیمیایی همراه با محدودیت‌هایی که در گذشته توضیح داده شده با استفاده از روش مقید تعمیم‌یافته حل و مجموعه جواب‌های بهینه و کارا استخراج می‌شوند.

روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی یک روش ساده و آسان برای رتبه‌بندی آلترناتیوها یا گزینه‌های موجود براساس معیارهای گوناگون می‌باشد. این روش که کوتاه‌ترین فاصله از نقطه ایده‌آل را به عنوان بهترین گزینه انتخاب می‌کند، جزء دسته روش‌های مصالحه‌ای یا توافقی است. این روش شامل مراحل زیر است:

<sup>1</sup>- TOPSIS

<sup>2</sup>-Compromise programming



۱) در ابتدا نقاط ایده‌آل (آلترناتیو ایده‌آل) تعیین می‌گردد که برای معیارهای بیشینه بهتر، بیش‌ترین ارزش و برای معیارهای کمینه بهتر، کم‌ترین ارزش بعنوان نقاط ایده‌آل (Ideal) شناسایی می‌شود.

$$A^+ = \{A_1^+, A_2^+, \dots, A_j^+\} \quad (۸)$$

۲) در این مرحله، نقاط بدترین (آلترناتیو بدترین) مربوط به هر معیار تعیین می‌شود که برای معیارهای بیشینه بهتر، کم‌ترین امتیاز و برای معیارهای کمینه بهتر، بیش‌ترین امتیاز بعنوان بدترین نقاط شناسایی می‌شوند.

$$A^- = \{A_1^-, A_2^-, \dots, A_j^-\} \quad (۹)$$

۳) در مرحله آخر، شاخص نزدیکی مربوط به هر آلترناتیو از راه فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{(R)^-}{(R)^+ + (R)^-} \quad (۱۰)$$

که  $R^-$ ، فاصله هر آلترناتیو از آلترناتیو بدترین و  $R^+$ ، فاصله هر آلترناتیو از آلترناتیو ایده‌آل می‌باشد. در نهایت هر آلترناتیو که CI بزرگ‌تری داشته باشد به عنوان بهترین آلترناتیو انتخاب می‌شود. در این مطالعه از میان مجموعه جواب‌های کارای مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، بهترین جواب از طریق روش TOPSIS تعیین می‌شود.

داده‌های مورد نیاز در مطالعه جاری از راه دو منبع پرسش‌نامه از ۱۹۰ نفر از کشاورزان طی دوره ۱۳۹۲ که به صورت نمونه‌گیری ساده تصادفی انتخاب شده‌اند و همچنین، آمار تکمیلی مدیریت جهاد کشاورزی استان کرمان بدست آمده است. عمده‌ترین محصولات زراعی بخش مرکزی شهرستان سیرجان که شامل هشت دهستان است، گندم، جو، یونجه و پیاز می‌باشند که حدود ۹۰ درصد از کل سطح زیر کشت محصولات زراعی این شهرستان را تشکیل می‌دهند (سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان ۹۲-۱۳۹۱) و از آن‌جا که در پرسش‌نامه‌های پر شده نیز کشت محصولات بالا فراوانی بیش‌تری داشته‌اند، در تعیین الگوی کشت محصولات کشاورزی این شهرستان، محصولات زراعی نام برده مورد بررسی قرار می‌گیرند. همچنین، در این مطالعه بهره‌برداران نمونه مورد نظر با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای و بر اساس اندازه سطح زیر کشت به دو گروه همگن تقسیم‌بندی شدند.

<sup>۱</sup>- Anti Ideal

## نتایج و بحث

براساس پرسش‌نامه‌های تکمیل شده، بهره‌برداران نمونه مورد نظر به دو گروه تقسیم شدند. در گروه نخست، مزارع کم‌تر از پنج هکتار و در گروه دوم، مزارع بیش از پنج هکتار قرار گرفت. از حل مدل‌های برنامه‌ریزی خطی جداگانه با سه هدف بیشینه سازی بازده ناخالص، کمینه سازی مصرف آب و کمینه سازی مصرف کودشیمیایی، ماتریس بازده بدست می‌آید (جدول ۱).

عناصر هر ردیف این ماتریس از راه بهینه سازی هر هدف به گونه جداگانه تعیین شد. هر ردیف یک هدف بهینه و مقادیر هدف دیگر به صورت پارامتریک محاسبه شده است. مقایسه میان مدل‌ها با در نظر گرفتن هر هدف مشخص نشان می‌دهد که ماتریس بازده در تشخیص مقدار تضاد بین اهداف مورد نظر، مفید است. نتایج جدول ۱ برای مزارع گروه یک حاکی از این است که زمانی که هدف بیشینه سازی بازده ناخالص مد نظر است، مقدار آب مصرفی (۴۱۷۷۴/۰۳۴ متر مکعب) نسبت به آب مصرفی در حالت کمینه سازی مصرف آب (۱۶۲۱۴/۱۷۵ متر مکعب) و حتی آب مصرفی در حالت کمینه سازی مصرف کود شیمیایی (۲۸۷۵۴/۲۰۶ متر مکعب)، بیش‌تر است. به بیان دیگر، در حالی که هدف بیشینه سازی بازده ناخالص تأمین شود، مصرف آب کمینه نبوده و از هدف کمینه سازی مصرف آب دور می‌شود. کود شیمیایی مصرفی زمانی که هدف بیشینه سازی بازده ناخالص مد نظر است، با زمان‌هایی که اهداف دیگر تأمین می‌شوند نیز مقایسه می‌شود. به گونه‌ای که برای گروه یک، زمانی که هدف بیشینه سازی بازده ناخالص مد نظر است، مقدار کود شیمیایی مصرفی شامل کود شیمیایی ازته (۶۹۵/۶۸۶ کیلوگرم) و کود شیمیایی فسفات (۶۳۰/۳۰۷ کیلوگرم) نسبت به کود شیمیایی ازته مصرفی (۵۸۹/۴۵۰ کیلوگرم) و کود شیمیایی فسفات مصرفی (۵۲۶/۶۲۳ کیلوگرم) در حالت کمینه سازی مصرف آب و کود شیمیایی ازته مصرفی (۵۶۹/۳۴ کیلوگرم) و کود شیمیایی فسفات مصرفی (۵۱۴/۹۴۶ کیلوگرم) در حالت کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی، بیش‌تر است. به بیان دیگر، در حالی که هدف بیشینه سازی بازده ناخالص باشد، مصرف کود شیمیایی کمینه نبوده و از هدف کمینه سازی مصرف کود شیمیایی دور می‌شود.

زمانی که کمینه سازی مصرف آب مد نظر است، مقدار بازده ناخالص برای مثال، برای مزارع گروه یک (۲/۱۶۲۷×۱۰<sup>۷</sup> ریال) نسبت به بازده ناخالص در حالت بیشینه سازی بازده ناخالص (۷/۰۱×۱۰<sup>۷</sup>) و حتی نسبت به بازده ناخالص در حالت کمینه سازی مصرف کود شیمیایی (۴/۰۲۷۲×۱۰<sup>۷</sup> ریال)، کم‌تر است. یعنی با تأمین هدف کمینه‌سازی مصرف آب، مقدار بازده ناخالص بیشینه نبوده و از هدف بیشینه سازی بازده ناخالص دور می‌شود. هم‌چنین، برای مزارع گروه یک با هدف کمینه‌سازی مصرف آب، مقدار کود ازته مصرفی (۵۸۹/۴۵۰ کیلوگرم) و کود

فسفات مصرفی (۵۲۶/۶۲۳ کیلوگرم) نسبت به کود ازته مصرفی در حالت بیشینه سازی بازده ناخالص (۶۹۵/۶۸۶ کیلوگرم) و کود فسفات مصرفی در حالت بیشینه سازی بازده ناخالص (۶۳۰/۳۰۷ کیلوگرم)، کمتر است، اما نسبت به کود ازته مصرفی (۵۶۹/۳۴ کیلوگرم) و کود فسفات مصرفی (۵۱۴/۹۴۶ کیلوگرم) در حالت کمینه سازی کود شیمیایی مصرفی، بیش تر است. از این رو، برای تأمین هدف کمینه سازی مصرف آب تا حدودی از تأمین هدف کمینه سازی مصرف کود شیمیایی دور می شود، اما این فاصله چندان زیاد نیست. تضاد میان اهداف برای مزارع گروه دو نیز قابل مشاهده است. در ادامه الگوهای کشت مناسب با تأمین هر یک از سه هدف در جدول ۲ آورده شده است.

بر اساس نتایج جدول ۲، چنانچه تنها هدف بیشینه سازی بازده ناخالص مد نظر باشد، سه محصول یونجه، پیاز و گندم به ترتیب بیشترین سطح زیر کشت را در هر دو گروه از مزارع به خود اختصاص می دهند. در الگوی کشت بهینه با هدف بیشترین بازده ناخالص، حذف محصول جو از الگوی کشت پیشنهاد می شود. حال آن که در الگوی کشت بهینه با هدف کمینه سازی مصرف آب، محصولات جو و گندم برای مزارع هر دو گروه به ترتیب بیشترین سطح زیر کشت را دارند. هم چنین، پیشنهاد حذف محصولات یونجه و پیاز برای تأمین هدف کمینه سازی مصرف آب هر دو گروه از مزارع ارایه می شود. برای تأمین هدف کمینه سازی مصرف کود شیمیایی نیز کشت بیشترین محصولات یونجه و جو و حذف پیاز و تقریباً گندم از الگوی کشت ضروری به نظر می رسد. از مقایسه این سه الگو می توان برداشت کرد که اهداف در نظر گرفته شده کاملاً در تضاد با یکدیگر هستند و تأمین یک هدف باعث فاصله گرفتن از اهداف دیگر می شود. بنابراین، برای تأمین هر سه هدف به صورت همزمان نیازمند تدوین یک الگوی برنامه ریزی خطی چند هدفه می باشد.

حل مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه با روش مقید تعمیم یافته برای هر دو گروه از مزارع، مجموعه جواب های بهینه و کارای پارتو را ایجاد می کند که ۵۰ مجموعه جواب کارا از حل این مدل بدست آمده است. سپس، برای اجرای روش TOPSIS نیازمند تعیین وزن معیارها می باشد. بنابراین، ترکیب وزنی گوناگونی در این مطالعه در نظر گرفته می شود که براساس این اوزان، بهترین جواب بهینه استخراج می گردد. در این مطالعه، سه ترکیب وزنی گوناگون برای اهداف مورد تعقیب استفاده می شود: در حالت نخست، وزن تمامی اهداف یکسان (۰/۳) لحاظ می شود. در حالت دوم، وزن بیش تری به هدف بیشینه سازی بازده ناخالص (۰/۵) و اوزان دو هدف دیگر به صورت یکسان (۰/۲۵). در حالت سوم، وزن بیش تری به هدف کمینه سازی مصرف آب (۰/۵) و اوزان دو هدف دیگر یکسان (۰/۲۵). در حالت چهارم، وزن بیش تری به هدف کمینه سازی مصرف کود شیمیایی (۰/۵) و اوزان دو هدف دیگر یکسان (۰/۲۵) در نظر گرفته می شود.

شاخص نزدیکی برای هر آلترناتیو یا مجموع جواب در ترکیب‌های وزنی گوناگون محاسبه می‌شود. در ادامه جوابی که بیش‌ترین مقدار نزدیکی را داشته باشد به عنوان جواب کارای منتخب با وزن‌های گوناگون هر یک از اهداف در نظر گرفته می‌شود. جدول ۳ ماتریس نتایج جواب‌های بهینه منتخب دو گروه از مزارع در حالات گوناگون از ترکیب‌های وزنی را نشان می‌دهد.

نتایج جدول ۳ برای مزارع گروه یک نشان می‌دهد، هنگامی که وزن یکسان به اهداف گوناگون اختصاص می‌یابد، جواب بهینه ۴۲ انتخاب می‌گردد. در حالت دوم که وزن هدف بیش‌ترین بازده ناخالص بیش‌تر از وزن دو هدف دیگر است باز هم جواب بهینه ۴۲ بعنوان بهترین جواب تعیین می‌شود، اما برای حالت سوم که وزن هدف کمینه کردن آب مصرفی از دو هدف دیگر بیش‌تر است، جواب بهینه شماره هفت، جواب منتخب می‌باشد که بازده ناخالص، آب و کود شیمیایی مصرفی این الگو کم‌تر از زمانی است که وزن اهداف یکسان و یا وزن هدف بیش‌ترین بازده ناخالص بیش از بقیه است. به عبارتی با مهم‌تر شدن اهمیت کاهش مصرف آب، جواب بهینه از سمت بازده بیش‌تر با مصرف کود و آب بیش‌تر به سمت مصرف آب کم‌تر حتی با داشتن بازده پایین‌تر سوق داده می‌شود. در حالتی که وزن هدف کمینه کردن کود شیمیایی بیش از دو هدف دیگر باشد، جواب بهینه ۲۲ که بازده ناخالص و نهاده‌های مصرفی آن اختلاف چندانی با جواب بهینه ۴۲ ندارد، انتخاب می‌گردد.

نتایج جدول ۳ برای مزارع گروه دو نشان می‌دهد، هنگامی که وزن یکسان به اهداف گوناگون اختصاص می‌یابد، جواب بهینه ۳۳ انتخاب می‌گردد. در حالت دوم که وزن هدف بیش‌ترین بازده ناخالص بیش‌تر از وزن دو هدف دیگر است جواب بهینه ۴۷ بعنوان بهترین جواب تعیین می‌شود که این جواب در مقایسه با جواب بهینه ۳۳، بازده ناخالص بیش‌تری را ایجاد می‌کند، اما در مقابل نهاده‌های آب و کود شیمیایی بیش‌تری را هم مصرف می‌کند. برای حالت سوم که وزن هدف کمینه کردن آب مصرفی از دو هدف دیگر بیش‌تر است، جواب بهینه شماره ۱۰، جواب منتخب می‌باشد که بازده ناخالص، آب و کود شیمیایی مصرفی این الگو کم‌تر از زمانی است که وزن اهداف یکسان و یا وزن هدف بیش‌ترین بازده ناخالص بیش از بقیه است. به بیان دیگر، با مهم‌تر شدن اهمیت کاهش مصرف آب، جواب بهینه از سمت بازده بیش‌تر با مصرف کود و آب بیش‌تر به سمت مصرف آب کم‌تر حتی با داشتن بازده پایین‌تر سوق داده می‌شود. در حالتی که وزن هدف کمینه کردن کود شیمیایی بیش از دو هدف دیگر باشد، جواب بهینه ۳۴ انتخاب می‌شود که بازده ناخالص و نهاده‌های مصرفی آن اختلاف چندانی با جواب بهینه ۳۳ ندارد. الگوی کشت بهینه متناسب با جواب کارای منتخب در حالات وزن اهداف گوناگون دو گروه از مزارع در جدول ۴ آورده شده است.

بر اساس جدول ۴ برای مزارع کوچک‌تر از پنج هکتار در دو حالت وزن یکسان اهداف و وزن بیش‌تر هدف بیشینه سازی بازده ناخالص، سطح زیر کشت اختصاص یافته به ترتیب مربوط به محصولات گندم، پیاز و جو می‌باشد و محصول یونجه که بازده بسیار خوبی برای بهره‌برداران ایجاد می‌کند و در الگوی کشت با تأمین تنها هدف بیش‌ترین بازده ناخالص بعنوان مهم‌ترین محصول شناخته می‌شود، در الگوی کشت چند هدفه حتی با وزن بیش‌تر هدف بیشینه سازی بازده ناخالص جای ندارد. با افزایش اهمیت هدف کمینه کردن آب مصرفی، محصول گندم نسبت به سایر محصولات از ثبات بیش‌تری برخوردار است، اما سطح زیر کشت محصول پیاز کم و به سطح زیر کشت محصول جو که نیاز آبی کم‌تری دارد اضافه می‌گردد و محصول یونجه در این الگو نیز جای نگرفته است. در حالت چهارم که وزن هدف کمینه سازی مصرف کود شیمیایی بیش از دو هدف دیگر است، الگوی کشت محصولات به ترتیب جو، گندم، یونجه و پیاز خواهد شد. به بیان دیگر، محصولات جو و یونجه نسبت به دو حالت وزن یکسان اهداف و وزن بیش‌تر هدف بیش‌ترین بازده ناخالص بیش‌تر تولید می‌گردند و محصولات گندم و پیاز نسبت به آن دو حالت کم‌تر کشت می‌شوند. روی هم رفته، برای مزارع کوچک‌تر از پنج هکتار بخش مرکزی سیرجان می‌توان این نتیجه را گرفت که محصول یونجه که در الگوی کشت کنونی پس از محصول گندم، بیش‌ترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است (۰/۸ هکتار)، برای تأمین هم‌زمان هر سه هدف باید کم‌تر کشت گردد. با این‌که محصول یونجه از لحاظ تأمین سود و مصرف کود شیمیایی جز محصولات مناسب منطقه به حساب می‌آید، اما به دلیل مصرف زیاد آب، این محصول در الگوی کشت بهینه چند هدفی با اوزان گوناگون اهداف، جایگاه مناسبی را نخواهد داشت. محصول جو برای مزارع گروه یک با افزایش اهمیت اهداف کمینه سازی آب و کود شیمیایی مصرفی، سطح زیر کشت بیش‌تری نسبت به الگوی کنونی (۰/۶ هکتار) را به خود اختصاص می‌دهد، اما این محصول به دلیل سود پایینی که برای بهره‌برداران ایجاد می‌کند در الگوهای بهینه با وزن بیش‌تر هدف بیشینه سازی بازده ناخالص و وزن یکسان اهداف جایگاهی مناسب از نظر سطح زیر کشت ندارد و نسبت به الگوی کنونی بایستی کم‌تر کشت شود. محصول پیاز بر خلاف محصول جو، به دلیل سوددهی مناسب، در الگوهای بهینه با هدف بیشینه سازی بازده ناخالص و وزن یکسان اهداف جای دارد و بایستی نسبت به الگوی کنونی (۰/۲ هکتار)، بیش‌تر کشت گردد، اما با افزایش وزن اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و کود شیمیایی، محصول جو جایگزین این محصول می‌گردد. محصول گندم برای سه حالت وزنی، وزن یکسان اهداف، وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف آب دارای سطح زیر کشت تقریباً بدون تغییر و با ثبات نسبت به الگوی کنونی (۲/۱۶ هکتار) است، اما این محصول در الگوی بهینه هدف کمینه‌سازی

مصرف کود شیمیایی بدلیل نیاز به کود شیمیایی بیش‌تر نسبت به دو محصول جو و یونجه، جایگاه خود در رتبه نخست از نظر سطح زیر کشت در الگوی بهینه را از دست داده و به عنوان دومین محصول پس از محصول جو، شناخته می‌شود و نسبت به الگوی کنونی این مزارع باید به مقدار کم‌تری به زیر کشت رود.

برای مزارع بزرگ‌تر از ۵ هکتار در دو حالت وزن یکسان اهداف و وزن بیش‌تر اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و مصرف کود شیمیایی، سطح زیر کشت اختصاص یافته به ترتیب مربوط به محصولات جو، گندم، پیاز و یونجه می‌باشد. البته، محصول یونجه تنها در الگویی که وزن هدف کمینه‌سازی مصرف کود بیش از سایر اهداف است، سطح زیر کشتی را به خود اختصاص داده است، اما در دو الگوی دیگر این محصول در الگوی بهینه جای ندارد. در حالت وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص، الگوی کشت به ترتیب مربوط به محصولات جو، پیاز، گندم و یونجه می‌شود. به بیان دیگر، مقایسه این الگو نسبت به الگوهای بهینه در سه حالت وزن یکسان اهداف، وزن بیش‌تر کمینه‌سازی مصرف آب و وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی نشان دهنده این است که محصول پیاز بدلیل سوددهی مناسب جایگزین محصول گندم شده است. روی هم رفته، برای مزارع بزرگ‌تر از ۵ هکتار بخش مرکزی سیرجان می‌توان این نتیجه را گرفت که محصول یونجه که در الگوی کشت کنونی پس از محصول گندم، بیش‌ترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است (۲/۷ هکتار)، برای تأمین هم‌زمان هر سه هدف باید کم‌تر کشت گردد. محصول جو در الگوهای بهینه مزارع گروه دو در تمامی حالات گوناگون ترکیب‌های وزنی اهداف، سطح زیر کشت بیش‌تری نسبت به الگوی کنونی (۱/۶۳) را به خود اختصاص می‌دهد. با این‌که محصول جو از نظر سوددهی نسبت به سایر محصولات موجود در الگوی کشت وضعیت مناسبی ندارد، اما مشاهده می‌شود که این محصول در الگوهای بهینه مزارع گروه دو در تمامی حالات گوناگون وزنی اهداف بویژه در حالت وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص، به عنوان اصلی‌ترین محصول از منظر مقدار سطح زیر کشت بشمار می‌آید. محصول پیاز بدلیل سوددهی مناسب، در الگوهای بهینه با هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن یکسان اهداف، کشت بیش‌تری را نسبت به الگوهای بهینه با وزن بیش‌تر اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و کود شیمیایی به خود اختصاص می‌دهد. روی هم رفته، سطح زیر کشت این محصول در حالات گوناگون ترکیب‌های وزنی نشان می‌دهد که بایستی نسبت به الگوی کنونی (۰/۲۱ هکتار)، بیش‌تر کشت گردد. محصول گندم در الگوهای بهینه برای تمامی حالات گوناگون ترکیب‌های وزنی، دارای سطح زیر کشت کم‌تری نسبت به الگوی کنونی (۴/۰۴ هکتار) است. به بیان دیگر، برای مزارع گروه دو، این محصول بایستی بمنظور تأمین هم‌زمان هر سه هدف مورد نظر، کم‌تر کشت شود.

سه ردیف آخر جدول ۴، مقدار بازده ناخالص، آب مصرفی و کود شیمیایی مصرفی الگوی کنونی مزارع را با الگوهای بهینه در حالات گوناگون وزن اهداف مورد مقایسه قرار می‌دهد. بر اساس ارقام ردیف نخست، برای هر دو گروه از مزارع، اختلاف بازده ناخالص الگوی کنونی با الگوهای بهینه در حالات وزنی یک، دو و چهار منفی و با الگوی بهینه در حالت وزنی سه مثبت می‌باشد. یعنی الگوی کنونی هر دو گروه از مزارع دارای بازده ناخالص پایین‌تری نسبت به سه الگوی بهینه با ترکیب‌های وزنی، وزن یکسان اهداف، وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی است، اما بازده ناخالص الگوی کنونی هر دو گروه از مزارع در مقایسه با بازده ناخالص الگوی بهینه در حالت وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف آب، بیش‌تر می‌باشد. مقایسه اختلاف بازده ناخالص الگوی کنونی با الگوهای بهینه در حالات گوناگون وزن اهداف بیانگر وضعیت بهتر مزارع بزرگ‌تر (مزارع گروه دو) از لحاظ سود و بازده نسبت به مزارع کوچک‌تر می‌باشد. زیرا مقادیر منفی اختلاف بازده ناخالص در الگوی کنونی نسبت به الگوی بهینه در سه حالت وزنی یک، دو و چهار که نشان دهنده بازده ناخالص کم‌تر الگوی کنونی نسبت به الگوهای بهینه یاد شده است، برای مزارع گروه دو دارای ارزش‌هایی کم‌تر است ( $۱/۶-$ ،  $۱۰/۸۹-$  و  $۴/۳-$ ) و مقدار مثبت این اختلاف در حالت وزنی سه که نشان دهنده بازده ناخالص بیش‌تر الگوی کنونی نسبت به الگوی بهینه در این حالت وزنی است، برای مزارع گروه دو دارای ارزشی بیش‌تر است (۲۲/۵۱).

بر اساس ارقام ردیف دوم، برای مزارع گروه یک، اختلاف آب مصرفی الگوی کنونی با الگوهای بهینه در حالات وزنی یک، دو و چهار منفی و با الگوی بهینه در حالت وزنی سه مثبت می‌باشد. یعنی الگوی کنونی مزارع کوچک‌تر، آب کم‌تری را نسبت به سه الگوی بهینه با ترکیب‌های وزنی، وزن یکسان اهداف، وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی مصرف می‌کنند، اما آب مصرفی الگوی کنونی مزارع گروه یک در مقایسه با آب مصرفی الگوی بهینه در حالت وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف آب، بیش‌تر می‌باشد. به بیان دیگر، مصرف آب در الگوی کنونی مزارع کوچک‌تر در مقایسه با مصرف آب در الگوی بهینه این مزارع با وزن بیش‌تر هدف کمینه‌سازی مصرف آب، بیش‌تر می‌باشد. نتایج برای مزارع بزرگ‌تر نشان می‌دهد که مقدار آب مصرفی در الگوی کنونی این مزارع خیلی بیش‌تر از آب مصرفی در الگوهای بهینه با وزن‌های گوناگون اهداف است. از این رو، از مقایسه‌ی دو گروه از مزارع این نتیجه استنباط می‌گردد که مزارع کوچک‌تر در زمینه مصرف آب، بهتر عمل کرده‌اند.

بر اساس ارقام ردیف سوم، برای هر دو گروه از مزارع، اختلاف کود شیمیایی مصرفی الگوی کنونی با الگوهای بهینه در حالات وزنی گوناگون منفی می‌باشد، یعنی در الگوی کنونی هر دو گروه

از مزارع، کود شیمیایی کم‌تری نسبت به الگوهای بهینه با ترکیب‌های وزنی گوناگون، استفاده می‌شود. به بیان دیگر، هر دو گروه از مزارع در استفاده از کود شیمیایی در حد مطلوب عمل کرده‌اند. از مقایسه دو گروه از مزارع در استفاده از کود شیمیایی، تفاوت چندانی به چشم نمی‌خورد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج الگوهای بهینه منتخب در حالات وزنی گوناگون نشان داد که برای مزارع کوچک‌تر از ۵ هکتار بخش مرکزی سیرجان محصول یونجه که در الگوی کشت کنونی پس از محصول گندم، بیش‌ترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است، برای تأمین همزمان هر سه هدف باید کم‌تر کشت شود. محصول جو در الگوهای بهینه با وزن بیش‌تر اهداف کمینه‌سازی مصرف آب و کود شیمیایی، سطح زیر کشت بیش‌تری نسبت به الگوی کنونی را به خود اختصاص می‌دهد، اما در الگوهای بهینه با وزن بیش‌تر هدف بیشینه‌سازی بازده ناخالص و وزن یکسان اهداف، محصول پیاز جایگزین این محصول می‌شود. سطح زیر کشت محصول گندم در الگوهای بهینه نسبت به الگوی کنونی به جز زمانی که وزن هدف کمینه‌سازی مصرف کود شیمیایی بیش‌تر است، بدون تغییر باقی مانده است. برای مزارع بزرگ‌تر از پنج هکتار بخش مرکزی سیرجان نیز می‌توان این نتیجه را گرفت که باید محصولات یونجه و گندم برای تأمین همزمان هر سه هدف، کم‌تر از الگوی کنونی کشت شود و محصولات جو و پیاز، سطح زیر کشت بیش‌تری نسبت به الگوی کنونی را به خود اختصاص دهد.

در پایان دو نتیجه مهم از این مطالعه گرفته شد: نخست این‌که مزارع بزرگ‌تر (مزارع گروه دو) از لحاظ سود و بازده نسبت به مزارع کوچک‌تر در بخش مرکزی سیرجان نزدیک‌تر به الگوهای بهینه هستند. از این‌رو، مزارع بزرگ‌تر در زمینه سوددهی نسبت به مزارع کوچک‌تر، کارا تر عمل کرده‌اند. علت این یافته بر اساس مشاهدات صورت گرفته از منطقه مورد نظر، استفاده از فناوری‌ها و ماشین‌آلات بهتر، استفاده کامل از منابع و عوامل تولید در مزارع بزرگ‌تر، امکان تخفیف بیش‌تر این مزارع در خرید نهاده‌ها، امکان دسترسی بهتر به بازار فروش و ... است. دوم این‌که مزارع کوچک‌تر نسبت به مزارع بزرگ‌تر از منظر مصرف آب به الگوهای بهینه حاصله نزدیک‌تر می‌باشند. بر اساس مشاهدات از منطقه مورد نظر علت اصلی این یافته، سهم کم این مزارع از منابع آب زیر زمینی است نه استفاده از سامانه‌های نوین آبیاری با راندمان بالا.

بر اساس نتایج بدست آمده از این مطالعه، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:



بر اساس نتایج پیشنهاد تغییر الگوی کشت منطقه به سمت کشت بیش‌تر محصول جو و کشت کم‌تر محصول یونجه ارایه می‌شود. از آن‌جا که یونجه محصولی پر بازده و جو محصولی کم بازده است، بهره‌برداران کم‌تر تمایل به این تغییر نشان می‌دهند. از این رو، توسل به ابزارهای حمایتی مانند حمایت قیمتی از محصولات با نیاز آبی کم‌تر می‌تواند موثر واقع شود.

از آن‌جا که نتایج نشان دهنده بهتر عمل کردن مزارع بزرگ‌تر منطقه مورد نظر در سودآوری و دسترسی بهتر به منابع آبی است. یکپارچه سازی اراضی و بزرگ‌تر شدن سطح اراضی نیز از جمله پیشنهادهای این مطالعه می‌باشد. از این رو، اعطای تسهیلات و اعتبارات بلندمدت برای بهره‌برداران به عنوان یک راهکار برای افزایش سطح اراضی توصیه می‌شود.

به دلیل ناکارآمد بودن مزارع بزرگ منطقه مورد نظر در مصرف آب، پیشنهاد استفاده از سیستم‌های آبیاری نوین با راندمان بالا می‌تواند به عنوان یک راهکار ارایه گردد. البته، برای این‌که بهره‌برداران به سمت استفاده از این سیستم‌ها سوق داده شوند نیاز به خدمات ترویجی مناسب، اعطای یارانه برای بهره‌برداران استفاده کننده از این سیستم‌ها و ... می‌باشد.

لذا استفاده از روش مقید تعمیم‌یافته به دلیل ایجاد مجموعه جواب‌های ممکن و کارای قوی به دلیل اعمال تغییرات ذکر شده نسبت به روش‌های دیگر از جمله روش‌های وزنی توصیه می‌گردد.

### منابع

- بانک اطلاعات آماری سازمان جهاد کشاورزی استان کرمان. ۱۳۹۲.
- فتحی ف و زیبایی م، ۱۳۸۹. عوامل موثر در مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه: مطالعه موردی دشت فیروزآباد. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴(۵۲): ۱۵۵-۱۶۴.
- فلاحی ا، خلیلیان ص و احمدیان م، ۱۳۹۲. بهینه‌سازی الگوی کشت با تاکید بر محدودیت منابع آب مطالعه موردی: دشت سیدان-فاروق شهرستان مرودشت. مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی، ۵(۲): ۹۱-۱۱۵.
- قربانیان ع، زیبایی م، قربانی م و کهنسال م ر، ۱۳۹۲. تعیین الگوی بهینه کشت با توجه به محدودیت منابع آب زیرزمینی در دشت کوار. مجله اقتصاد و توسعه کشاورزی، ۲۷(۱): ۱-۷.

### References

- Angeles G, (2011). Sustainable water management in Ciudad Juarez. PhD dissertation, Arizona State University.

- Bylin C, Misra R, Murch M & Rigterink W, (2004). Sustainable agriculture: Development of an on farm assessment tool. A project submitted at the University of Michigan, <<http://css.snre.umich.edu>>.
- Coppock, J. (1968). Changes in Land use in Great Britain. Land use and Resources Studies in Applied Geography, London, Institute of British Geographers Special Publication, 1-111.
- Ding, Y. (2005). The choices of irrigation technologies and groundwater conservation in the Kansas High Plains: a dynamic analysis. PhD dissertation in agricultural economics, College of Agriculture, Kansas State University.
- Francisco, S. & Ali, M. (2006). Resource allocation tradeoffs in Manila's peri-urban vegetable production systems: An application of multiple objective programming. Agriculture Systems, 87: 147-168.
- Gold, M. (2007). Sustainable Agriculture: definitions and terms. Special reference briefs series no. SRB 99-02.
- Hwang, C. & Masud, A. (1979). Multiple objective decision making, methods and applications: A state of the art survey. Economic and Mathematical System, 164: 18-27.
- Lara, P. & Stancu-Minasian, I. (1999). Fractional programming: A tool for the assessment of sustainability. Agricultural System, 62: 131-141.
- Lee, C. (2012). Multi-objective game-theory models for conflict analysis in reservoir watershed management. Chemosphere, 87: 608-613.
- Liner, B. (2009). Goal programming for sustainability in total water management. PhD dissertation in civil, environmental, and infrastructure engineering, George Mason University.
- Lynam, J. & Herdt, R. (1989). Sense and sustainability as an objective in international agricultural research. Agricultural Economics, 3: 381-398.
- Marler, R. & Arora, J. (2004). Survey of multi-objective optimization methods for Engineering. Structure Multidisciplinary Optimum, 26: 369-395.
- Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of e-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. Applied Mathematics and Computation, 213: 455-465.
- Miettinen, K. (1998). Nonlinear multi objective optimization. Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Qureshi, M. Qureshi, S. Bajracharya, K. & Kirby, M. (2007). Integrated Biophysical and Economic Modeling Framework to Assess Impacts of Alternative Groundwater Management Options. Springer science, 71: 47-60.
- Steuer, R. (1986). Multiple criteria optimization, theory, computation and application. Krieger, Malabar.
- Stratton, S. (2008). Groundwater management with heterogeneous users: political and economic perspectives. PhD dissertation in agricultural and resource economics, University of California, Berkeley.

- Vivekanandan, N. Viswanathan, K. & Gupta, S. (2009). Optimization of cropping pattern using goal programming approach. Springer science, 46(3): 259-274.
- Xevi, E. & Khan, S. (2005). A multi-objective optimization approach to water management. Journal Environmental Management, 77: 269-277.
- Zeng, X. Kang, S. Li, F. Zhang, L. & Guo, P. (2010). Fuzzy multi-objective linear programming applying to crop area planning. Agricultural Water Management, 98: 134-142.

## پیوست‌ها

جدول ۱- ماتریس بازده اهداف.

تابع هدف	بازده ناخالص (ریال)	آب مصرفی (مترمکعب)	کود ازته مصرفی (کیلوگرم)	کود فسفات مصرفی (کیلوگرم)
بازده ناخالص	$7/01 \times 10^7$	۴۱۷۷۴/۰۳	۶۹۵/۶۹	۶۳۰/۳۰
مصرف آب	$2/16 \times 10^7$	۱۶۲۱۴/۱۸	۵۸۹/۴۵	۵۲۶/۶۲
مصرف کود شیمیایی	$4/03 \times 10^7$	۲۸۷۵۴/۳۱	۵۶۹/۳۴	۵۱۴/۹۵
بازده ناخالص	$1/72 \times 10^8$	$1/0325 \times 10^5$	۱۷۹۴/۳۱	۱۵۶۸/۵۵
مصرف آب	$5/33 \times 10^7$	۴۰۵۲۸/۴۴	۱۴۱۵/۶۰	۱۳۶۳/۶۲
مصرف کود شیمیایی	$1/10 \times 10^8$	۹۱۴۸۴/۵۴	۱۴۰۴/۸۷	۱۳۴۴/۲۹

جدول ۲- الگوی کشت بهینه متناسب با هر هدف بصورت جداگانه.

محصولات (هکتار)						
جمع	پیاز	یونجه	جو	گندم	تابع هدف	
۳/۶۸	۱/۱	۲/۰۶	۰	۰/۵۲	بیشینه سازی بازده	گروه ۱
					ناخالص	
۳/۶۸	۰	۰	۲/۱۴	۱/۵۴	کمینه سازی مصرف آب	
۳/۶۸	۰	۱/۶۸	۲	۰	کمینه سازی مصرف کود شیمیایی	
۸/۵۸	۲/۶۲۵	۴/۲۸	۰	۱/۶۷۵	بیشینه سازی بازده	گروه ۲
					ناخالص	
۸/۵۸	۰	۰	۴/۹	۳/۶۸	کمینه سازی مصرف آب	
۸/۵۸	۰	۴/۰۸	۴/۳	۰/۲	کمینه سازی مصرف کود شیمیایی	

جدول ۳- جواب بهینه منتخب مدل برنامه ریزی چند هدفه دو گروه از مزارع در حالات وزنی گوناگون اهداف.

کود	کود از ته	آب مصرفی	بازده ناخالص	جواب های بهینه	حالات
فسفاته	مصرفی	(مترمکعب)	(ریال)	منتخب	گوناگون
مصرفی	(کیلوگرم)				وزنی
(کیلوگرم)					
۶۲۸/۸۳	۶۶۲/۶۴	۲۴۰۱۶/۷۴	$۳/۹۵۲۵ \times 10^7$	جواب بهینه ۴۲	حالت نخست
۶۲۸/۸۳	۶۶۲/۶۴	۲۴۰۱۶/۷۴	$۳/۹۵۲۵ \times 10^7$	جواب بهینه ۴۲	حالت دوم
۵۸۱/۳۸	۶۱۴/۶۹	۱۹۵۱۴/۶۴	$۲/۸۹۹۶ \times 10^7$	جواب بهینه ۷	حالت سوم
۵۸۰/۳	۶۱۶/۵۷	۲۴۰۱۶/۷۴	$۳/۴۸۱۸ \times 10^7$	جواب بهینه ۲۲	حالت چهارم
۱۴۹۳/۳۳	۱۶۱۸/۵۷	۵۷۱۰۶/۱۳	$۹/۵۲۴۴ \times 10^7$	جواب بهینه ۳۳	حالت نخست
۱۵۰۴/۵۲	۱۶۲۸/۳۳	۶۳۶۰۱/۹۸	$۱/۰۵۱۸ \times 10^8$	جواب بهینه ۴۷	حالت دوم
۱۴۲۸/۴۷	۱۵۵۷/۱۱	۵۰۶۱۰/۲۹	$۷/۶۴۹۶ \times 10^7$	جواب بهینه ۱۰	حالت سوم
۱۴۵۸/۶۹	۱۵۸۴/۱۶	۶۳۶۰۱/۹۸	$۹/۷۶۵۲ \times 10^7$	جواب بهینه ۳۴	حالت چهارم

جدول ۴- الگوی بهینه کشت برای دو گروه از مزارع در حالات گوناگون وزن اهداف.

مزارع گروه ۲				مزارع گروه ۱					
ترکیب وزن اهداف				ترکیب وزن اهداف					
حالت ۴	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱	حالت ۴	حالت ۳	حالت ۲	حالت ۱		
۲/۱۲	۳/۶۰	۱/۷۵	۲/۴۵	۰/۷۸	۲/۲۹	۲/۱۷	۲/۲۲	گندم	محصولات
۴/۲۰	۴/۱۵	۴/۳۵	۴/۳۵	۱/۸۹	۱/۱۸	۰/۲۵	۰/۴۱	جو	(هکتار)
۰/۹۶	۰	۰/۴۵	۰	۰/۶۲	۰	۰	۰	یونجه	
۱/۳۰	۰/۸۳	۲/۰۳	۱/۷۸	۰/۳۹	۰/۲۱	۱/۲۶	۱/۰۵	پياز	
-۴/۰۳	۲۲/۵۱	-۱۰/۸۹	-۱/۶	-۹/۶۹	۸/۴۴	۲۰/۴۵	-۲۰/۴۵	اختلاف بازده ناخالص	
							-	الگوی کنونی با الگوی بهینه (درصد)	
۱۴/۶۳	۴۴/۰۶	۱۴/۶۳	۲۷/۶۷	-۴/۱۲	۱۸	-۴/۱۲	-۴/۱۲	اختلاف آب مصرفی الگوی کنونی با الگوی بهینه (درصد)	
-۴/۸۱	-۲/۹۸	-۷/۵۴	-۶/۹۲	-۳/۴۵	۳/۳۹	۱۰/۵۲	-۱۰/۵۲	اختلاف کود شیمیایی مصرفی الگوی کنونی با الگوی بهینه (درصد)	



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی