کاربرد مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری با رویکرد زیست محیطی و کاهش مصرف آب در تعیین الگوی بهینه کشت

حمید محمدی[۱]، محمد جواد مهدی زاده راینی*[۲]

چکیده

اصلاح نظام تولید در بخش کشاورزی مستلزم تعریف و پیاده‌سازی الگویی برای کشت محصولات، برمبنای سیاست‌های کلان کشور، ساختار بازار، دانش کشاورزان و پتانسیل‌های منطقه‌ای و اقلیمی در راستای حفظ محیط زیست، کاهش مصرف آب و دستیابی به مزیت‌های اقتصادی پایدار است. هدف از مطالعه حاضر کاربرد مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری با رویکرد زیست محیطی و کاهش مصرف آب در تعیین الگوی بهینه کشت در شهرستان جیرفت می‌باشد. جهت تعیین الگوی کشت از مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری استفاده گردید. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان، آمارنامه‌ها و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ جمع‌آوری و نتایج با استفاده از بسته نرم‌افزاری GAMS برآورد شد. نتایج نشان داد سطح زیر کشت سیب‌زمینی بین ۵۲۹۲ و ۵۳۲۸ هکتار، در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت پیاز بین ۱۵۴۷ و ۲۳۴۹/۹ قابل‌تغییر است. سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی بین ۵۳۰ و ۹۸۵ هکتار، در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت هندوانه بین ۱۲۹ و ۲۴۰ قابل‌تغییر است. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای بین ۸۴۰ و ۱۵۶۰ هکتار، در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت یونجه بین ۱۲۰۴ و ۲۲۳۷ قابل‌تغییر است. کشاورزان منطقه با توجه به محدودیت‌های ذکرشده و باهدف حداکثر مقدار سود، ۴۹۱۰ هکتار گندم، ۱۶۴۴ هکتار جو و ۲۰۶۳ هکتار خیار می‌توانند کشت کنند. از آنجا که توسعه خدمات زیربنائی در کاهش محدودیت‌های منابع تأثیر به‌سزائی دارد، توجه به این امر در خصوص استفاده بهینه از منابع برای افزایش سودآوری فعالیت‌های منطقه می‌تواند موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی بهینه کشت، برنامه‌ریزی ریاضی، محیط زیست، منابع آب، جیرفت

۱ استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

[۲] دانشجوی دکتری اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

Email: javadmehdizadeh55@gmail.com

مقدمه

کشاورزی از نقطه نظر محیط زیستی بسیار مهم می‌باشد. با توجه به افزایش سریع جمعیت کشور، نیاز به تولید بیشتر محصولات کشاورزی بیش از پیش در جامعه احساس می‌شود. بنابراین، به نظر می‌رسد بهترین راه برای نیل به این مهم، افزایش تولید در واحد سطح باشد. اما، متاسفانه در ایران افزایش تولید همیشه یا با افزایش سطح زیر کشت همراه بوده و یا با مصرف هر چه بیشتر سموم و کودهای شیمیایی که در این میان مورد منفجر به کاهش سطح اراضی جنگلی و مرتعی شده و مورد دوم موجب بروز آلودگی‌های محیط زیستی و شیوع بیماری‌های خطرناک شده است. علت عمده آلودگی آب‌های سطحی ناشی از مصرف بیش از حد کود و سموم شیمیایی در حال حاضر، زیان-های فراوانی را به محیط زیست و سلامت عمومی مردم وارد کرده است. با این حال هر ساله بالغ بر ۴۰۰ میلیون دلار یارانه کود شیمیایی از سوی دولت پرداخت می‌شود تا همچنان مصرف کود شیمیایی در ایران چندین برابر استانداردهای جهانی باشد. این در حالی است که یارانه‌های مربوط به آب، کود و آفت‌کش‌ها استفاده بیش از اندازه را تشویق می‌نماید. شواهد مهمی مبنی بر این که استفاده از سموم و کودهای شیمیایی قادر به ایجاد خطرهای جدی برای محیط و سلامت جامعه می‌باشد، وجود دارد. پیامدهای محیطی مربوط به کود بسیار مهم‌تر از اثرات محیطی استعمال سم می‌باشد. در عین حال، مشکلات عمومی مربوط به سموم شامل آلودگی آب‌های زیرزمینی، مشکلات مربوط به سلامت جامعه، زیان به محصولات و گونه‌هایی که مورد هدف نیستند و همچنین پایداری سموم می‌باشد. وجود آفت‌کش‌ها در آب‌های زیرزمینی برای انسان بسیار خطرناک است و سبب اختلالات ناهنجار در سیستم عصبی، غدد درون‌ریز و سیستم ایمنی بدن می‌شود. ترکیب آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی در آب‌های زیرزمینی سبب ایجاد موارد بسیار خطرناک‌تر در مقایسه با آثار تک تک این مواد می‌شود. آفت‌کش‌ها همچنین از طریق مکانیزم‌های مختلفی مانند ایجاد تغییرات مستقیم در DNA، جهش و آثار سمی روی سیستم ایمنی، سبب ایجاد سرطان می-شوند (Ghasemi et al., 2019).

از سویی محدودیت منابع آب، رشد سریع جمعیت و نیاز به تولید بیشتر، سبب شده است که در بخش کشاورزی، نسبت به سایر بخش‌های مصرف‌کننده آب، تقاضای بیشتری برای مصرف این نهاده وجود داشته باشد. بنابراین، مهم-ترین چالش بخش کشاورزی در شرایط کنونی چگونگی تولید بیشتر غذا از آب کمتر است. اتکای به منابع آب‌های زیرزمینی سهم اصلی را در تأمین آب دارد. طی دو الی سه دهۀ اخیر بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی به نحوی روزافزون افزایش یافته است. به‌گونه‌ای که برداشت بیش از حد از منابع، منجر به افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی و به وجود آمدن بیلان منفی در بسیاری از نقاط جهان شده است. با توجه به سهم بالای مصرف آب در بخش کشاورزی و محدودیت این منبع حیاتی و وجود خشکسالی‌های متناوب در کشور، صرفه‌جویی در مصرف و استفاده بهینه از آب موجود امری ضروری است. و در این زمینه، انتخاب روش‌های مناسب برای بیشینه کردن محصول تولیدی به ازای مصرف هرچه کمتر آب ضروری است. در این راستا یکی از راه‌های اصلاح الگوی مصرف آب، استفاده از استراتژی کم‌آبیاری می‌باشد. که با صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند به‌عنوان یک راهکار سودمند در وضعیت محدودیت آب و با هدف حداکثر استفاده از واحد حجم آب مصرفی، مطرح شود. کم‌آبیاری یک راهکار بهینه-سازی است که به‌صورت هدفمند، محصولات را به عمد در شرایط کمبود آب و کاهش عملکرد قرار می‌دهد (Asadi & Najafi Alamdarlo, 2019).

تعیین الگوی بهینه کشت از مسایل مورد توجه در اقتصاد کشاورزی می‌باشد. هدف از تعیین الگوی بهینه، مشخص کردن ترکیبی از محصولات برای کشت در واحدهای زراعی یا منطقه با توجه به ویژگی‌های کشت محصولات مختلف، حجم تقاضا، منابع آب و خاک در دسترس، نیروی انسانی، سرمایه، تجهیزات کشاورزی و موارد مشابه دیگر به منظور حداکثر کردن تولید، سود و یا حفظ محیط زیست می‌باشد (Rezaee & Sarvari Nobahar, 2013). در دهه‌های اخیر، حداکثر کردن رفاه اقتصادی کشاورزان مورد توجه متخصصین بوده است. این امر، موجب غفلت از پیامدهای محیط زیستی استفاده بی‌رویه از نهاده‌های کشاورزی همچون آب و کودهای شیمیایی شده است (Sabuhi & Khosravi, 2009). مطالعات بسیاری در زمینه تعیین الگوی بهینه کشت در مناطق مختلف، با روش‌ها و اهداف گوناگون صورت گرفته است. که به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود.

Asadi & Najafi Alamdarlo (2019) در مطالعه‌ای به ارزیابی اقتصادی الگوی بهینه کشت در راستای کاهش استفاده از منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) پرداختند. نتایج نشان داد که با تدوین الگوی بهینه کشت محصولات زراعی، مقدار صرفه‌جویی آب در سناریوی اول تا سوم به ترتیب به میزان ۲۲/۱، ۳۰/۵ و ۳۵/۵ درصد و سود ناخالص مزرعه به ترتیب ۴/۶، ۹/۳ و ۱۴/۸ درصد کاهش می‌یابد.

Sardar Shahraki et al (2016) در مطالعه‌ای به بررسی رویکردهای مدیریتی بهره‌برداری منابع آب منطقه سیستان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) پرداختند. طبق نتایج بر اساس سه رویکرد اقتصادی، اجتماعی و فنی بخش کشاورزی با بیشترین وزن، در اولویت اول قرار گرفت. وزن بخش کشاورزی در رویکردهای مذکور به ترتیب ۰/۸۵۱، ۰/۷۱۰ و ۰/۷۸۹ به دست آمد. در رویکرد زیست محیطی (تالاب هامون) به عنوان گزینه برتر با وزن ۰/۶۰۳ و بخش کشاورزی و شرب به ترتیب با وزن ۰/۳۶۴ و ۰/۰۳۳ در اولویت دوم و سوم قرار گرفتند.

Hatef et al (2016) در مطالعه خود به تعیین الگوی بهینه کشت محصولات عمده زراعی استان خراسان رضوی بر اساس مزیت نسبی تولید پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که محصولات زراعی عدس آبی، لوبیا قرمز آبی و ذرت دانه‌ای آبی به دلیل نداشتن مزیت نسبی از الگوی کشت حذف و محصولات زراعی گندم دیم و آبی، جو آبی، پنبه آبی، جو دیم، نخود دیم، شلتوک، نخود آبی، عدس دیم و آفتاب گردان آبی به دلیل پایین بودن رتبه مزیت نسبی با کم ترین سطح زیر کشت در الگو قرار گرفتند و محصولات زراعی چغندرقند، گوجه فرنگی آبی، هندوانه آبی، سیب زمینی آبی، کلزا آبی، خیار آبی، پیاز آبی و هندوانه دیم دارای افزایش در سطح زیر کشت نسبت به الگوی موجود شده‌اند.

Mohseni & Shahraki (2016) کاربرد برنامه‌ریزی فازی خاکستری در تخصیص منابع آب شهرستان یزد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که برای تخصیص بهینه منابع آب، اولویت با حداکثر کردن سود اقتصادی سیستم (سود بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب) و سپس سود زیست محیطی (مربوط به منافع آبیاری فضای سبز) است. همچنین با کاربرد برنامه‌ریزی فازی خاکستری، درجه خاکستری بودن مربوط به سود خالص سیستم و سود زیست محیطی به ترتیب ۹ درصد و ۴۳ درصد کاهش یافت.

Mohseni et al (2017) به تعیین الگوی بهینه کشت با هدف پایداری منابع آب در دشت ارزوئیه: به کمک برنامه-ریزی کسری فازی پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی بهینه کشت با استفاده از برنامه‌ریزی کسری فازی برای دستیابی به پایداری با الگوی کشت فعلی و برنامه‌ریزی خطی اختلاف زیادی دارد. همچنین با وجود کاهش بازده

ناخالص کل در مدل برنامه‌ریزی کسری فازی، میزان بازده ناخالص در این نوع برنامه‌ریزی به ازای هر مترمکعب آب ۱۰ درصد افزایش یافته است. این بدان معناست که حداکثرکردن بازده حاصل از کشت محصولات زراعی با رعایت پایداری منابع آب و حداقل کردن مصرف آب به نفع جامعه است.

Sabuhi & Khosravi (2009) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل برنامه‌ریزی آرمانی و با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از اهداف اقتصادی و محیط زیستی به بهینه‌سازی الگوی کشت در منطقه زرقان پرداختند. این مدل، به زارعین این امکان را می‌دهد که همزمان با به دست آوردن حداکثر درآمد اقتصادی، ملاحظات محیط زیستی را نیز برای جلوگیری از تخریب منابع در الگوی کشت خود لحاظ کنند. نتایج نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن ساختار اولویت-بندی، مدیر واحد کشاورزی می‌تواند الگوی کشت را به طور نسبی بهبود بخشیده و از منابع و نهاده‌ها به نحو مطلوب‌تری استفاده نماید.

Rezaee & Sarvari Nobahar (2013) در پژوهش خود به تعیین الگوی بهینه کشت در استان خراسان رضوی با استراتژی محیط زیستی پرداختند. آن‌ها با استفاده از الگوی الگوریتم ژنتیک، استراتژی محیط زیستی را به صورت حداقل کردن مصرف کود در نظر گرفتند و الگوی کشت در این منطقه را با رویکرد محیط زیستی تعیین نمودند.

Wang et al (2009) مدل بهینه‌سازی چندهدفه را برای تخصیص آب در بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت و زیست محیطی در حوضه رودخانه هایهه در چین به کار بردند.

Li et al (2006) به منظور مدیریت تخصیص آب تحت شرایط عدم اطمینان، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی بازه‌ای به تخصیص آب در شرایط عدم اطمینان پرداختند. آن‌ها نشان می‌دهند که مدل‌های برنامه‌ریزی بازه‌ای دارای سازگاری بیشتری با دنیایی واقعی بوده و می‌توانند برای مسائل مدیریت تخصیص آب به عنوان یک مدل کاربردی مورد استفاده قرار گیرند و علاوه بر این، یک بینش و درک صحیح در مورد مبادله اهداف محیط زیستی و اقتصادی ایجاد می‌کنند.

با عنایت به مطالعات فوق، در این مطالعه کاربرد مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری با رویکرد زیست محیطی و کاهش مصرف آب در تعیین الگوی بهینه کشت مورد بررسی قرار می‌گیرد. شهرستان جیرفت یکی از قطب‌های بسیار مهم کشاورزی در کشور و در جنوب استان کرمان است، به طوری که در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ با ۴۲۶۴۰ هکتار سطح زیر کشت و تولید ۷۷۵۲۹۸ تن محصول زراعی به ترتیب حدود ۲۴ درصد سطح زیر کشت استان، ۴۷ درصد از کل تولید محصولات کشاورزی استان و ۳ درصد از کل تولیدات کشور را به خود اختصاص داده است. بنابراین مطالعه‌ای در زمینه‌ی برنامه‌ریزی هرچه بهتر تولید محصولات در منطقه به نحوی که با عواملی مانند حفظ محیط زیست و پایداری منابع آب و امنیت غذایی منطبق باشد، ضروری به نظر می‌رسد. جهت تعیین الگوی کشت از مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری استفاده گردید. اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از سازمان جهاد کشاورزی جنوب کرمان، آمارنامه‌ها و مدیریت جهاد کشاورزی شهرستان در سال زراعی ۱۳۹۷-۱۳۹۶ جمع‌آوری و نتایج با استفاده از بسته نرم‌افزاری GAMS برآورد شد.

روش تحقیق

برنامه‌ریزی خاکستری یکی از روش‌های تحلیل سیستم‌های خاکستری، برای تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم حتمیت است. تئوری برنامه‌ریزی خاکستری توسط دنگ[1](۱۹۸۰) و بعدها توسط هانگ (۱۹۹۶)، برای حل مسایل عدم حتمیت بیان شد. یک عدد که ارزش واقعی آن به طور قطعی نمی‌تواند بیان شود ولی، توسط یک بازه شناخته می‌شود یک عدد خاکستری است. برای مثال اگر $\otimes(a)$ یک عدد خاکستری باشد، آنگاه رابطه $\otimes(a)=[\underline{\otimes}(a),\overline{\otimes}(a)]$ برقرار است. به طوری که $\underline{\otimes}(a)$ حد پایین و $\overline{\otimes}(a)$ حد بالای عدد خاکستری می‌باشد (Huang et al., 1993).

یک عدد خاکستری به صورت زیر تعریف می‌شود (Maqsood et al., 2005).

$$\otimes(x)^{\pm}=\lfloor\otimes(x)^{-},\otimes(x)^{+}\rfloor=\{t\in\otimes(x)\mid\otimes(x)^{-}\le t\le\otimes(x)^{+}\} \qquad (۱)$$

که در آن x^- و x^+ به عنوان حد بالا و پایین $x^{\pm}$ تعریف می‌شوند و هنگامی که x^+ و x^- باهم برابرند، این فاصله به عدد قطعی x تبدیل می‌شود. روابط زیر در مورد $x^{\pm}$ به کار می‌رود (Maqsood et al., 2005):

(۲)

$$\begin{aligned}
&\otimes(x)^{\pm}\ge 0 \quad iff \quad \otimes(x)^{-}\ge 0 \;,\otimes(x)^{+}\ge 0\\
&\otimes(x)^{\pm}\le 0 \quad iff \quad \otimes(x)^{-}\le 0 \;,\otimes(x)^{+}\le 0\\
&\otimes(x)_1^{\pm}\le\otimes(x)_2^{\pm} \quad iff \quad \otimes(x)_1^{-}\le\otimes(x)_2^{-} \;,\otimes(x)_1^{+}\le\otimes(x)_2^{+}\\
&\otimes(x)_1^{\pm}\prec\otimes(x)_2^{\pm} \quad iff \quad \otimes(x)_1^{-}\prec\otimes(x)_2^{-} \;,\otimes(x)_1^{+}\prec\otimes(x)_2^{+}
\end{aligned}$$

(۳)

برنامه‌ریزی خاکستری به صورت رابطه ۴، فرمول‌بندی می‌شود (Maqsood et al., 2005)

(۴)

$$\begin{aligned}
&Min\otimes(f)=\otimes(C)\otimes(X)\\
&subject\ to:\ \otimes(A)\otimes(X)\le\otimes(B)\\
&\otimes(x_j),\otimes(x_j)\in\otimes(X), \qquad \forall_j=1,\dots,n\\
&\quad where\\
&\otimes(C)=[\otimes(c_1),\otimes(c_2),\dots,\otimes(c_n)],\\
&\otimes(X)^T=[\otimes(x_1),\otimes(x_2),\dots,\otimes(x_n)],\\
&\otimes(B)^T=[\otimes(b_1),\otimes(b_2),\dots,\otimes(b_m)],\\
&\otimes(A)=\{\otimes(a_{ij})\}, \qquad \forall i=1,\dots,m, j=1,\dots,n.
\end{aligned}$$

به ازای بردارهای خاکستری $\otimes(C)$ و $\otimes(B)$ و ماتریس خاکستری $\otimes(A)$، رابطه ۵، برقرار است.

(۵)

$$\begin{aligned}
&\otimes(c_j)=\left[\underline{\otimes}(c_j),\overline{\otimes}(c_j)\right] && \forall j\\
&\otimes(b_j)=\left[\underline{\otimes}(b_i),\overline{\otimes}(b_i)\right] && \forall i\\
&\otimes(a_{ij})=\left[\underline{\otimes}(a_{ij}),\overline{\otimes}(a_{ij})\right] && \forall i,j
\end{aligned}$$

زمانی که برخی از پارامترهای موجود در تابع هدف و در محدودیت‌ها اعداد خاکستری هستند،حد بالا و پایین جواب به صورت رابطه ۶، خواهد بود.

[1] Dang

(۶)

$$\otimes(f^*) = \left[\underline{\otimes}(f^*), \overline{\otimes}(f^*)\right]$$
$$\otimes(X^*) = [\otimes(x_1^*), \otimes(x_2^*), \ldots, \otimes(x_n^*)]$$
$$\otimes(x_j^*) = \left[\underline{\otimes}(x^*{}_j), \overline{\otimes}(x^*{}_j)\right], \qquad \forall j$$

برنامه‌ریزی فازی خاکستری

برنامه‌ریزی فازی خاکستری به صورت رابطه ۷، فرمول‌بندی می‌شود (Maqsood et al., 2005)

(۷)

$$\text{Max} \otimes(\lambda)$$
$$subject\ to$$
$$[\otimes(E)\otimes(X)]_i \le d_i + (1-\otimes(\lambda))p_i, i = 1\ldots, m+1$$
$$\otimes(x_j) \ge 0, \otimes(x_j) \in \otimes(X), j = 1, \ldots, n$$
$$0 \le \otimes(\lambda) \le 1$$
$$where$$
$$\otimes(X)^T = [\otimes(x_1), \otimes(x_2), \ldots, \otimes(x_n)]$$
$$\otimes(E) = \{\otimes(e_{ij})\}, \qquad \forall i = 1, \ldots, m+1, j = 1, \ldots, n$$
$$\otimes(e_{ij}) = \begin{cases} \otimes(c_j) & i = 1, \forall j \\ \otimes(a_{ij}) & i = 2,3, \ldots, m+1, \forall j \end{cases}$$
$$d_i = \begin{cases} \underline{\otimes}(f) & i = 1 \\ \underline{\otimes}(b_{i-1}) & i = 2,3, \ldots, m+1 \end{cases}$$
$$p_i = \begin{cases} \overline{\otimes}(f) - \underline{\otimes}(f) & i = 1 \\ \overline{\otimes}(b_{i-1}) - \underline{\otimes}(b_{i-1}) & i = 2,3, \ldots, m+1 \end{cases}$$

که در آن به ازای ماتریس خاکستری $\otimes(E)$، رابطه‌ی ۸، برقرار است.

(۸)

$$\otimes(e_{ij}) = \left[\underline{\otimes}(e_{ij}), \overline{\otimes}(e_{ij})\right], \qquad \forall i, j$$

با توجه به تعاریف ذکرشده، ساختار مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری به صورت زیر است (Maqsood et al., 2005)

(۹)

$$Max \otimes(\lambda)$$
$$subject\ to:$$
$$\otimes(C)\otimes(X) \le \underline{\otimes}(f) + [1-\otimes(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(f) - \underline{\otimes}(f)\right]$$
$$\otimes(A)\otimes(X) \le \underline{\otimes}(B) + [1-\otimes(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(B) - \underline{\otimes}(B)\right]$$
$$\otimes(x_{ij}) \ge 0, \otimes(x_j) \in \otimes(X), j = 1, \ldots, n$$
$$0 \le \otimes(\lambda) \le 1$$
$$where$$

$$\overline{\otimes}(B)^T = \left[\overline{\otimes}(b_1), \overline{\otimes}(b_1), \ldots, \overline{\otimes}(b_n)\right]$$
$$\underline{\otimes}(B)^T = [\underline{\otimes}(b_1), \underline{\otimes}(b_2), \ldots, \underline{\otimes}(b_n)]$$

زمانی که برخی از پارامترهای موجود در تابع هدف و محدودیت‌ها اعداد خاکستری هستند، جواب به صورت زیر خواهد بود (Huang et al., 1993)

(۱۰)

$$\otimes(\lambda^*) = \left[\underline{\otimes}(\lambda^*), \overline{\otimes}(\lambda^*)\right],$$
$$\otimes(f^*) = \left[\underline{\otimes}(f^*), \overline{\otimes}(f^*)\right],$$
$$\otimes(X^*) = \left[\otimes(x_1^*), \otimes(x_2^*), \ldots, \otimes(x_n^*)\right],$$
$$\otimes(x_j^*) = \left[\underline{\otimes} x_j^*, \overline{\otimes}(x_j^*)\right], \qquad \forall_j$$

روش حل برنامه‌ریزی خاکستری فازی

برنامه‌ریزی خاکستری با روش ارائه‌شده در رابطه ۱۱، به برنامه‌ریزی سفید(قطعی) تبدیل می‌شود (Maqsood et al., 2005)

(۱۱)

$$Max \otimes_m(\lambda)$$
$$subject\ to$$
$$\otimes_m(C)\otimes_m(X) \le \underline{\otimes}(f) + [1 - \otimes_m(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(f) - \underline{\otimes}(f)\right]$$
$$\otimes_m(A)\otimes_m(X) \le \underline{\otimes}(B) + [1 - \otimes_m(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(B) - \underline{\otimes}(B)\right]$$
$$\otimes_m(x_j) \ge 0, \quad \otimes_m(x_j)\varepsilon\otimes_m(X), \qquad j = 1, \ldots, n$$
$$0 \le \otimes_m(\lambda) \le 1$$
$$where$$
$$\otimes_m(C) = \{\otimes_m(c_j)\}, \qquad \forall j$$
$$\otimes_m(A) = \{\otimes_m(a_{ij})\}, \qquad \forall i,j$$

$\otimes_m(c_j)$ و $\otimes_m(a_{ij})$، ارزش قطعی اعداد خاکستری $\otimes(c_j)$ و $\otimes(a_{ij})$ می‌باشد. با حل این مدل،جواب‌های قطعی(سفید)حاصل از حل معادلات بالا که در بازه جواب‌های خاکستری قرار دارند به دست خواهد آمد.در تابع هدف برای n ضریب خاکستری $\left(\otimes(C_j)(j = 1,2,\ldots,n)\right)$، $\left(\otimes(f) = \otimes(C)\otimes(X)\right)$، اگر K_1 ضریب مثبت و K_2 ضریب منفی وجود داشته باشد $(K_1 + K_2 = n)$، برای ضرایب مثبت و منفی به ترتیب رابطه ۱۲، برقرار است.

(۱۲)

$$\otimes(c_j) \ge 0 \qquad j = 1,2,\ldots,k1$$
$$\otimes(c_j) \le 0 \qquad j = 1,2,\ldots,k_2$$

روابط زیر برای ارائه‌ی حد بالا و پایین $\otimes(f')$ وجود دارد.

(۱۳)

$$\overline{\otimes}(f') = \overline{\otimes}(c_1)\overline{\otimes}(x_1) + \overline{\otimes}(c_2)\overline{\otimes}(x_2) + \ldots + \overline{\otimes}(c_{k_1})\overline{\otimes}(x_{k_1}) + \underline{\otimes}(c_{k_1+1})\overline{\otimes}(x_{k_1+1})$$
$$+ \ldots + \underline{\otimes}(c_n)\overline{\otimes}(x_n)$$

$$\underline{\otimes}(f') = \underline{\otimes}(c_1)\underline{\otimes}(x_1) + \underline{\otimes}(c_2)\underline{\otimes}(x_2) + \ldots + \underline{\otimes}(c_{k_1})\underline{\otimes}(x_{k_1}) + \overline{\otimes}(c_{k_1+1})\underline{\otimes}(x_{k_1+1})$$
$$+ \ldots + \overline{\otimes}(c_n)\underline{\otimes}(x_n)$$

به منظور به دست آوردن حد بالای $\otimes(f')$، محدودیت $\otimes(A) \otimes(X) \leq \otimes(B)$ به صورت رابطه ۱۴، ارائه می‌شود (Maqsood et al., 2005)

(۱۴)

$$\underline{\otimes}(a_{i1})\overline{\otimes}(x_1) + \underline{\otimes}(a_{i2})\overline{\otimes}(x_2) + \ldots + \underline{\otimes}(a_{ik_1})\overline{\otimes}(x_{k_1}) +$$
$$\underline{\otimes}(a_{ik_1+1})\overline{\otimes}(x_{k_1+1}) + \ldots + \underline{\otimes}(a_{in})\overline{\otimes}(x_n) \leq \underline{\otimes}(b_i) \qquad \forall i$$

به طور مشابه برای به دست آوردن حد پایین $\otimes(f')$، محدودیت مذکور به صورت رابطه ۱۵، درمی‌آید (Maqsood et al., 2005)

(۱۵)

$$\overline{\otimes}(a_{i1})\underline{\otimes}(x_1) + \overline{\otimes}(a_{i2})\underline{\otimes}(x_2) + \ldots + \overline{\otimes}(a_{ik_1})\underline{\otimes}(x_{k_1}) +$$
$$\overline{\otimes}(a_{ik_1+1})\underline{\otimes}(x_{k_1+1}) + \ldots + \overline{\otimes}(a_{in})\underline{\otimes}(x_n) \leq \overline{\otimes}(b_i) \qquad \forall i$$

برای عدد قطعی $\otimes_m(x^*)$، رابطه ۱۶، برقرار است (Maqsood et al., 2005)

(۱۶)

$$\overline{\otimes}(x_j) \geq \otimes_m(x_j^*), \qquad j = 1,2,\ldots,k_1.$$
$$\underline{\otimes}(x_j) \leq \otimes_m(x_j^*) \qquad j = k_1+1, k_1+2, \ldots, n.$$
$$\underline{\otimes}(x_j) \leq \otimes_m(x_j^*) \qquad j = 1,2,\ldots,k_1.$$
$$\overline{\otimes}(x_j) \geq \otimes_m(x_j^*), \qquad j = k_1+1, k_1+2, \ldots, n.$$

بنابراین مدل برنامه‌ریزی خاکستری برای حل باید به دو زیر مدل تقسیم شود.

زیر مدل اول حد پایین λ را به دست می‌دهد که به صورت رابطه ۱۷، ارائه می‌شود (Subhankar Karmakar, 2006)

(۱۷)

$$Max\ \underline{\otimes}(\lambda)$$
$$subject\ to$$
$$\overline{\otimes}(c_1)\overline{\otimes}(x_1) + \overline{\otimes}(c_2)\overline{\otimes}(x_2) + \ldots + \overline{\otimes}(c_{k_1})\overline{\otimes}(x_{k_1}) + \underline{\otimes}(c_{k_1+1})\overline{\otimes}(x_{k_1+1})$$
$$+ \ldots + \underline{\otimes}(c_n)\overline{\otimes}(x_n) \leq \underline{\otimes}(f') + [1 - \underline{\otimes}(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(f) - \underline{\otimes}(f)\right]$$
$$\underline{\otimes}(a_{i1})\overline{\otimes}(x_1) + \underline{\otimes}(a_{i2})\overline{\otimes}(x_2) + \ldots + \underline{\otimes}(a_{ik_1})\overline{\otimes}(x_{k_1}) + \underline{\otimes}(a_{ik_1+1})\overline{\otimes}(x_{k_1+1})$$
$$+ \ldots + \underline{\otimes}(a_{in})\overline{\otimes}(x_n) \leq \underline{\otimes}(b_i) + [1 - \underline{\otimes}(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(b_i) - \underline{\otimes}(b_i)\right] \qquad \forall i$$
$$\overline{\otimes}(x_j) \geq \otimes_m(x_j^*), \quad j = 1,2,\ldots,k_1.$$
$$\underline{\otimes}(x_j) \leq \otimes_m(x_j^*) \quad j = k_1+1, k_1+2, \ldots, n.$$
$$0 \leq \otimes(\lambda) \leq 1$$

و حد بالای λ توسط رابطه ۱۸، به دست می‌آید (Subhankar Karmakar et al., 2006)

(۱۸)

$$
\begin{aligned}
&Max\ \overline{\otimes}(\lambda)\\
&subject\ to:\\
&\underline{\otimes}(c_1)\underline{\otimes}(x_1)+\underline{\otimes}(c_2)\underline{\otimes}(x_2)+\ldots+\underline{\otimes}(c_{k_1})\underline{\otimes}(x_{k_1})+\overline{\otimes}(c_{k_1+1})\underline{\otimes}(x_{k_1+1})\\
&+\ldots+\overline{\otimes}(c_n)\underline{\otimes}(x_n)\le\overline{\otimes}(f')+\left[1-\overline{\otimes}(\lambda)\right]\left[\overline{\otimes}(f)-\underline{\otimes}(f)\right]\\
&\overline{\otimes}(a_{i1})\underline{\otimes}(x_1)+\overline{\otimes}(a_{i2})\underline{\otimes}(x_2)+\ldots+\overline{\otimes}(a_{ik_1})\underline{\otimes}(x_{k_1})+\overline{\otimes}(a_{ik_1+1})\underline{\otimes}(x_{k_1+1})\\
&+\ldots+\overline{\otimes}(a_{in})\underline{\otimes}(x_n)\le\overline{\otimes}(b_i)+[1-\overline{\otimes}(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(b_i)-\underline{\otimes}(b_i)\right]\qquad\forall i\\
&\underline{\otimes}(x_j)\le\otimes_m(x_j^*)\quad j=1,2,\ldots,k_1.\\
&\overline{\otimes}(x_j)\ge\otimes_m(x_j^*),\quad j=k_1+1,k_1+2,\ldots,n.\\
&0\le\otimes(\lambda)\le 1
\end{aligned}
$$

با در نظر گرفتن جواب‌های به دست آمده از حل رابطه ۱۸، حل برنامه‌ریزی فازی خاکستری به صورت رابطه ۱۹، ارائه می‌شود (Subhankar Karmakar & et al., 2006)

(۱۹)

$$
\begin{aligned}
&\otimes(\lambda^*)=\left[\underline{\otimes}(\lambda^*),\overline{\otimes}(\lambda^*)\right],\\
&\otimes(f^*)=\left[\underline{\otimes}(f^*),\overline{\otimes}(f^*)\right],\\
&\otimes(x_j^*)=\left[\underline{\otimes}(x_j^*),\overline{\otimes}(x_j^*)\right],\qquad\forall j
\end{aligned}
$$

که در فرمول ارائه‌شده $\otimes(\lambda^*)$ و $\otimes(f^*)$ و $\otimes(x_j^*)$ اعداد خاکستری هستند.

در این پژوهش ضرایب منفی وجود ندارد و به همین دلیل زیر مدل‌های فوق به صورت رابطه ۲۰، تغییر می‌یابند.

$$k_1+k_2=n\Rightarrow k_2=0\Rightarrow k_1=n$$

حد پایین λ عبارت است از:

(۲۱)

$$
\begin{aligned}
&Max\ \underline{\otimes}(\lambda)\\
&subject\ to\\
&\overline{\otimes}(c_1)\overline{\otimes}(x_1)+\overline{\otimes}(c_2)\overline{\otimes}(x_2)+\ldots+\overline{\otimes}(c_{k_1})\overline{\otimes}(x_{k_1})\le\underline{\otimes}(f')+\left[1-\underline{\otimes}(\lambda)\right]\left[\overline{\otimes}(f)-\underline{\otimes}(f)\right]\\
&\underline{\otimes}(a_{i1})\overline{\otimes}(x_1)+\underline{\otimes}(a_{i2})\overline{\otimes}(x_2)+\ldots+\underline{\otimes}(a_{ik_1})\overline{\otimes}(x_{k_1})\le\underline{\otimes}(b_i)+[1-\underline{\otimes}(\lambda)]\left[\overline{\otimes}(b_i)-\underline{\otimes}(b_i)\right]\quad\forall i\\
&\overline{\otimes}(x_j)\ge\otimes_m(x_j^*),\quad j=1,2,\ldots,k_1.\\
&0\le\underline{\otimes}(\lambda)\le 1
\end{aligned}
$$

حد بالای λ عبارت است از:

(۲۲)

$$Max\ \overline{\otimes}(\lambda)$$

subject to:

$$\underline{\otimes}(c_1)\underline{\otimes}(x_1)+\underline{\otimes}(c_2)\underline{\otimes}(x_2)+\ldots+\underline{\otimes}(c_{k_1})\underline{\otimes}(x_{k_1})\le\overline{\otimes}(f')+\left[1-\overline{\otimes}(\lambda)\right]\left[\overline{\otimes}(f)-\underline{\otimes}(f)\right]$$

$$\overline{\otimes}(a_{i1})\underline{\otimes}(x_1)+\overline{\otimes}(a_{i2})\underline{\otimes}(x_2)+\ldots+\overline{\otimes}(a_{ik_1})\underline{\otimes}(x_{k_1})\le\overline{\otimes}(b_i)+\left[1-\overline{\otimes}(\lambda)\right]\left[\overline{\otimes}(b_i)-\underline{\otimes}(b_i)\right]\quad\forall i$$

$$\underline{\otimes}(x_j)\le\overline{\otimes}(x_j)$$

$$\underline{\otimes}(x_j)\le\otimes_m(x_j^*)\quad j=1,2,\ldots,k_1.$$

$$0\le\overline{\otimes}(\lambda)\le 1$$

نتایج و بحث

با توجه به مدل ذکرشده، الگوی کشت منطقه مورد بررسی به صورت زیر ارائه شده است. بازده برنامه‌ای محصولات مختلف در هر هکتار از حاصل‌ضرب عملکرد در قیمت بازاری و کسر هزینه‌های جاری تولید از آن به دست آمد. هدف، حداکثر کردن بازده برنامه‌ای کشاورز در نظر گرفته شده است. حد پایین و بالای بازده برنامه‌ای (تومان)، یعنی مقادیر حداقل و حداکثر بازده برنامه‌ای محصول مورد نظر تعیین شده است. کل زمین‌های زیر کشت منطقه برابر ۴۲۶۴۰ هکتار می‌باشد که بایستی ۲۱۳۲۰ هکتار از آن زیر کشت محصولات قرار گیرد. ضرایب محدودیت سطح زیر کشت فعالیت‌ها، عدد قطعی یک است.قابل‌ذکر است که حداقل کل سطح زیر کشت نباید از کل سطح زیر کشت موجود کمتر باشد.حداقل سرمایه قابل دسترس منطقه در سال مذکور، برابر با ۷۹۸۴۵۶۲۳۱۵ تومان است که با احتساب اعتبارات سالانه و اعتبارات اضافی اختصاص داده شده در منطقه، مقدار آن به ۱۳۵۷۸۹۶۲۳۵۱۰ تومان افزایش می‌یابد. حد بالا و حد پایین ضرایب x، برابر با نیاز محصولات به سرمایه می‌باشد. حداقل آب قابل‌دسترس منطقه در سال مذکور، برابر با ۹۷۴۵۲۶۸۲ مترمکعب است که با احتساب بارندگی سالانه و آب اضافی رهاشده در منطقه، مقدار آن به ۱۸۷۲۵۶۳۲۵/۲ مترمکعب افزایش می‌یابد. حد بالا و حد پایین ضرایب x، برابر با نیاز آبی محصولات منطقه با در نظر گرفتن راندمان آبیاری ۴۰ و۶۰ درصد در نظر گرفته شده‌اند. به عبارت دیگر ضرایب سمت چپ نیز اعداد خاکستری هستند. حداقل ماشین‌آلات موجود در منطقه با احتساب ۸ ساعت کار در روز برابر با ۱۹۷۴۵۶ ساعت و با احتساب ۱۰ ساعت کار در روز برابر با ۳۳۵۴۶۲ ساعت می‌باشد. حد بالا و پایین ضرایب فعالیت‌ها، برابر با کم‌ترین و بیش‌ترین زمان مورد نیاز برای کاشت، داشت و برداشت محصولات منطقه به وسیله ماشین‌آلات بر حسب ساعت لحاظ شده است. حداقل نیروی کار کشاورزی موجود در منطقه برابر با ۱۰۱۷۸۴۶ نفر روز کار می‌باشد که با احتساب سایر نیروی انسانی آماده به کار، تعداد آن‌ها به ۱۵۸۴۵۲۰ نفر روز کار افزایش می‌یابد. حد بالا و پایین ضرایب سمت چپ برابر با کم‌ترین و بیش‌ترین نفر روز کارگری است که برای محصولات مختلف در منطقه به کار گرفته‌شده‌اند. حداقل و حداکثر مقدار کود ازته موجود در منطقه برابر با ۴۷۹۲۶۵۰ و ۸۹۴۵۶۸۲ کیلوگرم می‌باشد. ضرایب خاکستری سمت راست نیز، بازه نیاز کودی ازته محصولات منطقه را نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر مقدار کود فسفاته موجود در منطقه برابر با ۲۷۸۶۳۲۰ و ۵۴۸۹۶۳۲ کیلوگرم می‌باشد. ضرایب خاکستری سمت راست نیز، بازه نیاز کودی فسفاته محصولات منطقه را نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر مقدار کود پتاس موجود در منطقه برابر با ۱۹۴۸۷۹۰و ۴۴۱۲۶۱۳ کیلوگرم می‌باشد. ضرایب خاکستری سمت راست نیز، بازه نیاز کودی پتاس محصولات منطقه را نشان می‌دهد. منظور از حداقل نیاز کودی، حداقل مقداری است که

کشاورزان برای محصول خود در نظر می‌گیرند و در آن مقدار، تولید محصول به خوبی صورت می‌گیرد. منظور از حداکثر نیاز کودی، کود مورد نیاز گیاه از نظر علمی می‌باشد. حداقل و حداکثر مقدار سم علف‌کش موجود در منطقه برابر با ۱۵۸۷۵ و ۲۹۸۴۵ لیتر می‌باشد. ضرایب خاکستری سمت راست نیز، بازه نیاز سم علف‌کش محصولات منطقه را نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر مقدار سم قارچ‌کش موجود در منطقه برابر با ۵۸۷۹ و ۱۳۸۱۵ لیتر می‌باشد. ضرایب خاکستری سمت راست نیز، بازه نیاز سم قارچ‌کش محصولات منطقه را نشان می‌دهد. حداقل و حداکثر مقدار سم حشره‌کش موجود در منطقه برابر با ۸۹۲۵ و ۱۵۱۲۶ لیتر می‌باشد. ضرایب خاکستری سمت راست نیز، بازه نیاز سم حشره‌کش محصولات منطقه را نشان می‌دهد. منظور از حداقل نیاز به سم، حداقل مقداری است که کشاورزان برای محصول خود در نظر می‌گیرند و در آن مقدار، تولید محصول به خوبی صورت می‌گیرد . منظور از حداکثر نیاز سم، سم مورد نیاز گیاه از نظر علمی می‌باشد.

برای حل مدل به روش خاکستری ابتدا حد بالای مدل محاسبه می‌شود. بدین منظور برای مقادیر سمت راست محدودیت‌ها و ضرایب فنی از مقادیر حداکثر که در جداول مربوط به داده‌ها آورده شده است استفاده می‌شود. پس از به دست آوردن حد بالای مدل، مقادیر به دست آمده برای متغیرهای تصمیم نیز به صورت محدودیت وارد مدل شده و به جای مقادیر حداکثر سمت راست محدودیت‌ها و ضرایب فنی از مقادیر حداقل که در جداول مربوط به داده‌ها آورده شده است استفاده می‌شود. نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خاکستری به صورت زیر است. در جدول (۱) سطح زیر کشت بهینه حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی خاکستری آورده شده است.

جدول (۱) سطح زیر کشت بهینه (برحسب هکتار) حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی خاکستری

محصول	حد پایین به دست آمده از مدل	سطح زیر کشت موجود در منطقه	حد بالای به دست آمده از مدل
گندم	۲۶۴۳	۳۷۷۷	۴۸۹۳
جو	۱۵۸۳	۱۲۶۵	۱۶۴۴
سیب‌زمینی	۴۸۰۵	۴۰۹۹	۴۸۰۵
پیاز	۱۵۴۷	۲۲۱۰	۱۵۴۷
گوجه‌فرنگی	۹۸۵	۷۵۸	۹۸۵
خیار	۳۸۳۲	۲۹۴۸	۳۸۳۲
هندوانه	۲۴۰	۱۸۵	۲۴۰
ذرت دانه‌ای	۱۲۶۴	۱۲۰۰	۱۴۳۶
یونجه	۱۲۶۹	۱۷۲۱	۱۹۳۴

مجموعه جواب حاصل از برنامه‌ریزی خاکستری نشان می‌دهد که سطح زیر کشت گندم، جو ،ذرت‌دانه‌ای و یونجه به ترتیب در بازه‌های [۲۶۴۳,۹،۴۸۹۳]، [۱۵۸۳،۱۶۴۴]، [۱۲۶۴,۹۸،۱۴۳۶]و[۱۲۶۹،۱۹۳۴] هکتار قرار دارند. سطح زیر کشت سیب‌زمینی ۴۸۰۵، پیاز ۱۵۴۷، گوجه‌فرنگی ۹۸۵، خیار ۳۸۳۲ و هندوانه ۲۴۰ هکتار به دست آمد. مقادیر مطلوب حد بالا و پایین بازده برنامه‌ای به صورت زیر می‌باشد.

[۹۷۴۵۷۱۴۰۰۰۰،۱۷۶۲۴۵۲۰۰۰۰۰]

مقدار مطلوب حد بالای بازده برنامه‌ای ۱۷۶۲۴۵۲۰۰۰۰۰ده ریال و مقدار مطلوب حد پایین بازده برنامه‌ای ۹۷۴۵۷۱۴۰۰۰۰ ده ریال به دست آمد.

در جدول (۲) مقادیر مطلوب محدودیت‌های موجود در مدل آورده شده است که حدود پایین و بالای محدودیت‌های مدل می‌باشند که از حل مدل خاکستری حاصل‌شده‌اند.

جدول (۲) مقادیر مطلوب محدودیت‌های موجود در مدل

	وضعیت موجود	حد پایین حاصل از مدل خاکستری	حد بالای حاصل از حل مدل خاکستری
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال)	۱۱۹۹۷۵۵۵۸۳۴۰	۹۷۴۵۷۱۴۰۰۰۰	۱۷۶۲۴۵۲۰۰۰۰۰
هزینه‌های جاری (میلیارد ریال)	۹۸۷۴۵۲۹۳۶۵۰	۷۵۷۵۰۰۹۰۰۰۰	۱۳۵۷۸۹۶۰۰۰۰۰
آب (مترمکعب)	۱۳۹۵۸۴۷۱۵	۶۹۷۸۷۵۹۰	۱۸۴۵۲۰۶۰۰
ماشین‌آلات (ساعت)	۲۵۸۹۶۲	۱۹۷۴۵۶	۳۲۱۹۴۹
نیروی کار (ساعت)	۱۳۹۵۴۶۲	۱۰۸۳۲۱۹	۱۵۶۲۰۳۲
کود ازته (کیلوگرم)	۶۴۸۰۲۹۴	۴۱۰۶۰۷۳	۸۸۷۵۱۴۵
کود فسفاته (کیلوگرم)	۳۹۴۵۱۳۴	۲۲۳۰۵۴۶	۵۴۸۹۶۳۲
کود پتاس (کیلوگرم)	۲۸۹۷۳۶۰	۱۸۹۶۰۶۰	۴۳۳۵۲۸۲
سم علف‌کش (کیلوگرم)	۲۲۸۱۵	۱۴۰۵۸	۲۹۸۴۵
سم قارچ‌کش (کیلوگرم)	۸۹۷۴	۵۶۴۰	۱۳۷۸۵
سم حشره‌کش (کیلوگرم)	۱۲۹۸۶	۸۰۱۱	۱۷۹۴۵

درجه خاکستری بودن یک بازه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Gd\left[\otimes(f)\right]=\left\{\left[\overline{\otimes}(f)-\underline{\otimes}(f)\right]/\otimes_m(f)\right\}\times 100$$

که در آن $\otimes_m(f)$ حد میانی بازه تعریف شده می‌باشد. در این مطالعه درجه خاکستری بودن روش خاکستری ۵۷,۵٪ می‌باشد.

الگوی برنامه‌ریزی فازی خاکستری

برای حل مدل برنامه‌ریزی خاکستری فازی همان طور که در معادلات فوق آورده شده است، ابتدا باید مقادیر حد بالا و حد پایین $\otimes(f')$ را با توجه به محدودیت‌های موجود (در مواد و روش‌ها آورده شده) به دست آوریم تا از آن‌ها در سمت راست محدودیت بازده برنامه‌ای روش خاکستری فازی استفاده کنیم.پس از حل حد بالا و حد پایین $\otimes(f')$ ، مقادیر زیر به دست آمد. حد بالای $\otimes(f')$ برابر با ۱۶۶۷۹۸۱۰۰۰۰۰ ده ریال و حد پایین آن ۹۷۵۱۵۴۴۰۰۰۰ ده ریال می‌باشد.

در این روش برنامه‌ریزی، بازه در نظر گرفته‌شده برای سود سیستم توسط متغیر تصمیم $\otimes(\lambda)$محدود می‌شود. این متغیر نشان می‌دهد که بازه سود حاصل از مدل خاکستری تا چه حد محدود می‌شود. به عبارت دیگر، به ازای $\lambda=1$،بازه به حداکثر مقدار خود و به ازای $\lambda=0$، بازه به حداقل مقدار خود می‌رسد. نتایج حاصل از برنامه‌ریزی فازی خاکستری به صورت زیر می‌باشد.

$$\lambda^{+-} = [۰.۰۹٦٤,۱]$$
$$f^{+-} = [۱٦٦٦٨٢٥۰۰۰۰۰,۱۷۹٤۷٥۱۰۰۰۰۰]$$

که در آن λ^{+-} بیانگر حد بالا و حد پایین متغیر تصمیم و f^{+-} بیانگر حد بالا و حد پایین سود سیستم در حالت برنامه‌ریزی فازی خاکستری است. حد بالای متغیر تصمیم یک و حد پایین آن ۰،۰۹۶۴ می‌باشد. حد بالای سود سیستم ۱۷۹۴۷۵۱۰۰۰۰۰ ده ریال و حد پایین آن ۱۶۶۶۸۲۵۰۰۰۰۰ ده ریال می‌باشد. در جدول (۳) سطح زیر کشت حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری آورده شده است.

جدول (۳) سطح زیر کشت (برحسب هکتار) حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری

محصول	حد پایین به دست آمده از مدل	سطح زیر کشت موجود در منطقه	حد بالای به دست آمده از مدل
گندم	۴۹۱۰	۳۷۷۷	۴۹۱۰
جو	۱۶۴۴	۱۲۶۵	۱۶۴۴
سیب‌زمینی	۵۲۹۲	۴۰۹۹	۵۳۲۸
پیاز	۱۵۴۷	۲۲۱۰	۲۳۴۹
گوجه‌فرنگی	۵۳۰	۷۵۸	۹۸۵
خیار	۲۰۶۳	۲۹۴۸	۲۰۶۳
هندوانه	۱۲۹	۱۸۵	۲۴۰
ذرت دانه‌ای	۸۴۰	۱۲۰۰	۱۵۶۰
یونجه	۱۲۰۴	۱۷۲۱	۲۲۳۷

مجموعه جواب حاصل از برنامه‌ریزی خاکستری نشان می‌دهد که سطح زیر کشت سیب‌زمینی، پیاز، گوجه‌فرنگی، هندوانه، ذرت دانه‌ای و یونجه در بازه‌های [۵۳۲۸،۷،۵۲۹۲]، [۲۳۴۹،۱۵۴۷]، [۹۸۵،۵۳۰] ، [۱۲۹،۲۴۰] ، [۱۵۶۰،۸۴۰] و [۲۲۳۷،۱۲۰۴] هکتار قرار دارند. سطح زیر کشت گندم ۴۹۱۰، جو ۱۶۴۴ و خیار ۲۰۶۳ هکتار به دست آمد.

مقادیر مطلوب محدودیت‌های موجود در مدل نیز به صورت زیر می‌باشد. در جدول (۴) مقادیر مطلوب محدودیت‌های موجود در مدل آورده شده است که حدود پایین و بالای محدودیت‌های مدل می‌باشند که از حل مدل فازی خاکستری حاصل‌شده‌اند.

جدول (۴) مقادیر مطلوب محدودیت‌های موجود در مدل فازی خاکستری

	وضعیت موجود	حد پایین حاصل از مدل فازی خاکستری	حد بالای حاصل از حل مدل فازی خاکستری
بازده برنامه‌ای (میلیارد ریال)	۱۱۹۹۷۵۵۵۸۳۴	۱۶۶۶۸۲۵۰۰۰۰۰	۱۷۹۴۷۵۱۰۰۰۰۰
هزینه‌های جاری (میلیارد ریال)	۹۸۷۴۵۲۹۳۶۵۰	۸۰۳۶۷۷۹۵۵۹۶	۱۱۷۶۷۱۸۵۳۰۵۲
آب (مترمکعب)	۱۳۹۵۸۴۷۱۵	۸۹۹۲۰۶۲۶	۱۵۵۷۲۸۷۱۰

ماشین‌آلات (ساعت)	۲۵۸۹۶۲	۲۳۳۳۸۵	۲۷۶۱۸۷
نیروی کار (ساعت)	۱۳۹۵۴۶۲	۱۲۲۴۴۷۰	۱۳۶۱۲۴۸
کود ازته (کیلوگرم)	۶۴۸۰۲۹۴	۴۵۷۷۴۷۲	۷۸۰۱۳۷۷
کود فسفاته (کیلوگرم)	۳۹۴۵۱۳۴	۲۴۴۲۹۳۶	۴۵۹۴۶۶۹
کود پتاس (کیلوگرم)	۲۸۹۷۳۶۰	۲۱۳۱۱۰۰	۳۶۴۳۲۰۵
سم علف‌کش (کیلوگرم)	۲۲۸۱۵	۱۵۳۰۳	۲۶۹۴۷
سم قارچ‌کش (کیلوگرم)	۸۹۷۴	۴۴۴۷	۱۱۱۲۸
سم حشره‌کش (کیلوگرم)	۱۲۹۸۶	۷۳۷۰	۱۵۰۶۲

همان‌طور که در بالا گفته شد درجه خاکستری بودن یک بازه به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Gd\left[\otimes(f)\right]=\left\{\left[\overline{\otimes}(f)-\underline{\otimes}(f)\right]/\otimes_m(f)\right\}\times 100$$

که در آن $\otimes_m(f)$ حد میانی بازه تعریف‌شده می‌باشد. در این مطالعه درجه خاکستری بودن روش فازی خاکستری ۷,۳۹٪ می‌باشد.همان طور که می‌بینید درجه خاکستری بودن مدل فازی خاکستری ۵۰,۱۸٪ از مدل خاکستری کمتر می‌باشد.

نتایج حاصل از برنامه‌ریزی خاکستری و فازی خاکستری

نتایج ارائه‌شده توسط مدل برنامه‌ریزی خاکستری دارای عدم قطعیت بالایی است. زیرا درجه خاکستری بودن آن زیاد می‌باشد. هر چه درجه خاکستری بودن زیادتر باشد، کارایی پاسخ‌های به دست آمده از حل مدل کمتر است. برای کاهش درجه خاکستری بودن، برنامه‌ریزی خطی خاکستری فازی استفاده شد. در این برنامه‌ریزی، بازه در نظر گرفته‌شده برای سود سیستم توسط متغیر تصمیم $\lambda^{\pm}$ ، محدود می‌شود. این متغیر نشان می‌دهد که بازه سود حاصل از مدل خاکستری تا چه حد محدود می‌شود. حد بالا و حد پایین متغیر تصمیم بیانگر محدودتر شدن بازه تعریف‌شده برای سود سیستم می‌باشد.

درجه خاکستری بودن سود سیستم در حالت خاکستری ۵۷,۵۷٪ و در روش فازی خاکستری ۷,۳۹٪ می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌گردد با کاربرد برنامه‌ریزی فازی خاکستری درجه خاکستری بودن نتایج ۵۰.۱۸٪ کاهش می‌یابد.

در جدول (۱) مقایسه‌ای بین الگوی کشت موجود در منطقه و الگوی کشت حاصل از حل مدل خاکستری ارائه شده است. همان طور که در جدول ملاحظه می‌شود سطح زیر کشت گندم و یونجه در بازه تعریف شده برای رسیدن به حداکثر سود قرار دارند. در مورد محصولات جو، سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه و ذرت دانه‌ای سطح زیر کشت موجود در منطقه از حد پایین سطح زیر کشت به دست آمده در مدل کمتر است ولی در مورد پیاز سطح زیر کشت موجود در منطقه از سطح زیر کشت به دست آمده بالاتر است.

در جدول (۳) مقایسه‌ای بین الگوی کشت موجود در منطقه و الگوی کشت حاصل از حل مدل فازی خاکستری ارائه شده است. همان طور که در جدول ملاحظه می‌شود سطح زیر کشت پیاز، گوجه‌فرنگی، هندوانه، ذرت دانه‌ای و یونجه در بازه تعریف‌شده برای رسیدن به حداکثر سود قرار دارند. در مورد محصولات گندم، جو و سیب‌زمینی سطح

زیر کشت موجود در منطقه از حد پایین سطح زیر کشت به دست آمده در مدل کمتر است ولی در مورد خیار سطح زیر کشت موجود در منطقه از سطح زیر کشت به دست آمده بالاتر است.

در این مطالعه روشی که برای طراحی الگوی کشت منطقه به کار گرفته شد روش برنامه‌ریزی خاکستری و فازی خاکستری بود. ابتدا اعداد خاکستری و سپس مدل خاکستری و فازی خاکستری معرفی شد. یکی از اشکالات عمده برنامه‌ریزی خاکستری، بالا بودن درجه خاکستری مجموعه جواب حاصل می‌باشد. با کاربرد روش برنامه‌ریزی فازی خاکستری، درجه خاکستری بودن مجموعه جواب کاهش می‌یابد و مجموعه جواب حاصل کاراتر می‌شود و بهبود می‌یابد. به کار بردن روش فازی خاکستری همچنین درجه خاکستری بودن محدودیت‌های ناشی از برنامه‌ریزی فازی خاکستری را کاهش می‌دهد و بر کارایی آن‌ها می‌افزاید. با افزایش کارایی، نتایج قابل‌اعتمادتر و دقیق‌تر می‌شود. نتایج مجموعه جواب حاصل از برنامه‌ریزی خاکستری حاکی از آن است که با محدودیت‌های اعمال‌شده، سطح زیر کشت گندم بین ۲۶۴۳ و ۴۸۹۳ هکتار در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت جو بین ۱۵۸۳ و ۱۶۴۴ قابل‌تغییر است. کشاورزان منطقه با توجه به محدودیت‌های ذکرشده و باهدف حداکثر مقدار سود، ۴۸۰۵/۳۶ هکتار سیب‌زمینی، ۱۵۴۷ هکتار پیاز، ۹۸۵ هکتار گوجه‌فرنگی، ۳۸۳۲ هکتار خیار و ۲۴۰ هکتار هندوانه می‌توانند کشت کنند. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای بین ۱۲۶۴ و ۱۴۳۶ هکتار می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت یونجه هم بین ۱۲۶۹ و ۱۹۳۴ هکتار قابلیت تغییر دارد. با توجه به الگوی کشت خاکستری، سود حاصل برای کشاورزان منطقه در بازه‌ی [۱۷۶۲۴۵۲۰۰۰۰۰،۹۷۴۵۷۱۴۰۰۰۰]، ده ریال می‌باشد. حد بالای سود بیانگر مقدار سودی است که کشاورز با در نظر گرفتن حد بالای نهاده‌های قابل‌دسترس و حد بالای ضرایب فنی به آن دست پیدا می‌کند. حد پایین سود بیانگر مقدار سودی است که کشاورز با در نظر گرفتن حد پایین نهاده‌های قابل‌دسترس و حد پایین ضرایب فنی مدل به آن می‌رسد.

نتایج مجموعه جواب حاصل از برنامه‌ریزی فازی خاکستری نشان‌دهنده آن است که با محدودیت‌های اعمال‌شده، سطح زیر کشت سیب‌زمینی بین ۵۲۹۲ و ۵۳۲۸ هکتار، در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت پیاز بین ۱۵۴۷ و ۲۳۴۹ قابل‌تغییر است. سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی بین ۵۳۰ و ۹۸۵ هکتار، در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت هندوانه بین ۱۲۹ و ۲۴۰ قابل‌تغییر است. سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای بین ۸۴۰ و۱۵۶۰ هکتار، در منطقه می‌تواند تغییر کند. سطح زیر کشت یونجه بین ۱۲۰۴ و ۲۲۳۷ قابل‌تغییر است. کشاورزان منطقه با توجه به محدودیت‌های ذکرشده و باهدف حداکثر مقدار سود، ۴۹۱۰ هکتار گندم، ۱۶۴۴ هکتار جو و ۲۰۶۳ هکتار خیار می‌توانند کشت کنند. با توجه به الگوی کشت فازی خاکستری ، سود حاصل برای کشاورزان منطقه در بازه [۱۷۹۴۷۵۱۰۰۰۰۰ ،۱۶۶۶۸۲۵۰۰۰۰۰]ده ریال می‌باشد. حد بالای سود بیانگر مقدار سودی است که کشاورز با در نظر گرفتن حد بالای نهاده‌های قابل‌دسترس و حد پایین ضرایب فنی به آن دست پیدا می‌کند. حد پایین سود بیانگر مقدار سودی است که کشاورز با در نظر گرفتن حد پایین نهاده‌های قابل‌دسترس و حد بالای ضرایب فنی مدل به آن می‌رسد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کمبود منابع آب سبب برداشت بیرویه از آب‌های زیرزمینی در بسیاری از نقاط جهان و افت شدید سطح سفره‌های آب زیرزمینی شده است. باتوجه به وضعیت نامناسب منابع آب زیرزمینی دشت جیرفت و بدلیل گسترش سطح زیرکشت محصولات با نیاز آبی بالا و برداشتهای بی‌رویه در سال‌های اخیر، ارتفاع سطح آب در سفره‌های این دشت به شدت کاهش یافته و منابع آب زیرزمینی با خطر جدی تخریب مواجه شده است. از طرفی امروزه، توجه به محیط زیست یکی از اولویت‌های مهم در بسیاری از کشورها می‌باشد. از این‌رو، پرداختن به این مساله بسیار ضروری به نظر می‌رسد. آلودگی‌های محیط زیستی که بخش کشاورزی به وجود می‌آورد، بیشتر به علت استفاده زیاد از سموم و کودهای شیمیایی در زیربخش زراعت است. در نتیجه در این مطالعه با به‌کارگیری مدل برنامه‌ریزی فازی خاکستری با رویکرد زیست محیطی و کاهش مصرف آب الگوی بهینه کشت منطقه تعیین گردید.

به طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش عبارت‌اند از:

۱) آمار و اطلاعات معمولاً ایراد دارند. مدل فازی یا تفکر فازی این قابلیت را به مدل می‌دهد که از آمار و اطلاعات به همان صورت نادقیق بتوان بهترین بهره‌برداری را نمود. در ساختار مدل فازی خاکستری که در آن تابع هدف و سمت راست محدودیت‌ها فازی بودند، ساختار فازی باعث کاهش درجه خاکستری و افزایش کارایی مدل شد. با توجه به ضرورت کشاورزی پایدار و حفظ و صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست و کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی، تغییر الگوی کشت بر مبنای حداکثرسازی درآمد با رعایت حداقل کردن میزان استفاده از کودها و سموم شیمیایی و آب مصرفی می‌تواند کمک شایانی در این مورد نماید. روش برنامه‌ریزی فازی خاکستری این امتیاز را دارد که به طور همزمان این دو معیار را در نظر گرفته و الگوی بهینه را به دست آورد.

۲) اجرای مدل‌های بهینه نشان‌دهنده آن است که استفاده از زمین‌های زراعی موجود می‌تواند به نحو بهتری انجام گیرد. زیرا اجرای مدل‌های بهینه ضمن افزایش سودآوری، مقداری از زمین‌های زراعی را بدون استفاده می‌گذارد که بیانگر آن است که الگوی بهینه کشت می‌تواند سود بیشتری را با مقدار زمین کمتری ارائه دهد. همچنین اجرای مدل بهینه می‌تواند در همان سطح از محدودیت‌های منطقه سطح زیر کشت بیشتری را پیشنهاد نماید. بنابراین چنانچه محدودیت‌های منطقه از جمله آب، کود و سموم شیمیایی کاهش یابد، امکان افزایش سطح زیر کشت و سودآوری وجود خواهد داشت. از آنجا که توسعه خدمات زیربنائی در کاهش محدودیت‌های منابع تأثیر به‌سزائی دارد، توجه به این امر در خصوص استفاده بهینه از منابع برای افزایش سودآوری فعالیت‌های منطقه می‌تواند موثر باشد.

۳) با توجه به اینکه در مدل فازی خاکستری الگوی بهینه کشت به صورت بازه بهینه برای محصولات مختلف ارائه و پیشنهاد می‌شود فرد تصمیم‌گیرنده می‌تواند با توجه به محدودیت‌های منابع در دسترس ترکیب بهینه کشت را انتخاب نماید و دامنه و قدرت تصمیم‌گیری و انتخاب زارع افزایش می‌یابد.

۴) در شرایطی که داده‌ها با عدم قطعیت مواجه‌اند و به صورت بازه در دسترس می‌باشند مدل فازی خاکستری از کارایی بالایی نسبت به سایر مدل‌های برنامه‌ریزی برخوردار است و قادر می‌باشد تا نتایج قابل اعتمادتری ارائه نماید.

با توجه به الگوی کشت به دست آمده از روش فازی خاکستری این نتیجه حاصل می‌شود که الگوی موجود در منطقه یک الگوی بهینه نیست، زیرا سطح زیر کشت بهینه به دست آمده با استفاده از روش فوق با سطح زیر کشت موجود در منطقه برای محصولات مختلف متفاوت است. در ساختار مدل فازی خاکستری که در آن تابع هدف و

سمت راست محدودیت‌ها فازی بودند، ساختار فازی باعث کاهش درجه خاکستری و افزایش کارایی مدل شد. با توجه به نتایج ذکر شده مدل فازی خاکستری پیشنهاد می‌شود برای رسیدن به سود مورد نظر در منطقه، سطح زیر کشت گندم، جو و سیب‌زمینی افزایش یابد و سطح زیر کشت خیار کاهش یابد. استفاده از روش فازی خاکستری به جای مدل کلاسیک خاکستری در تعیین الگوی بهینه کشت، به ویژه در شرایط وجود عدم قطعیت در داده‌ها و آمارها. در تعیین الگوی بهینه کشت به آثار سیاست‌های دولت بر روی محصولات مختلف منطقه به دلیل وجود رابطه تبادلی میان اهداف مختلف توجه شود، مانند آثار ناشی از دخالت دولت در بازار. با توجه به نقش و اهمیت سیستماتیک و منسجم در توسعه بخش کشاورزی، در دسترس بودن یک ابزار مکانیزه تصمیم‌گیری و تصمیم‌سازی، می‌تواند مدیران را در مواقع بحرانی در تصمیم‌گیری یاری نماید. این ابزار باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- یکپارچه نگری، سیستماتیک بودن و پویایی
- کاملاً کامپیوتری بودن با قابلیت کاربرد آسان
- انعطاف‌پذیری
- لحاظ شرایط دنیای واقعی در آن(بخش کشاورزی)
- تصمیم‌گیری در کوتاه مدت، میان‌مدت و بلندمدت

مدل ارائه در این پژوهش دارای خصوصیات بالا بوده و پیشنهاد می‌شود برای تصمیم‌گیری بهتر، مدل‌سازی و برنامه-ریزی از پایین به بالا اجرا شود و از سطح شهرستان شروع‌شده و تا سطح ملی ادامه یابد. همچنین می‌توان در بخش-های مختلف اعم از زراعت، باغبانی، جنگل، مرتع، دام، طیور، شیلات و آبزیان در سطح شهرستان‌ها و استان‌های کشور طراحی و سپس در سطح ملی تجمیع شود.

منابع

Asadi, M. and Najafi Alamdarlo, A. (2019). Economic evaluation of optimum cultivating pattern for reducing the use of groundwater in Dehgolan plain. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 50: 29-43.

Asgari, A. Najari, J. Salarpour, M. Sabuhi, M. and Hasanlo, S. (2013). Crop planning with the aim of determining the cultivation pattern using the fuzzy ideal planning approach. Proceedings of the 8th Biennial Conference on Agricultural Economics of Iran, Shiraz: Faculty of Agriculture, Shiraz University.

Ganesan, K. (2006). On some properties of Interval Matrices. Intl. J. Math. Sci. 1(2):92-99.

Ghasemi, A. Hasanlo, S. Perouz, R. and Najafi, H. (2016). The Application of Integrating Fuzzy Logic and Matrix Method in Environmental Impact Assessment (Case study: Golestan Forest Northern Highway). *Environmental Researches*, 11: 169-172.

Hatef, H. Sarvary, A. and Daneshvar Kakhki, M. (2016). Determining Of Crop Optimal Pattern the Main Crops Of Cultivated Of Khorasan Razavi Province Based Of Production Comparative Advantage. *Journal of Agricultural Economics Research*, 21: 167-192.

Huang, G. H. Baetz, B. W. and Patry, G. G. (1993). A grey fuzzy linear programming approach for municipal solid.

Li, Y. P. Huang, G. H. and Nie, S. L. (2006). An interval-parameter multi- stage stochastic programming model for water resource management under uncertainty. *Advances in Water Resources*. 29: 776-789.

Maqsood, I. G. H. and Yeomans, J. S. (2005). An interval-parameter fuzzy two-stage stochastic programming for water resources management under uncertainty. Eur. J. Operational Res. 167:208–225.

Mohseni, S. and Shahraki, J. (2015). Application of gray fuzzy programming in water resources allocation of Yazd city. *Journal of Agricultural Economics Research*, 27: 73-90.

Mohseni, S. Zare Mehrjerdi, M. and Vaseghi, E. (2017). Determining optimal cultivation pattern in Orzooeye plain considering water resources sustainability using Fuzzy Fractional Programming model. *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 7: 21-28.

Rezaee, Z. and Sarvari Nobahar, A. (2013). Determining the cultivation pattern under environmental strategy using genetic algorithm (Case study of Mashhad). Proceedings of the First Bayan National Conference (Science, Technology and Sustainable Development), Karaj: Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran.

Sabuhi, M. and Khosravi, M. (2009). Comparing Economical and Environmental Optimum Cropping Pattern in Zarghan Plain of Fars Provinc. *Journal of Crop Ecophysiology (Agricul Ture Science)*, 11: 61-70.

Sardar Shahraki, A. Shahraki, J. and Hashemi Monfared, S. (2016). Investigation of Water Resources Management Approaches of Sistan Region Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP). *PUBLIC MANAGEMENT RESEARCHES*, 6:73-98.

Subhankar Karmakar, P.P. (2006). Grey fuzzy optimization model for water quality management of a river system. Elsevier.Ltd:1088-1105.

Wang, X. Sun, Y. Song, L. and Mei, C. (2009). An Eco-Environmental Water Demand Based Model for Optimizing Water Resources Using Hybrid Genetic Simulated Annealing Algorithms. Part I. Model development.Journal of Environmental Management. 90. 2628–2635.