ارائه‌ی راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب کشاورزی مبتنی بر مؤلفه‌های پایداری در دشت سیدان- فاروق

دکتر اسماعیل فلاحی*

*- استادیار بخش اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز (نویسنده‌ی مسئول)

esmaeilfallahi@yahoo.com

چکیده:

از دهه‌ی ۱۹۸۰ مفهوم پایداری توسعه بر پایه‌ی سه رکن اساسی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، نیروی محرکه‌ی تحقیق و توسعه بوده است. با این‌حال، سیستم‌های مدیریتی کشاورزی کم‌تر معطوف به چنین رویکرد جامع‌نگری بوده است. مطالعه‌ی حاضر به‌منظور تعیین الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای در راستای مدیریت پایدار مصرف آب در مزارع کوچک مقیاس دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت، دو راهبرد حداکثرسازی سود و امکان مصالحه‌ی بین اهداف پایداری بر اساس خروجی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مصالحه‌ای فازی (FCNLP) را تعقیب نمود. مقایسه‌ی نتایج دو راهبرد تبیین‌شده نشان داد که اگرچه راهبرد دوم در کوتاه‌مدت منافع اقتصادی کم‌تری به‌دنبال دارد، اما به‌حداکثر رساندن تابع مسافت مختلط آرمانی در این راهبرد متضمن دست‌یابی به میزان قابل قبولی از سطح آرمانی تحقق اهداف برنامه بوده به‌گونه‌ای که اجرای برنامه ی پیشنهادی در منطقه، امکان تأمین نسبی اهداف دیگری را مانند حداقل‌سازی ریسک و حداقل‌سازی مصرف آب و کود به‌عنوان مؤلفه‌های اثرگذار بر پایداری سامانه‌های کشاورزی فراهم خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: مدیریت مصرف، پایداری، برنامه‌ریزی غیرخطی مصالحه‌ای فازی، منابع آب، کشاورزی

مقدمه:

از دهه‌ی ۱۹۸۰ آگاهی فزاینده‌ای در مورد لزوم کنترل میزان مصرف منابع، حفظ کیفیت محیط زیست و ارتقای سلامت اکوسیستم وجود داشته و از این‌رو مفهوم توسعه‌ی پایدار، نیروی محرکه‌ای در تحقیق و توسعه بوده است (Mermut and Eswaran, 2001). چالش پایداری کشاورزی در سال‌های اخیر با افزایش قابل توجه‌ی هزینه‌ی غذا و انرژی، تغییر اقلیم، کم‌یابی آب، تنزل کیفیت خدمات اکوسیستمی و تنوع زیستی، بحران مالی و افزایش مورد انتظار جمعیت شدیدتر شده است (Li *et al*., 2011). با این وجود، بسیاری از سیستم‌های کشاورزی اگرچه نوید منفعت در محصول را می‌دهند اما هنوز با هزینه‌های بالا و غیرقابل قبول زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی در حال گسترش هستند (Nolan *et al*., 2008).

امروزه بسیاری از منابع آب با کاهش کمیت و کیفیت آب که منجر به الگوهای ناپایدار کنونی استفاده از این منابع گردیده، در معرض بحران است (Nachbaur, 2007). این تهدید به‌ویژه در بخش کشاورزی و به‌طور اخص در نواحی نیمه خشک، به‌گونه‌ای جدی مطرح است (Roseta-Palma, 2003; Iyyapazham, 2007).

گزارش سازمان‌های متولی حوزه‌ی مدیریت آب حاکی از این است که کم‌یابی آب تمام بخش‌های اجتماعی و اقتصادی را تحت تأثیر قرار داده و پایداری بنیاد منابع طبیعی را با تهدید مواجه می‌کند (United Nations, 2006). همچنین براساس این گزارش‌ها، آلودگی آب و مسایل زیست‌محیطی به مسأله‌ی کم‌یابی آب اضافه شده که این امر سبب بروز مشکلات عدیده‌ای در فرایند توسعه‌ی اقتصادی و اجتماعی جوامع شده است (UNDP, 2006; UNESCO, 2006; OECD, 2009).

براساس آمارهای موجود، سهم بخش کشاورزی از مصرف آب در دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت که در معرض بحران قرار دارد، نیز بسیار قابل توجه بوده به طوری که بیش از ۹۸ درصد منابع آب مصرفی در این دشت صرف استفاده‌های کشاورزی می‌گردد (مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۸۸). حجم بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده‌ی آب در منطقه بیش از ظرفیت ذخایر این منابع است. این برداشت اضافی باعث افت سالانه ۰/۹۹ متر به طور میانگین در سال‌های اخیر در منطقه‌ی مورد مطالعه شده است (سازمان آب منطقه‌ای استان فارس، ۱۳۸۵؛ مهندسین مشاور فارساب صنعت، ۱۳۸۸).

از طرف دیگر، مطالعات موجود حاکی از این است که کشاورزان در دشت سیدان- فاروق نیز، در بسیاری موارد، نهاده‌های آلاینده‌ی کشاورزی مانند کودهای شیمیایی و سموم را که آثار مخربی بر محیط زیست و منابع آب دارند، بیش از حد بهینه به‌کار گرفته‌اند (فلاحی و چیذری، ۱۳۸۷). بررسی تغییرات زمانی کیفیت شیمیایی سفره‌ی آبرفتی محدوده‌ی سیدان- فاروق با توجه به مقادیر هدایت الکتریکی چاه‌های آبرفتی از روی نمودار کموگراف در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۴ (شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس، ۱۳۹۱) نشان می‌دهد که کیفیت آب‌های زیرزمینی در منطقه در طی زمان در حال تنزل بوده است.

مباحث و مطالعاتی که پیرامون موضوع آب به‌عنوان یکی از محوری‌ترین اجزای توسعه‌ی پایدار صورت پذیرفته، مدیریت ضعیف، ناکارامد و ناپایدار آب را مسئول مسائل پیش‌گفته در حوزه‌ی کمیت و کیفیت آب می‌داند (UNESCO, 2006; World Bank, 2009; Stratton, 2008; Angeles, 2011) به‌طوری که بسیاری از مشکلات، توسط مدیریت کارا و پایدار آب آبیاری قابل اداره شدن می‌باشد که این امر مستلزم حفاظت از منابع تأمین آب، کاهش آلودگی آب و افزایش درآمد خالص تولیدکننده می‌باشد (Schaible and Aillery, 2006; UNESCO, 2006; Muralidharan, 2008; OECD, 2009).

پایداری شامل مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است (Phillips and Andriantiatsaholiniaina, 2001; McFadden, 2007) و بر این اساس، مدیریت پایدار منابع آب بایستی سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را مورد ملاحظه قرار دهد (Liner, 2009).

براساس مطالب پیش‌گفته، منابع آبی منطقه‌ی مورد مطالعه هم از نظر کمی و هم به لحاظ کیفی به شدت در معرض تهدید بوده و منجر به الگوهای ناپایدار در حوزه‌ی مدیریت منابع آب شده است. از این‌رو، هدف مطالعه‌ی حاضر ارائه و ارزیابی راهبردهای مختلف تعیین الگوی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای در منطقه‌ی مورد مطالعه به گونه‌ای است که مؤلفه‌های چندگانه‌ی پایداری از جمله اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست-محیطی را تحت شرایط عدم اطمینان در راستای مدیریت پایدار کمی و کیفی منابع آب تأمین نماید.

پیشینه‌ی تحقیق:

تا کنون مطالعات متعددی در سطح بین‌المللی در حوزه‌ی مدیریت پایدار منابع آب صورت پذیرفته است.

فلینت (Flint, 2004) یک رهیافت شش مرحله‌ای را برای ایجاد و به‌کارگیری شاخصی به‌منظور ارزیابی پایداری منابع آب مطرح می‌کند. ایجاد دیدگاهی مفهومی از پایداری، طبقه‌بندی فرم‌های سرمایه‌ی طبیعی، اجتماعی و اقتصادی، توسعه‌ی اهداف قابل حصول مربوط، تعریف معیارهایی برای حفاظت از استفاده از آب، تعریف شاخص‌هایی برای سنجش پیشرفت و تحقیقات دیگر برای یادگیری اجتماعی و مدیریت تطبیقی، مراحل این رهیافت را تشکیل می‌دهد.

ایاپاژام (Iyyapazham, 2007) با ارائه‌ی یک مدل دینامیک یکپارچه در مقیاس مزرعه، اثر اقتصادی و زیست‌محیطی بهترین اقدامات مدیریتی[1] را بر پایداری کلی سیستم یکپارچه‌ی کشاورزی ارزیابی نمودند. وی همچنین با ارائه‌ی روشی که صریحاً روابط مکانی را در حوضه‌ی آبخیز مدنظر قرار می‌دهد، هزینه‌ها و منافع بالقوه‌ی برداشت آب را تحت استفاده‌ی تلفیقی از منابع آب زیرزمینی و سطحی مورد ارزیابی قرار داد. علاوه بر این، چارچوب سیاستی در سطح حوضه‌ی آبخیز به‌منظور شناسایی چهار نوع سیاست که اهداف تخلیه، تغذیه، آلودگی و به‌سازی را مدنظر قرار می‌دهد، ارائه شده است.

[1]- Best Management Practices (BMPs)

مینسیاردی و همکاران (Minciardi *et al*., 2007)، طی مطالعه‌ای به بررسی و طراحی مدل‌هایی برای کنترل و برنامه‌ریزی پایدار منابع آب زیرزمینی مبادرت نمودند. این محققان به‌منظور توضیح پویایی الگوی رفتار آب‌های زیرزمینی روش مدل‌سازی چندسلولی[۲] را به کار گرفته و معادلات تعادل آب را در دو حالت وجود و یا عدم وجود لایه‌های غیراشباع مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه، میزان بهینه‌ی بهره‌برداری از آب مورد نیاز برای آبیاری در فعالیت‌های کشاورزی در افق زمانی $t = ۱,۲,...,T$، به‌صورت درون‌زا و از طریق بهینه‌سازی تابع هدف مرکب شامل اهداف حداقل‌سازی هزینه‌ی اقتصادی، حداقل‌سازی تفاوت تقاضای آب و مقدار موجود آن، حداقل‌سازی سطح تراکم آلاینده‌ها در مخزن آبی زیرزمینی و حداقل‌سازی مجموع تراکم آلاینده‌ها در آب پمپاژ شده براورد می‌گردد. نتایج تحقیق بیانگر این بود که در بین سیاست‌های مختلف، سیاست‌های اقتصادی نقش مؤثری در کنترل بهره‌برداری و کیفیت منابع آب زیرزمینی دارد.

دوران (Doran, 2008) پایداری اقدامات و سیاست‌های مدیریت آب‌های زیرزمینی را در بخش کشاورزی هند مورد بررسی قرار داده است. نتایج این مطالعه حاکی از این است که سیاست‌های مورد بررسی تقریباً به‌طور یکنواخت به‌منظور حداکثرسازی سود و پتانسیل توسعه طراحی گردیده و به پایداری زیست‌محیطی و حفاظت بلندمدت آب‌های زیرزمینی توجهی نشده است. علاوه بر این، رهیافت‌هایی در مورد آب‌های زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است که در ضمن فراهم نمودن نتایج مثبت اجتماعی و زیست‌محیطی برای کشاورزان، رشد اقتصادی را ارتقا می‌بخشد.

وادا (Wada, 2010) طی مطالعه‌ای، مدیریت بهینه و پایدار آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی هاوایی را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش، بهینه‌سازی دینامیک برای استخراج کارای آب‌های زیرزمینی از دو سفره، ارتباط بین استخراج آب‌های زیرزمینی و حفاظت از حوضه‌ی آبخیز در چارچوبی یکپارچه و بازیافت آب در یک برنامه‌ی مدیریتی آب زیرزمینی مد نظ بود.

در داخل کشور نیز مطالعاتی مرتبط با موضوع این تحقیق صورت پذیرفته است.

عزیزی (۱۳۸۰) آثار عوامل مختلف اقتصادی، اجتماعی، فیزیکی، نهادی و نیز عوامل مدیریتی را بر میزان اتلاف آب کشاورزی تعیین نمود. نتایج این مطالعه نشان داد که کشاورزانی که در گروه سنی ۴۰ تا ۶۰ سال قرار دارند، محصول خود را بیمه نکرده‌اند، بر منبع آبی خود مالکیت نداشته و رفتار مصرفی همسایگان را در مصرف خود مؤثر دانسته‌اند، همواره در جهت ناپایداری آب کشاورزی عمل کرده‌اند. همچنین مشخص شده است که سیاست افزایش قیمت آب کشاورزی بر استفاده‌ی پایدار آن اثر نداشته است.

ترکمانی و عبدالهی عزت‌آبادی (۱۳۸۴) کاربرد برنامه‌ریزی مصالحه‌ای را در مدیریت منابع کم‌یاب آب زیرزمینی در شهرستان رفسنجان مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف برنامه، ایجاد مصالحه‌ای بین اهداف حداکثرسازی سود، حداکثرسازی سطح باغات پسته‌ی منطقه و حداقل‌سازی بهره‌برداری از منابع آب بوده است.

---

[۲]- Multicell modeling approach

بریم‌نژاد و صدرالاشرافی (۱۳۸۴) در مطالعه‌ی خود از معیار کمی پایداری در یک مدل بهینه‌یابی استفاده کرده، سپس این مدل را به‌صورت موردی برای شهرستان کرمان آزمون نموده و سرانجام، شاخص‌هایی برای توسعه‌ی پایدار محاسبه کرده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با ادامه‌ی روند فعلی استفاده از آب در کشور و همچنین با ادامه‌ی شیوه‌ی مدیریتی فعلی در امر آب در کشور در آینده‌ای نه چندان دور شاهد افزایش درصد نواحی تحت تنش آبی در کشور خواهیم بود.

نیکوئی و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ی خود روشی را برای تدوین الگوی بهینه‌ی زراعی مبتنی بر اهداف چندگانه در راستای مدیریت منابع آب حوضه‌ی آبریز زاینده رود درمقیاس مزرعه با استفاده از داده‌های تحقیقاتی، آماری و میدانی معرفی می‌کند. در این مطالعه، مدیریت مصرف آب در سطوح متفاوت شوری در حوضه‌ی مذکور مورد بررسی قرار گرفت.

امینی فسخودی و نوری (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به ارزیابی سیستمی پایداری در سیستم زراعی منطقه‌ی روستایی براآن جنوبی در شرق شهر اصفهان و تعیین مناسب‌ترین الگوی کشت متناسب با آن پرداختند. به‌منظور تلفیق ابعاد سه‌گانه‌ی محیطی، اقتصادی و اجتماعی، دو معیار نسبی حصول بیش‌ترین عایدی اقتصادی و ایجاد بیش‌ترین فرصت‌های اشتغال به‌ازای هر واحد مصرف آب کشاورزی، به‌عنوان شاخص‌هایی برای پایداری سیستم تعریف شدند.

چنان‌که گفته شد، مقوله‌ی مهم پایداری، فرایندی چند بعدی بوده که شامل جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است. این در حالی است که مطالعات پیشین در حوزه‌ی مدیریت آب به‌ویژه در داخل کشور عمدتاً معطوف به چنین رویکردی نبوده و از این‌رو فاقد نگرش جامع و اصولی به‌مقوله‌ی مدیریت پایدار آب که فرایندی چندبعدی شناخته می‌شود، بوده است. چنین رویکردی به مثابه نادیده گرفتن برخی اجزای ماهوی یک فرایند و نهایتاً ناکارایی نتایج ارائه شده ناشی از چنین نگرشی خواهد بود، چراکه بررسی دقیق و کارای یک سیستم عملاً مستلزم ملاحظه‌ی تمامی ابعاد سیستم است. در منطقه‌ی تحت بررسی این تحقیق نیز تا کنون مطالعه‌ای در خصوص مدیریت پایدار منابع آب صورت نپذیرفته است. بر این اساس، پژوهش حاضر با در نظر گرفتن ابعاد مختلف پایداری، درصدد ارائه‌ی راهبردهای مختلف مدیریتی در حوزه‌ی مدیریت منابع آب کشاورزی در منطقه‌ی مورد مطالعه است.

روش‌شناسی:

چنان‌که گفته شد، مطالعه‌ی حاضر در نظر دارد اهداف مختلف پایداری از جمله اهداف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را در جهت مدیریت پایدار کمی و کیفی منابع آب کشاورزی در منطقه تأمین نماید. این اهداف شامل حداکثر کردن سود در راستای افزایش رفاه اقتصادی، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی در جهت حفاظت از محیط زیست، حداقل کردن مصرف آب در جهت حرکت به سوی توسعه‌ی پایدار، حداقل کردن نوسانات درآمدی در راستای کاهش ریسک تولید و حداکثر کردن سطح اشتغال نیروی کار در راستای افزایش

منافع اجتماعی می‌باشد. این اهداف با درنظر گرفتن محدودیت‌های موجود در قالب یک الگوی مناسب قابل دست‌یابی است.

در الگوی مورد نظر، عملکرد محصولات از طریق رابطه‌ی (۱) به‌دست می‌آید (Muralidharan, 2008):

$$y_{ij} = \frac{\bar{y}_{ij}}{1 + \varphi_{1ij}\left(\frac{w_{ij}}{w75_{ij}}\right)^{\varphi_{2ij}}} \qquad (۱)$$

که $\bar{y}_{ij}$ حداکثر عملکرد محصول j تحت سیستم آبیاری i زمانی که آب، عامل محدودکننده نباشد، $w75_{ij}$ آب مورد استفاده در آبیاری زمانی که عمکرد ٪۷۵ است، w_{ij} کل آب استفاده شده در آبیاری محصول j تحت سیستم آبیاری i و φ_{1ij} و φ_{2ij} پارامترهای معین برای محصول و سیستم آبیاری است.

همچنین، براساس مطالعات پیشین (نیکوئی و همکاران، ۱۳۸۹)، رابطه‌ی بین میزان کود اوره‌ی مصرفی با میزان مشخص نیتروژن و عملکرد محصولات براساس یک مدل غیرخطی به شکل زیر است:

$$N_{ij} = \left(\frac{Y_{ij}}{A_{ij}}\right)^{1/b_{ij}} \qquad (۲)$$

که در آن، N_{ij} میزان کود اوره‌ی لازم برای تولید محصول j تحت سیستم آبیاری i، Y_{ij} عملکرد در هکتار محصول j تحت سیستم آبیاری i و A_{ij} و b_{ij} ضرایب معادله می‌باشد. بر این اساس، واحد متغیر تصمیم محیط زیست، وزن کود اوره‌ی مصرفی در هکتار است که توسط رابطه‌ی (۲)، براورد می‌شود. علاوه بر این، محدود ساختن میزان سموم مصرفی به‌عنوان یکی دیگر از شاخص‌های مهم اثرگذار بر محیط زیست مدنظر قرار خواهد گرفت.

چنان‌که گفته شد، یکی از اهداف مورد نظر در این مدل، حداقل کردن ریسک تولید است. در شرایطی که انتخاب نوع و سطح چند رشته فعالیت مشخص در نظر باشد، ریسکی بودن این فعالیت‌ها نسبت به‌هم می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تصمیم‌گیری و انتخاب فعالیت‌های توأم با حداقل نوسانات درآمدی مدنظر قرار گیرد (نیکوئی و همکاران، ۱۳۸۹). در این مطالعه به‌منظور محاسبه‌ی ضریب ریسکی بودن محصولات از شیوه‌ی مورد استفاده در تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی[۳] برای وزن‌دهی به معیارها در درخت سلسله مراتب استفاده خواهد شد (آذر و فرجی، ۱۳۸۷). پس از محاسبه‌ی این ضریب برای هر محصول، ریسک از دست دادن درآمد مدل تصمیم به‌صورت رابطه‌ی (۳) محاسبه خواهد شد:

$$GMR = \sum_i \sum_j GM_{ij} X_{ij} \sigma_{ij} \qquad (۳)$$ که در

آن، GMR ریسک بازده برنامه‌ای مدل تصمیم، GM_{ij} بازده برنامه‌ای محصول j تحت سیستم آبیاری i، X_{ij}

[۳]- Analytic Hierarchy Process: AHP

سطح فعالیت محصول j تحت سیستم آبیاری i و σ_{ij} ضریب ریسک درآمدی محصول j تحت سیستم آبیاری i می‌باشد.

در پژوهش حاضر، مسافت مختلط آرمانی[۴] تابع عضویت اهداف یادشده، با استفاده از رابطه‌ی (۴) که یک تابع غیرخطی است، تعیین خواهد شد (Jones and Barnes, 2000):

$$L=\left[\sum_{n=1}^{N} w_n \lambda_n^p\right]^{\frac{1}{p}} \qquad (۴)$$

در رابطه‌ی فوق $w_n \geq 0$ ، $\sum_{n=1}^{N} w_n = 1$ ، w_n وزن هدف n و P عامل تعادلی اهداف است. این عامل به نوعی درجه‌ی جانشینی بین اهداف را مشخص می‌کند. در فرایند تصمیم‌گیری، تأمین تابع هدف کلی آرمانی حاصل از رابطه‌ی (۴)، در چارچوب قیود و محدودیت‌های حاکم بر این فضا صورت می‌پذیرد.

در این مطالعه به‌دلیل غیرخطی بودن برخی محدودیت‌ها (عملکرد و توصیه‌ی کودی) و هدف (تابع مسافت مختلط فازی)، از روش برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی[۵] استفاده می‌شود. همچنین با توجه به فازی‌سازی اهداف مدل و تلاش در جهت تحقق یک آرمان کلی براساس حداکثرکردن مقدار تابع مسافت مختلط آرمانی آن‌ها، ساختار مدل تصمیم‌گیری به شکل یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی مصالحه‌ای فازی[۶] که امکان بهینه‌سازی چند هدف را به‌طور توأم، مشروط بر محدودیت منابع فراهم می‌نماید، طراحی خواهد شد. مجموعه‌ی روابط زیر، فرم کلی مدل مورد استفاده را نشان می‌دهد:

$$Max: L=\left[\sum_{n=1}^{N} w_n \lambda_n^p\right]^{\frac{1}{p}} \qquad (۵)$$

Subject to:

When Z_n^{Min} is best $\qquad \lambda_n (Z_n^{Max} - Z_n^{Min}) + Z_n(x) \leq Z_n^{Max} \qquad (۶)$

When Z_n^{Max} is best $\qquad Z_n(x) - \lambda_n (Z_n^{Max} - Z_n^{Min}) \geq Z_n^{Min} \qquad (۷)$

$$y_{ij}=\frac{\bar{y}_{ij}}{1+\varphi_{1ij}\left(\frac{w_{ij}}{w75_{ij}}\right)^{\varphi_{2ij}}} \qquad (۸)$$

$$N_{ij}=\left(\frac{Y_{ij}}{A_{ij}}\right)^{1/b_{ij}} \qquad (۹)$$

$$A_{hij} x_{ij} \leq b_h \qquad (۱۰)$$

$$x_{ij} \geq 0 \qquad (۱۱)$$

---

[۴]- Fuzzy composite distance
[۵]- Non-Linear Programming: NLP
[۶]- Fuzzy Compromise Non-Linear Programming: FCNLP

$$0 \le \lambda \le 1 \qquad (۱۲)$$

در این روابط، $Z_n^{\min}$ و $Z_n^{\max}$ به‌ترتیب حداقل و حداکثر هدف nام، $Z_n(x^*)$ مقدار هدف بهینه و x^* جواب بهینه است و اختلاف $Z_n^{\min}$ و $Z_n^{\max}$ را با عنوان حد تحمل تعریف می‌کنند. همچنین λ_n مقدار آرمانی هدف nام، A_{hij} ضریب فنی jامین محصول تحت سیستم آبیاری i برای hامین محدودیت و b_h، hامین محدودیت مدل می‌باشد.

شایان ذکر است که وزن نسبی هر یک از اهداف، با استفاده از تکنیک فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به‌دست آمد. بدین منظور، ماتریس مقایسات زوجی[۷] برای مقایسه‌ی دو به دوی اهداف تشکیل شد به گونه‌ای که عنصر $a_{nn'}$ ماتریس، معرف قضاوت شخصی تصمیم‌گیرنده در مورد مقایسه‌ی زوجی مابین هدف n ام نسبت به هدف n' می‌باشد. سپس به منظور ترکیب نظرات تمامی اعضای گروه K نفره، از میانگین هندسی استفاده شد و عناصر متناظر برای ماتریس مقایسات زوجی گروهی به صورت زیر به دست آمد.

$$\bar{a}_{nn'} = \left(\prod_{k=1}^{K} a_{nn'k}\right)^{\frac{1}{K}} \qquad (۱۳)$$

در مرحله‌ی بعد باید ماتریس گروه را بی‌مقیاس، نرمالایز یا بهنجار نمود. برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس مقایسات زوجی در این روش هر یک از مؤلفه‌های ماتریس تصمیم‌گیری[۸] بر مجموع مؤلفه‌های ستون مربوطه تقسیم می‌گردد:

$$r_{nn'} = \frac{\bar{a}_{nn'}}{\sum_{n=1}^{N} \bar{a}_{nn'}} \qquad n' = (1,2,\ldots,N) \qquad (۱۴)$$

پس از تشکیل ماتریس بهنجار شده، میانگین هر سطر این جدول به عنوان وزن نسبی هر یک از اهداف مورد نظر به دست آمد.

نظر به همگن نبودن مقیاس فعالیت بهره‌برداران در منطقه، به‌منظور ارائه‌ی الگوی برنامه‌ریزی مطلوب بایستی در ابتدا بهره‌برداران نماینده براساس مقیاس فعالیت به گروه‌های همگن تقسیم شوند. یکی از روش‌های تعیین گروه‌های همگن، استفاده از تحلیل خوشه‌ای[۹] است. در مطالعه‌ی حاضر از روش تحلیل خوشه‌ای دومرحله‌ای[۱۰] استفاده شده است. در این رهیافت ابتدا گروه‌ها مشخص و سپس با استفاده از روش k- میانگین گروه‌بندی می‌شوند. این روش برای دسته‌بندی مشاهدات، ابتدا هر قلم را به خوشه‌ای نسبت می‌دهد که دارای نزدیک‌ترین فاصله به مشاهده‌ی مرکزی (میانگین) است. سپس فاصله‌ی اقلیدسی هر مشاهده را از مرکز دسته‌ها

۷- Matrix of paired comparisons
۸- Decision matrix
۹- Cluster analysis
۱۰- Two-step cluster analysis

محاسبه و آن را دوباره به نزدیک‌ترین دسته تخصیص می‌دهد. فاصله‌ی اقلیدسی بین دو مشاهده نیز به شکل زیر است:

$$d(x,y) = \sqrt{(x-y)' A (x-y)} \quad (۱۵)$$

که در آن $A= S^{-1}$ و S ماتریس واریانس‌ها و کواریانس‌های نمونه است. مزیت این روش در آن است که بدون نیاز به اطلاع از تعداد خوشه‌های قابل تقسیم می‌توان مشاهدات را تقسیم‌بندی نمود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸).

داده‌های مورد نیاز مطالعه‌ی حاضر مربوط به سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ بوده که از سازمان‌های ذیربط و نیز تکمیل تعداد ۱۰۶ پرسشنامه‌ی توزیع شده بین کشاورزان دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت به روش نمونه‌گیری خوشه‌ای دومرحله‌ای[۱۱] به دست آمد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها:

در گام نخست لازم است ترجیحات تصمیم‌گیرنده در مورد اهداف رقیب مشخص گردد. جدول ۱ وزن نسبی اهداف مورد نظر را براساس نتایج تکنیک AHP نشان می‌دهد.

جدول ۱- وزن نسبی اهداف مورد نظر در الگو

هدف	حداکثر سازی بازده برنامه‌ای	حداقل سازی ریسک	حداقل‌سازی مصرف آب	حداقل‌سازی مصرف کود	حداکثرسازی اشتغال
وزن	۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۱

به‌منظور ارائه‌ی الگوی برنامه‌ریزی مطلوب و با به‌کارگیری روش تحلیل خوشه‌ای دومرحله‌ای، بهره‌برداران نماینده براساس مقیاس فعالیت به دو گروه همگن تقسیم شدند. در گروه اول، مزارع کم‌تر از چهار هکتار و در گروه دوم مزارع بیش‌تر از چهار هکتار قرار گرفت. نظر به اینکه اکثر بهره‌برداران در منطقه میزان زمین کمی دارا هستند و شرایط آن‌ها به گروه اول شباهت بیش‌تری داشته، لذا در پژوهش حاضر تنها این گروه را مد نظر قرار داده و برای این گروه، یک مزرعه‌ی نماینده مشخص گردید. جدول ۲ سطح زیرکشت و سهم هر محصول را از سطح زیرکشت تحت سیستم‌های مختلف آبیاری برای مزرعه‌ی نماینده در الگوی فعلی بهره‌برداران نشان می‌دهد.

جدول ۲- سطح و سهم زیرکشت محصول تحت سیستم‌های مختلف آبیاری برای مزرعه‌ی نماینده‌ی در الگوی فعلی

محصول	سیستم آبیاری	سطح زیرکشت (هکتار)	سهم سطح زیرکشت (درصد)	محصول	سیستم آبیاری	سطح زیرکشت (هکتار)	سهم سطح زیرکشت (درصد)
گندم	سنتی	۱/۷	۴۵/۲	ذرت علوفه‌ای	سنتی	۰/۴۵	۱۲

[۱۱]- Two-stage cluster sampling

گندم	بارانی	۰/۲۳	۶/۱	ذرت علوفه‌ای	بارانی	۰/۰۵	۱/۳
جو	سنتی	۰/۵	۱۳/۳	ذرت علوفه‌ای	نواری	۰/۰۳	۰/۸
جو	بارانی	۰/۰۵	۱/۳	برنج	سنتی	۰/۱۶	۴/۳
ذرت دانه‌ای	سنتی	۰/۱۵	۴	گوجه‌فرنگی	سنتی	۰/۱۸	۴/۸
ذرت دانه‌ای	بارانی	۰/۰۴	۱/۱	گوجه‌فرنگی	نواری	۰/۲	۵/۳
ذرت دانه‌ای	نواری	۰/۰۲	۰/۵	جمع کل الگو		۳/۷۶	۱۰۰

شایان ذکر است که الگوی فعلی بهره‌بردان در گروه مورد نظر دارای بازده ناخالصی معادل **۴۹۱۶۴۵۵۸** ریال و میزان آب مصرفی برابر **۴۹۹/۷** سانتی‌متر در هکتار معادل با **۴۹۹۷۰** مترمکعب است.

در ادامه، راهبردهای مختلف جهت تعیین الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای طی دو سناریو ارائه خواهد شد. در سناریوی اول، الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای، تنها با هدف متعارف حداکثرسازی بازده ناخالص مدنظر قرار می‌گیرد. اما همان‌گونه که بحث شد، مدیریت پایدار منابع آب با اهداف چندگانه روبه‌رو است لذا در راهبرد دوم، حداکثر کردن امکان مصالحه‌ی بین اهداف مختلف پیش‌گفته مورد تأکید خواهد بود.

در راهبرد نخست، حداکثر کردن سود از طریق تغییر در الگوی فعلی کشت و توصیه به رعایت عمق آبیاری و مقدار کود براساس خروجی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در فضای محدودیت‌های حاکم مدنظر خواهد بود. خروجی مدل شامل سطح زیرکشت، عملکرد، عمق آبیاری و کود مورد توصیه‌ی مدل برای محصولات مختلف تحت سیستم‌های مختلف آبیاری به‌همراه بازده ناخالص حاصل از الگو و نیز میزان آب مصرفی مورد نیاز برای مزرعه‌ی نماینده، در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای برای مزرعه‌ی نماینده تحت راهبرد متعارف حداکثرسازی سود

محصول	سیستم آبیاری	سطح زیرکشت (هکتار)	عملکرد (تن)	عمق آبیاری (سانتی‌متر)	توصیه‌ی کودی (کیلوگرم)
گندم	سنتی	۱/۹۱	۴/۹۶	۹۳	۲۹۶
گندم	بارانی	۰/۴	۵	۷۷	۱۵۸
جو	سنتی	۰	۰	۰	۰
جو	بارانی	۰	۰	۰	۰
ذرت دانه‌ای	سنتی	۰/۴۲	۶/۸۳	۱۶۵	۶۶۹

ذرت دانه‌ای	بارانی	۰/۱۸	۶/۶	۱۴۰	۴۳۵
ذرت دانه‌ای	نواری	۰	۰	۰	۰
ذرت علوفه‌ای	سنتی	۰/۳۹	۵۳	۱۶۴	۶۸۰
ذرت علوفه‌ای	بارانی	۰/۲	۵۲/۴۵	۱۳۹	۴۲۹
ذرت علوفه‌ای	نواری	۰	۰	۰	۰
برنج	سنتی	۰/۲۵	۲/۸	۲۴۵	۳۵۰
گوجه‌فرنگی	سنتی	۰	۰	۰	۰
گوجه‌فرنگی	نواری	۰	۰	۰	۰
جمع کل الگو		۳/۷۵	–	۴۵۵/۹۴	۱۴۲۶/۳۴
		بازده ناخالص (ریال)			
		۵۶۹۹۸۴۵۲			

رعایت الگوی کشت ارائه شده در جدول ۳ متضمن حداکثر شدن سود ناخالص کشاورز خواهد بود. چنان‌که از این جدول برمی‌آید، محصول جو و گوجه‌فرنگی از الگوی حداکثر کننده‌ی سود حذف شده‌اند. همچنین محصولات ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای تحت سیستم‌های آبیاری نواری نیز از الگوی کشت حذف شده‌اند. دلیل حذف محصولات یاد شده در الگوی حداکثرسازی سود را بایستی به سودآوری کم این محصولات در سال مورد نظر و نیز به هزینه‌های بالای سیستم‌های آبیاری مدرن منتسب نمود. مقایسه‌ی میزان آب مصرفی در الگوی حداکثرسازی سود در مزرعه‌ی نماینده با الگوی فعلی کشت در این مزارع حاکی از این است که با میزان آب کم‌تری (حدود ۹ درصد) و با تغییر در الگوی رایج کشت، امکان حصول سود بیش‌تر (به میزان حدود ۱۶ درصد) برای کشاورز وجود دارد. این امر به‌نوبه‌ی خود نشان‌دهنده‌ی مدیریت ناکارامد مصرف آب در این مزارع می‌باشد.

اما همان‌گونه که تأکید شد، تصمیم‌گیری در حوزه‌ی مدیریت پایدار منابع آب با اهداف متعددی روبه‌رو است لذا در سناریوی دوم، حداکثر کردن امکان مصالحه‌ی بین اهداف مختلف مدنظر پژوهش مورد تأکید خواهد بود. در این راهبرد، اهداف متعدد مورد نظر شامل حداکثر کردن سود در راستای افزایش رفاه اقتصادی، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی در جهت حفاظت از محیط زیست، حداقل کردن مصرف آب در جهت حرکت به‌سوی توسعه‌ی پایدار، حداقل کردن نوسانات درآمدی در راستای کاهش ریسک تولید و حداکثر کردن سطح اشتغال نیروی کار در راستای افزایش منافع اجتماعی می‌باشد. به‌طور خاص، راهبرد مورد نظر

در این سناریو، حداکثر کردن امکان مصالحه‌ی بین اهداف یاد شده از طریق تغییر الگوی کشت و توصیه به رعایت عمق آبیاری و مقدار کود براساس خروجی‌های مدل FCNLP می‌باشد. جدول ۴ خروجی نتایج حاصل از الگوی یاد شده را از جمله سطح زیرکشت، عملکرد و توصیه‌ی نهاده‌ای برای محصولات مختلف تحت سیستم‌های مختلف آبیاری و نیز مقدار تحقق یافته‌ی اهداف مورد نظر را به‌همراه ضریب λ_n که معرف درصد تحقق هدف nام است، برای مزرعه‌ی نماینده نشان می‌دهد.

جدول ۴- الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای برای مزرعه‌ی نماینده تحت راهبرد حداکثرسازی امکان مصالحه‌ی بین اهداف متعدد

محصول	سیستم آبیاری	سطح زیرکشت (هکتار)	عملکرد (تن)	عمق آبیاری (سانتی‌متر)	توصیه‌ی کودی (کیلوگرم)
گندم	سنتی	۱/۷	۴/۸۱	۸۸	۲۷۱
گندم	بارانی	۰/۶۳	۴/۹۳	۷۳	۱۵۰
جو	سنتی	۰	۰	۰	۰
جو	بارانی	۰/۲	۳/۱	۵۹	۱۰۲
ذرت دانه‌ای	سنتی	۰/۱۷	۶/۵	۱۶۰	۶۱۸
ذرت دانه‌ای	بارانی	۰/۱۹	۶/۶۳	۱۳۵	۴۲۰
ذرت دانه‌ای	نواری	۰/۲	۶/۴۱	۱۱۴	۳۴۷
ذرت علوفه‌ای	سنتی	۰/۱۷	۵۱/۸۹	۱۵۸	۶۵۰
ذرت علوفه‌ای	بارانی	۰/۱۷	۵۱/۵	۱۳۲	۴۱۱
ذرت علوفه‌ای	نواری	۰/۲۲	۵۰/۷	۱۱۹	۳۴۴
برنج	سنتی	۰/۰۹	۲/۶۵	۲۱۲	۳۲۹
گوجه‌فرنگی	سنتی	۰	۰	۰	۰
گوجه‌فرنگی	نواری	۰	۰	۰	۰
هدف			مقدار تحقق یافته	λ_n	
بازده برنامه‌ای (ریال)			۵۱۴۳۲۶۴۸	۰/۰۰۰	
ریسک درآمدی (ریال)			۵۲۳۴۵۱۷	۰/۸۸۴	
مصرف آب (سانتی‌متر)			۳۷۷/۶	۰/۷۹۹	
مصرف کود (کیلوگرم)			۱۱۱۵/۵۲	۰/۵۲۸	
اشتغال (نفر روزکار)			۹۹	۰/۰۰۰	
جمع وزنی				۰/۴۷۸	

داده‌های جدول ۴ حاکی از این است که چنان‌چه در مزرعه‌ی نماینده، راهبرد حداکثرسازی امکان مصالحه‌ی بین اهداف پنج‌گانه‌ی مورد نظر دنبال شود بایستی از الگوی کشت مورد نظر در این جدول پیروی گردد. همان‌طور

که از الگوی ارائه شده در جدول برمی‌آید، محصول جو تحت سیستم سنتی و محصول گوجه‌فرنگی به‌طور کلی از الگو حذف شده‌اند. حذف این محصولات از الگو، به‌ویژه حذف محصول گوجه‌فرنگی دور از انتظار نیست. زیرا محصول گوجه‌فرنگی علاوه بر سودآوری پایین در سال مورد نظر (همان‌گونه که در الگوی حداکثرسازی سود نیز حذف شده بود)، نیاز آبی بالایی نیز داشته و در تحقق هدف حداقل‌سازی مصرف آب نیز موفق نبوده است. همچنین به‌دلیل تعیین قیمت این محصول در بازار آزاد، ریسک درآمدی زیادی بر محصول حاکم بوده و از این رو هدف حداقل‌سازی ریسک نیز به‌خوبی تحقق نیافته است. از طرف دیگر مصرف بیش از حد کود شیمیایی در تولید گوجه‌فرنگی مانعی برای تحقق هدف حداقل‌سازی مصرف کود شیمیایی بوده است. مجموع سطح زیرکشت حاصل از الگو برای مزرعه‌ی نماینده معادل ۳/۷۴ هکتار بوده که بین محصولات مختلف به شیوه‌ی ارائه شده در جدول ۴ توزیع شده است. همچنین با رعایت عمق آبیاری و میزان مصرف کود قابل توصیه برای محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای، ذرت علوفه‌ای و برنج تحت سیستم‌های مختلف آبیاری انتظار می‌رود عملکرد مورد نظر برای هر یک از این محصولات تحت سیستم‌های مختلف آبیاری در این گروه از مزارع حاصل گردد.

قسمت پایین جدول ۴، مقادیر تحقق یافته‌ی هر یک از اهداف پنج‌گانه‌ی تحت تعقیب و ضریب λ_n را که بیانگر درصد تحقق هدف nام است، نشان می‌دهد. براساس داده‌های جدول، بازده برنامه‌ای حاصل از الگو برابر با ۵۱۴۳۲۶۴۸ ریال با ریسکی معادل ۵۲۳۴۵۱۷ ریال خواهد بود. همچنین در این الگو به میزان ۳۷۷/۶ سانتی‌متر آب مورد نیاز است. مقایسه‌ی مقادیر بازده ناخالص و آب مصرفی در این الگو و الگوی رایج کشت در منطقه حاکی از این است که بازده ناخالص در این الگو به میزان ۵ درصد افزایش یافته و از طرف دیگر امکان کاهش مصرف آب در این الگو به میزان ۲۴ درصد فراهم است که به‌نوبه‌ی خود حاکی از ناکارامدی مدیریت مصرف آب در مزارع این گروه است. میزان مصرف کود در الگوی پیشنهادی برابر ۱۱۱۵/۵۲ کیلوگرم و اشتغال نیز معادل با ۹۹ نفر روزکار خواهد بود. ضریب λ_n حاکی از این واقعیت است که هدف حداقل‌سازی ریسک در این الگو به میزان ۸۸/۴ درصد تحقق یافته است. این نتیجه با مقایسه‌ی الگوی کشت حاصل از این مدل با الگوی کشت فعلی بهره‌برداران قابل توجیه است به‌گونه‌ای که سطح زیرکشت محصولات با قیمت تضمینی و ریسک کم‌تر مانند گندم و ذرت دانه‌ای در الگوی پیشنهادی توسط مدل نسبت به الگوی رایج کشت بهره‌برداران بیش‌تر و در عوض سطح زیرکشت محصولاتی با ریسک درآمدی بالا مانند گوجه‌فرنگی کم‌تر بوده است. مقادیر ضریب λ_n در خصوص هدف حداقل‌سازی مصرف آب حاکی از این است که الگوی پیشنهادی، این هدف را به میزان ۷۹/۹ درصد محقق می‌کند. توصیه‌ی مدل به استفاده‌ی بیش‌تر از سیستم‌های نوین آبیاری در مقایسه با الگوی رایج کشت دلیل اصلی میزان تحقق مناسب هدف کاهش مصرف آب در الگو بوده و همان‌طور که اشاره شد امکان کاهش مصرف آب را به میزان ۲۴ درصد فراهم خواهد نمود. همچنین، ضریب λ_n در خصوص هدف حداقل‌سازی مصرف کود حاکی از تحقق این هدف به میزان ۵۲/۸ درصد می‌باشد. در حالی که مقادیر متناظر

برای اهداف حداکثرسازی سود و حداکثرسازی اشتغال حاکی از این است که این اهداف تحقق نیافته و در شرایط بحرانی خود قرار دارند. بنابراین با توجه به تناقض میان برخی اهداف و قیدهایی که در این خصوص مدنظر بوده، امکان تحقق هر یک از اهداف مورد نظر تا سطح آرمانی میسر نمی‌باشد. با این حال، به حداکثر رساندن تابع مسافت مختلط آرمانی (λ) برنامه براساس وزن تعیین شده برای اهداف صورت می‌پذیرد که معادل ۰/۴۷۸ می‌باشد. بر این اساس می‌توان اذعان نمود که با اجرای الگوی پیشنهادی در مزرعه‌ی نماینده، به‌طور کلی به میزان ۴۷/۸ درصد به سطح آرمانی تأمین اهداف برنامه نزدیک خواهیم بود.

در نهایت، مقایسه‌ی راهبردهای حداکثرسازی سود و حداکثرسازی امکان مصالحه‌ی بین اهداف نشان می‌دهد که اگرچه در راهبرد دوم، میزان سود حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد اما در راهبرد اهداف دیگری مانند حداقل‌سازی ریسک، حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل‌سازی مصرف کود به طور نسبی تأمین شده است.

بحث و نتیجه:

پژوهش حاضر با هدف مدیریت پایدار منابع آب کشاورزی در دشت سیدان- فاروق شهرستان مرودشت، طی دو سناریو، راهبردهای مختلفی را جهت تعیین الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای ارائه نمود. در سناریوی نخست، الگوی بهینه‌ی کشت و توصیه‌ی نهاده‌ای تنها با هدف متعارف حداکثرسازی بازده ناخالص مدنظر قرار گرفت. در این راهبرد، حداکثر کردن سود از طریق تغییر در الگوی فعلی کشت و توصیه به رعایت عمق آبیاری و مقدار کود براساس خروجی مدل برنامه‌ریزی غیرخطی در فضای محدودیت‌های حاکم محقق شد. این راهبرد امکان حصول سود بیش‌تری را با میزان مصرف آب کم‌تر نسبت به الگوی فعلی کشت فراهم نمود.

اما نظر به این‌که مدیریت پایدار منابع آب متکی به اهداف چندگانه است لذا در راهبرد دوم، حداکثر کردن امکان مصالحه‌ی بین اهداف مختلف مدنظر پژوهش مورد تأکید قرار گرفت. در این راهبرد، اهداف متعدد مورد نظر شامل حداکثر کردن سود در راستای افزایش رفاه اقتصادی، حداقل کردن مصرف کود شیمیایی در جهت حفاظت از محیط زیست، حداقل کردن مصرف آب در جهت حرکت به‌سوی توسعه‌ی پایدار، حداقل کردن نوسانات درآمدی در راستای کاهش ریسک تولید و حداکثر کردن سطح اشتغال نیروی کار در راستای افزایش منافع اجتماعی می‌باشد. به‌طور خاص، راهبرد مورد نظر در این سناریو، حداکثر کردن امکان مصالحه‌ی بین اهداف یاد شده از طریق تغییر الگوی کشت و توصیه به رعایت عمق آبیاری و مقدار کود براساس خروجی‌های مدل FCNLP بود.

مقایسه‌ی نتایج راهبرد متعارف حداکثرسازی سود با راهبرد حداکثرسازی امکان مصالحه‌ی بین اهداف نشان می‌دهد که اگرچه راهبرد دوم، منافع اقتصادی کم‌تری به دنبال دارد اما این راهبرد، امکان تأمین سطوح قابل قبولی از اهداف دیگری را مانند حداقل‌سازی ریسک، حداقل‌سازی مصرف آب و حداقل‌سازی مصرف کود فراهم می‌سازد که همگی این اهداف نقش مهم و تعیین کننده‌ای در پایداری منابع آب منطقه ایفا می‌کنند. بر این اساس پیشنهاد می‌شود نتایج این راهبرد به منظور تحقق اهداف مدیریت پایدار منابع آب در سطح منطقه اجرا

گردد. همچنین براساس نتایج به‌دست آمده، توسعه‌ی سیستم‌های نوین آبیاری، استفاده از کودهای آلی به‌جای کودهای شیمیایی یا دست کم به‌صورت توأمان و نیز بهره‌گیری از مکانیسم‌های ضدریسک مانند پوشش‌های بیمه‌ای در سطح منطقه به منظور نیل به اهداف پایداری، قابل توصیه است.

منابع:

۱- آذر، ع و فرجی، ح (۱۳۸۷)، "علم مدیریت فازی"، چاپ دوم، مؤسسه‌ی کتاب مهربان نشر، تهران.

۲-امینی‌فسخودی، ع و نوری، س (۱۳۹۰)، "ارزیابی پایداری و تعیین الگوی کشت سیستم‌های زراعی براساس بهینه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب و خاک با استفاده از الگوهای غیرخطی برنامه‌ریزی ریاضی"، مجله‌ی علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۵(۵۵): ۱۰۹-۹۹.

۳-بریم‌نژاد، و و صدرالاشرافی، س م (۱۳۸۴)، "مدل‌بندی پایداری در منابع آب با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره"، علوم کشاورزی، ۱۱(۴): ۱۴-۱.

۴-ترکمانی، ج و عبدالهی عزت‌آبادی، م (۱۳۸۴)، "کاربرد برنامه‌ریزی مصالحه‌ای در مدیریت منابع کم‌یاب: مطالعه‌ی موردی منابع آب زیرزمینی در شهرستان رفسنجان"، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳): ۵۴-۴۳.

۵-سازمان آب منطقه‌ای استان فارس (۱۳۸۵)، گزارش منتشر نشده، شیراز.

۶-شرکت سهامی آب منطقه‌ای فارس (۱۳۹۱)، آماربرداری سراسری از منابع و مصارف آب‌های سطحی و زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی زیردست‌سد سیوند (حوضه‌ی بختگان) (گزارش محدوده‌ی مطالعاتی سیدان- فاروق).

۷-عزیزی، ج (۱۳۸۰)، "پایداری آب کشاورزی"، اقتصاد کشاورزی و توسعه، ۳۶: ۱۳۶-۱۱۳.

۸-فلاحی، ا و چیذری، ا ح (۱۳۸۷)، "کاربرد تحلیل نقطه‌ی سربه‌سر در مدیریت کشاورزی مزارع گندم آبی شهرستان مرودشت"، مجله کشاورزی، ۱۰(۱): ۱۲۲-۱۱۱.

۹-محمدی، ح، نقشینه‌فرد، م، بوستانی، ف و پیش‌بین، س (۱۳۸۸)، "کاربرد برنامه‌ریزی چندهدف فازی در بهینه‌سازی تولیدات زراعی در استان فارس: مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی مرودشت"، مجله‌ی دانش نوین کشاورزی، ۵(۱۵): ۱۳۳-۱۱۵.

۱۰-مهندسین مشاور فارساب صنعت (۱۳۸۸)، مطالعات بهنگام‌سازی اطلس منابع آب حوضه‌ی آبریز دریاچه‌های طشک- بختگان و مهارلو (گزارش بیلان محدوده‌ی مطالعاتی سیدان- فاروق).

۱۱-نیکویی، ع ر، ترکمانی، ج و مأمن‌پوش، ع ر (۱۳۸۹)، "مدیریت مصرف آب در سطوح متفاوت شوری در راستای تحقق اهداف چندگانه‌ی کشاورزان حوضه‌ی زاینده رود"، آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۱): ۱۵۵-۱۴۳.

12-Angeles, G. L. G. (2011), Sustainable water management in Ciudad Juarez, Ph.D dissertation, Arizona State University.

13-Doran, C. D. (2008), Agricultural groundwater resource management in India: how sustainable development of groundwater resources through policy action can reverse the trend of groundwater depletion, M. A. thesis in human security and peacebuilding, Royal Roads University.

14-Flint, R. W. (2004), "The sustainable development of water resources", Universities Council on Water Resources, Water Resources Update, 127: 41-51.

15-Iyyapazham, S. (2007), Managing water resources in agriculture and watersheds: modeling using GIS and dynamic simulation, Ph.D dissertation in natural resources conservation, the University of Massachusetts Amherst.

16-Jones, D. and Barnes, E. M. (2000), "Fuzzy composite programming to combine remote sensing and crop models for decision support in precision crop management", Agricultural Systems, 65: 137-158.

17-Li, L. L., Huang, G. B., Zhang, R. Z., Bellotti, B., Li, G. and Chan, K. Y. (2011), "Benefits of conservation agriculture on soil and water conservation and its progress in China", Agricultural Sciences in China, 10(6): 850-859.
18-Liner, B. (2009), Goal programming for sustainability in total water management, Ph.D dissertation in civil, environmental, and infrastructure engineering, George Mason University.
19-McFadden, F. J. (2007), Evaluating sustainable water management in the context of irrigated agriculture in the Bigstick Basin, Saskatchewan, M. A. thesis, the Faculty of Graduate Studies, the University of Guelph.
20-Mermut A. R. and Eswaran, H. (2001), "Some major developments in soil science since the mid-1960s", Geoderma, 100: 403-426.
21- Minciardi, R., Robba, M. and Sacile, R. (2007), "Decision models for sustainable groundwater planning and control", Journal of Control Engineering Practice, 15: 1013-1029.
22-Muralidharan, D. (2008), Microeconomics of water management: spatial dynamics and sustainability, Ph.D dissertation in economics, University of California, Riverside.
23-Nachbaur, J. W. (2007), The economics of groundwater governance, Ph.D dissertation in economics, University of California, Santa Barbara.
24-Nolan, S., Unkovich, M., Shen, Y. Y., Li, L. L. and Bellotti, W. (2008), "Farming systems of the Loess Plateau, Gansu Province, China", Agriculture, Ecosystems and Environment, 124: 13-23.
25-OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) (2009), Managing water for all: an OECD perspective on pricing and financing, OECD, Paris. URL: http://www.oecd.org.
26-Phillips, Y. A. and Andriantiatsaholiniaina, L. A. (2001), "Sustainability: an ill-defined concept and its assessment using fuzzy logic", Economical Economics, 37: 435-456.
27-Roseta-Palma, C. (2003), "Joint quantity/quality management of groundwater", Environmental and Resource Economics, 26: 89-106.
28-Schaible, G. and Aillery, M. (2006), Irrigation water management, USDA Economic Research Service, URL: http://www.ers.usda.goy/Publications/AREI/EDS 16/Chapter4/4.6A.
29-Stratton, S. E. (2008), Groundwater management with heterogeneous users: political and economic perspectives, Ph.D dissertation in agricultural and resource economics, University of California, Berkeley.
30-UNDP (United Nations Development Program) (2006), Human development report. 2006. beyond scarcity: power, poverty and the global water crisis, United Nations Development Program. NY, URL: http://hdr.undp.org/en/media/hdr06-complete.pdf. Accessed 05-02-09.
31-UNESCO (United Nations) (2006), Water: a shared responsibility, URL: http://www.loc.gov/catdir/toc/fy0710/2006299804.html.
32-United Nations (2006), Coping with water scarcity: a strategic issue and priority for systemwide action, URL: www.unwater.org.
33-Wada, C. A. (2010), Optimal and sustainable groundwater managemnent: multiple aquifers, watershed conservation, and water recycling, Ph.D dissertation in economics, University of Hawai‘i.
34-World Bank (2009), Water Supply and Sanitation, URL: http://web.worldbank.org/.