کاربرد برنامه‌ریزی توافقی[1] در انتخاب روش مناسب آبیاری

سامان ضیائی ـ دکتر غلامرضا سلطانی ـ دکتر داور خلیلی

به ترتیب کارشناس ارشد اقتصاد کشاورزی ـ استاد بخش اقتصاد کشاورزی ـ استاد بخش آبیاری و زهکشی دانشگاه شیراز

1- Compromise Programming

چکیده

در ایران، مدتی است که برنامه‌ریزان و دولتمردان، توجه زیادی نسبت به مسئله آب و گسترش بکارگیری روشهای مناسب آبیاری، خصوصاً روشهای آبیاری تحت فشار در کشاورزی، به‌عنوان جایگزینی برای روشهای سطحی نشان می‌دهند. امروزه با تحولات زیادی که در ارائه تکنولوژیهای مختلف آبیاری به بازار ایجاد گردیده، انتخاب سیستم مناسب آبیاری را مشکل نموده است. تصمیم‌گیری در انتخاب یک تکنولوژی خاص، بایستی با توجه به کلیه عواملی باشد که به نحوی در کارایی چنین تکنولوژی دخالت دارند که این عوامل شامل محدودیتهای محیطی و شرایط اقلیمی مانند نوع خاک، شکل و شیب مزرعه، درجه حرارت، باد و عوامل اقتصادی مثل هزینه‌های اولیه و غیره باشند. هدف از این مقاله، معرفی روش برنامه‌ریزی توافقی (C.P.) جهت انتخاب تکنولوژی بهینه آبیاری است. با استفاده از این روش که یکی از تکنیکهای تصمیم‌گیری چند معیاری[2] است، می‌توان روشهای مختلف آبیاری را در قالب معیارهای متفاوت مورد ارزیابی قرار داد و عمل بهینه‌سازی را انجام داد. در این مقاله، به‌عنوان مثالی در مورد کاربرد این روش، سه سیستم آبیاری کلاسیک ثابت، کلاسیک نیمه متحرک و ویلموو در قالب ۷ معیار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سیستم آبیاری بارانی چرخان (ویلموو) به‌عنوان بهترین گزینه آبیاری است.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاری، برنامه‌ریزی توافقی، تکنولوژی آبیاری

2- Multi criteria Decision Making (MCDM)

مقدمه

در ایران مدتی است که برنامه‌ریزان و دولتمردان، توجه زیادی نسبت به مسئله آب و گسترش بکارگیری روشهای مناسب آبیاری، خصوصاً روشهای آبیاری تحت فشار در کشاورزی، به‌عنوان جایگزینی برای روشهای سطحی نشان می‌دهند. در این راستا، ابزارها و امکانات تکنیکی فراوانی بکار گرفته شده و بودجه زیادی صرف می‌گردد، لکن موضوعی که نادیده گرفته شده است، سازه‌های تعیین‌کننده بکارگیری این تکنولوژیها و روشها توسط کشاورزان می‌باشد. در واقع گزینش و بکار گیری روشهای آبیاری، امریست بسیار مهم که تنها با درنظر گرفتن مسائل فنی قابل توجیه نمی‌باشد (۱).

امروزه با تحولات زیادی که در ارائه تکنولوژیهای مختلف آبیاری به بازار ایجاد گردیده، انتخاب سیستم مناسب آبیاری را مشکل نموده است. تصمیم‌گیری در انتخاب یک تکنولوژی خاص، اگر بدون توجه به نقش عواملی که به‌نحوی در کارایی چنین تکنولوژی دخالت دارند صورت گیرد، ممکن است یک انتخاب بهینه نبوده و لذا جوابگوی نیاز آبیاری منطقه نباشد. به‌عنوان مثال، امروزه روشهای آبیاری سنتی در ایران به‌عنوان روشهای با بازده پایین شناخته شده‌اند. بنابراین، با توجه به اینکه سیستمهای آبیاری تحت فشار (آبیاری بارانی) از بازده نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشند، این تصور پیش می‌آید که انتخاب امروزه برای کلیه شرایط بایستی تکنولوژی آبیاری تحت فشار باشد. چنین تصمیم‌گیری که فقط بر مبنای بازده آبیاری بنا شده است، در بسیاری موارد انتخاب مناسبی نخواهد بود. لذا کلیه عوامل مؤثر در این رابطه بایستی بررسی و ارزیابی شوند. چنین عواملی شامل بازده آبیاری، هزینه‌های اولیه و نگهداری، محدودیتهای محیطی از نقطه‌نظر نوع خاک و منابع آبی موجود و شرایط اقلیمی و شکل و شیب مزرعه، نوع محصول، آشنایی و تمایل مردم بومی به قبول یک تکنولوژی خاص می‌باشد. با توجه به پیچیدگیهای این عوامل در رابطه با گزینه‌های مختلف (تکنولوژیهای آبیاری)، لزوم انتخاب روش مناسب برای تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مشخص می‌گردد.

بدین منظور، از روشهای تصمیم‌گیری چندمعیاری استفاده می‌گردد (۲). هدف از این مقاله، معرفی روش برنامه‌ریزی توافقی بعنوان یکی از روشهای

مروری بر مطالعات انجام شده

تکله و یتایو (۸) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاری(MCDM)، اقدام به رتبه‌بندی تعداد ۱۰ گزینه تکنولوژی آبیاری نمودند. در مطالعه آنها، ۲۳ معیار جهت ارزیابی و انتخاب از بین ۱۰ گزینه استفاده شده تا ۱۲ هدف مختلف برآورد گردند. متد استفاده شده در این مطالعه، بعنوان برنامه‌ریزی توافقی (CP) معروف است. در این روش، ۱۰ گزینه آبیاری، بترتیب از بهترین تا بدترین، بر اساس معیارهای تعریف شده درجه‌بندی می‌شوند. این معیارها عبارتند از: راندمان آبیاری، دبی پایین جریان آب، کیفیت شیمیایی و بیولوژیکی، رسوب‌گذاری، هزینه اولیه، هزینه‌های عملیاتی و نگهداری، نیازمندی به متخصص الکترونیک، مهارت مدیریتی زیاد، کاربری فشرده، سطح تکنولوژی مورد نیاز، سطح مصرف انرژی، تنوع در ظرفیت نفوذپذیری خاک(شنی، لومی و رسی)، تغییرات عمق خاک، مسئله زهکشی، سطح ایستابی آب زیرزمینی، اندازه مزرعه، شکل هندسی زمین، توپوگرافی، تنوع محصول، سرعت باد و درجه حرارت. از این معیارها برای رسیدن به اهداف زیر استفاده می‌شود: افزایش راندمان آبیاری، قابلیت سازگاری سیستم با منابع مختلف آب، نیازمندی به زهکشی، سازگاری سیستم با اشکال مختلف مزرعه و الگوهای زراعی، سازگاری با شرایط آب و هوایی و استفاده از کیفیتهای نامطلوب آب. هر چند از برنامه‌ریزی خطی هم جهت انتخاب تکنولوژی می‌توان استفاده کرد، اما در این روش تنها یک هدف بهینه می‌شود. بدلیل ناتوانی برنامه‌ریزی خطی در انعکاس شرایط واقعی، استفاده از برنامه‌ریزی توافقی با روش تصمیم‌گیری چند معیاری مفید خواهد بود. در این روش، معیارهای اجتماعی، فرهنگی، فنی و قانونی هم استفاده می‌شود. در این مطالعه، آبیاری سطحی بعنوان گزینه برتر معرفی شده است.

خلیلی (۲) روش برنامه‌ریزی توافقی (CP) و روش تحلیل سلسله‌ای[1] را در ارزیابی تکنولوژیهای آبیاری مورد مقایسه قرار داده است. با استفاده از این دو روش، تعداد ۱۰ گزینه آبیاری مقایسه شده و بر اساس معیارهای مختلف، از نظر بهینه بودن مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج این دو روش با هم مقایسه شده‌اند. در این مقاله، اصول و زیربنای ریاضی این دو روش مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه گردیده‌اند. از نظر بنیاد ریاضی و

1- Analytical Hierarchy Procedure

فرضیات آنها، هر دو روش کاملاً متفاوت هستند، اما از کارایی و نتایج بسیار مشابهی برخوردارند. با توجه به اینکه روشهای محاسباتی توسط نرم‌افزارهای کامپیوتری قابل حل هستند، عملاً هر دو روش از شرایط بسیار مشابه برخوردارند و لذا می‌توان گفت که انتخاب یک روش، عملاً اولویتی به روش دیگر نخواهد داشت، ولی در سالهای اخیر نشان داده شده که برنامه‌ریزی توافقی نسبت به روش تحلیل سلسله‌ای از مبنای ریاضی و تئوریکی معتبرتری برخوردار است. نتایج هر دو روش نشان می‌دهد که آبیاری سطحی در حالات مختلف، در اولویت اول انتخاب قرار می‌گیرد.

رومرو، رهمان و دومینگو (۶)، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی توافقی ریسکی[۲] به برنامه‌ریزی برای تخصیص منابع کشاورزی پرداخته‌اند. هدف آنها نشان دادن این مسئله است که هیبریداسیون مدل Motad و CP، می‌تواند مقداری از کاستیهای روش سنتی سروکار داشتن با ریسک در مدلهای تخصیص منابع را برطرف کند. متغیرهای تصمیم آنها شامل هویج، کرفس، خیار و فلفل، به‌ترتیب از X_1 تا X_4 بوده است. اهداف این مطالعه، شامل مینیمم کردن انحراف مطلق میانگین بازده برنامه‌ای (Z_1) و ماکزیمم کردن بازده برنامه‌ای انتظاری (Z_2)، هر دو بر حسب دلار می‌باشد که در مدل، Z_2 به‌عنوان یک محدودیت پارامتری در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که از میان ۶ نقطه انتهایی کارای به‌دست آمده، زمانی که در تابع مسافت برای P عدد ۱ در نظر گرفته می‌شود، نقطه B با مختصات (۷۳۵۲۴، ۹۳۰۱) و زمانی که برای P مقدار ∞ در نظر گرفته می‌شود، نقطه S با مختصات (۷۰۸۹۳، ۷۶۹۳) بهترین جوابهای توافقی می‌باشند. لازم به ذکر است که در مختصات فوق، عدد اول (سمت چپ) مربوط به Z_1 و عدد دوم (سمت راست)، مربوط به Z_2 می‌باشد.

شفیک، داکستین و مادوک (۷)، طی مطالعه‌ای با عنوان "تحلیل چندمعیاری مدیریت آلودگی آبهای زیرزمینی"، از چند تکنیک MCDM به‌نامهای MCQA,ELECTRAII و CP استفاده نموده‌اند. اهداف این مطالعه شامل ماکزیمم کردن مقدارآب تازه عرضه‌شده، مینیمم کردن هزینه‌های خودکفایی، مرمت و پمپ کردن آب از محل تأمین آن و مینیمم کردن اثرات آلودگی، به‌ترتیب از Z_1 تا Z_3 می‌باشد. در هر سه هدف ۱۵ آلترناتیو با هم مقایسه گردید. در استفاده از روش CP، نتایج هم برای حالتی که اهداف دارای وزنهای مساوی بودند

2- Compromise - Risk Programming

و هم برای حالتی که اهداف Z_1، Z_2 و Z_3 به‌ترتیب دارای وزنهای ۱۰ و ۷ و ۵ بودند به‌دست آمد. نتایج نشان داد که در حالت اول، برای P=1، آلترناتیو ۲ و برای P=2، آلترناتیو ۷ انتخاب می‌شود و در حالت دوم، زمانی که P=1 در نظر گرفته می‌شود، آلترناتیو ۷ و زمانی که P=2 در نظر گرفته می‌شود، آلترناتیو ۱۰ انتخاب می‌شود. همچنین تحلیل نتایج نشان داد که گرچه این تکنیکها اساس متفاوتی دارند، اما به استراتژیهای ترجیحی یکسانی می‌رسند.

داکستین و اپریکویک (۴)، با استفاده از تکنیک CP به برنامه‌ریزی تأمین آب برای حوضه آبی رودخانه Tisza در مجارستان پرداخته‌اند. پنج سیستم تأمین آب مورد مقایسه قرار گرفته‌اند که به‌ترتیب عبارتند از:

۱- انتقال آب از رودخانه Danube به‌وسیله یک سیستم کانال- مخزن چند منظوره.

۲- ساختن یک سیستم مخزنی پمپ‌دار در قسمت شمال شرقی منطقه و تأمین آب آن از رودخانه Tisza .

۳- مخازن سطحی زمین و تأمین آب آن از رودخانه.

۴- وجود یک سیستم مخزنی در کوه در قسمت بالاتر حوضه رودخانه که در خارج از مجارستان واقع شده است.

۵- یک طرح ربط‌دهنده آب رودخانه Tisza و آب زیرزمینی وجود دارد که اساس آب منطقه را تشکیل می‌دهد.

در این مطالعه، ۱۲ هدف در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که اگر در تابع مسافت، P=1 فرض شود، سیستم ۱ انتخاب می‌شود و اگر P=2 در نظر گرفته شود، سیستم ۲ انتخاب می‌شود.

جوندی (۵)، به مقایسه سیستمهای آبیاری در اندونزی پرداخته است. او با استفاده از روش برنامه‌ریزی توافقی (CP) ۱۰ نوع سیستم را با استفاده از ۲۰ معیار مورد ارزیابی قرار داده است. محقق در این مطالعه نتیجه می‌گیرد که سیستم آبیاری جویچه‌ای مستقیم (Straight Furrow) بهترین گزینه و سیستم بارانی ثابت (Solid Set) بدترین گزینه است.

روش تحقیق

کاربرد روش برنامه‌ریزی توافقی در تعیین روشهای مناسب آبیاری

در ابتدا مسئله انتخاب تکنولوژی بهینه آبیاری، بایستی در قالب یکسری معیار تعریف گردد. معیارها بایستی طوری تعیین گردند که کلیه عوامل حاکم، به هر صورت که دخالت دارند، قابل تعریف باشند. طبیعتاً اینگونه عوامل، شامل کلیه امکانات منطقه‌ای، فنی و بومی می‌باشند. بعضی از معیارها بصورت کمی(مانند هزینه‌های اولیه و نگهداری) و بعضی دیگر بصورت کیفی(مانند قابلیت سازگار بودن تکنولوژی مورد نظر با منابع مختلف آبی موجود و یا قابلیت تکنولوژی در رابطه با کارکرد آن در اشکال مختلف هندسی مزرعه و یا ترکیبهای مختلف کشت) بیان می‌گردند. سپس گزینه‌های ممکن(تکنولوژیهای آبیاری) مشخص می‌گردند. در مرحله بعد، کارایی گزینه در رابطه با هر معیار تعیین گردیده و نتایج بصورت یک جدول ارائه می‌گردد. با توجه به اینکه معیارهای کمی و کیفی هر دو نوع موجود هستند، جدول تشکیل داده شده در فرم عددی و غیر عددی بیان می‌گردد. سپس در صورت امکان، معیارهای کیفی بصورت کمی بیان می‌گردند. بعنوان مثال، اگر یک تکنولوژی خاص در رابطه با یک معیار خاص، حداکثر تأثیرپذیری را داشته باشد و تکنولوژی دیگری حداقل تأثیرپذیری را داشته باشد، این دو بعنوان مقادیر حداکثر و حداقل در یک محدوده عددی (۱۰-۰) بیان شده و سایر تأثیرپذیریها بطور نسبی در این محدوده مشخص می‌گردند. لذا جدول نهایی، مقادیر ارزیابی شده هر گزینه را در قالب هر معیار بیان می‌کند(ماتریس معیارها و گزینه‌ها). در بعضی موارد، امکان تبدیل معیارهای کیفی بصورت کمی وجود ندارد. در این مرحله، روشهای MCDM بررسی گردیده و روش مناسب برای تجزیه و تحلیل ارائه می‌گردد. البته بعضی از روشها، فقط قابلیت کارکرد با معیارهای کمی را دارند و حال آنکه بعضی دیگر با معیارهای مختلط کمی و یا کیفی می‌توانند کار کنند. در مرحله بعد از روش CP بعنوان روش مناسب MCDM برای تجزیه و تحلیل مقادیر بدست آمده استفاده می‌شود که ذیلاً توضیح داده می‌شود:

در این روش، انتخاب بهینه بر اساس تعیین حداقل فاصله نسبت به یک جواب ایده‌آل، توسط یک گزینه خاص می‌باشد. جواب ایده‌آل به فرم زیر می‌باشد:

$$f_i^* = (f_1^* , f_2^* , \ldots , f_I^*) \quad i = 1, 2 , \ldots , I \qquad (۱)$$

$$f_i^* = \mathrm{Max}_j (f_{ij}) \qquad i = 1 , 2, \ldots , I \quad j = 1 , 2 , \ldots , J \qquad (۲)$$

f_{ij}: مقادیر ارزیابی شده گزینه A_j (تکنولوژیهای آبیاری) در رابطه با معیار i می‌باشد.

j: تعداد گزینه‌ها می‌باشد.

i: تعداد معیارها می‌باشد.

در مرحله بعدی، بررسی فاصله مقادیر ارزیابی شده نسبت به جواب ایده‌آل صورت می‌گیرد.

$$L_P (A_j) = [\Sigma\mu_i(f_i^* - f_{ij}/f_i^* - f_i^{**})^P]^{1/P} \qquad (۳)$$

در معادله فوق، $L_P(A_j)$ فاصله ماتریس می‌باشد که تابعی از گزینه A_j و پارامتر P است و μ_i بیانگر شکل استاندارد شده میزان وزنی معیار i ، W_i ، است که در آن ساختار ترجیحات نسبی تصمیم‌گیرنده در میان I معیار نشان داده شده است. استاندارد کردن W_i با استفاده از فرمول زیر ساخته می‌شود:

$$\mu_i = W_i / \Sigma W_i \qquad (۴)$$

بطوریکه:

$$\Sigma\mu_i = 1 \qquad i=1,\ldots,I$$

f_i^* جواب ایده‌آل برای مقیاس I و f_i^{**} حد اقل جواب برای معیار i بوده که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f_i^{**} = \mathrm{Min}_j (f_{ij}) \qquad i = 1,\ldots,I \qquad j = 1, \ldots,J \qquad (۵)$$

در معادله (۳)، پارامتر P می‌تواند مقادیری در محدوده $1 \le P \le \infty$ داشته باشد که گویای نظر تصمیم‌گیرنده و حساسیت وی نسبت به حداکثر انحراف قابل قبول در محاسبات می‌باشد. هر چه P بزرگتر باشد، نشانگر حساسیت بیشتر است. برای $P=\infty$، حداکثر میزان حساسیت بررسی می‌گردد که به ازاء آن معادله (۳) بصورت زیر در می‌آید:

$$L_\infty(A_j) = \mathrm{Max} [\mu_I (f_i^* - f_{ij} / f_i^* - f_i^{**})] \qquad (۶)$$

آنگاه برای انتخاب تکنولوژی بهینه آبیاری، از مقادیر $P=1,2,\infty$ استفاده می‌شود که انتخاب این سه عدد، بیشتر بخاطر کاهش میزان محاسبات است. لازم به تذکر است که می‌توان

محاسبات را برای گروههای وزنی مختلف انجام داد. بدین ترتیب که مثلاً در یک گروه وزنی، همه معیارها از ارزش مساوی برخوردار باشند و در دیگر گروهها، بعضی معیارها نسبت به معیارهای دیگر از ارزشهای بالاتری برخوردار باشند که این کار به‌منظور بررسی حساسیت روش، نسبت به ارزشهای مختلف معیاری صورت می‌گیرد.

نتایج و بحث

همانطور که گفته شد، در این مقاله ازروش CP که بر مبنای بهینه‌سازی یک گزینه از بین چندین گزینه با توجه به یک سری از معیارها استوار است، برای انتخاب تکنولوژی بهینه آبیاری استفاده شده است. معیارهای فرضی در نظر گرفته شده و سیستمهای آبیاری مورد مقایسه در جداول شماره‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

جدول شماره (۱): معیارهای در نظر گرفته شده جهت انتخاب سیستم بهینه آبیاری

شماره معیار	نام معیار
۱	بازده آبیاری
۲	شوری خاک
۳	شیب مزرعه
۴	هزینه اولیه
۵	هزینه تعمیرات و نگهداری
۶	افزایش سطح زیر کشت (نسبت به آبیاری سطحی)
۷	افزایش عملکرد در هکتار (نسبت به آبیاری سطحی)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول شماره (۲): سیستمهای آبیاری مورد مقایسه

کد	سیستم آبیاری
A_1	کلاسیک ثابت
A_2	کلاسیک نیمه‌متحرک
A_3	ویلموو

مأخذ: یافته‌های تحقیق

در مرحله بعد، کارایی هر تکنولوژی در رابطه با هر معیار ارزیابی شده و مقدار ارزیابی در محدوده (۱۰-۰) برآورد شده است که در آن ۱۰، بیانگر بالاترین کارایی و صفر، بیانگر کمترین کارایی می‌باشد. لذا جدول شماره (۳) که به جدول ماتریس معیارها و گزینه‌ها[1] معروف است ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که مقادیر این جدول واقعی و بر اساس مطالعه‌ای در استان فارس می‌باشد.

جدول شماره (۳): جدول ماتریس معیارها و گزینه‌ها

شماره معیار	تکنولوژیهای آبیاری		
	A_1	A_2	A_3
۱	۷/۶۹	۷/۷۵	۷/۴۱
۲	۹/۳۳	۶/۵	۸/۱۴
۳	۸/۴۴	۸/۷۵	۹/۸۶
۴	۲/۸۷	۶/۸۳	۷/۵۵
۵	۷/۱۳	۵/۹۴	۷/۱۸
۶	۱/۱	۲/۷۶	۲/۸۶
۷	۵/۰۷	۶/۵۲	۳/۸۷

مأخذ: یافته‌های تحقیق

تجزیه و تحلیل جدول فوق جهت انتخاب تکنولوژی بهینه آبیاری با استفاده از مقادیر $P=1, 2, \infty$ و در چهار گروه وزنی صورت گرفته است که این گروهها شامل موارد زیر است:

گروه وزنی ۱: تمام معیارها از ارزش مساوی برخوردار بوده‌اند.

گروه وزنی ۲: ارزش معیارهای ۴ الی ۷، نسبت به معیارهای ۱ الی ۳، به میزان ۱۰ درصد اضافه شده است.

1- Criteria Versus Alternative Matrix

گروه وزنی ۳: ارزش معیارهای ۴ الی ۷، نسبت به معیارهای ۱ الی ۳، به میزان ۲۰ درصد اضافه شده است.

گروه وزنی ۴: ارزش معیارهای ۴ الی ۷، نسبت به معیارهای ۱ الی ۳، به میزان ۳۰ درصد اضافه شده است.

جدول شماره (۴)، مقادیر ماکزیمم یا بیشترین ارزش معیاری، مینیمم یا کمترین ارزش معیاری و گروههای وزنی چهارگانه را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۴): مقادیر ماکزیمم یا بیشترین ارزش معیاری، مینیمم یا کمترین ارزش معیاری و گروههای وزنی چهارگانه

شماره معیار	مقدار ماکزیمم (f_i^{**})	مقدار می‌نیمم (f_i^{**})	گروههای وزنی چهار گانه			
			W_1	W_2	W_3	W_4
۱	۷/۶۹	۷/۴۱	۱	۰/۸۷	۰/۷۳	۰/۶۰
۲	۹/۳۳	۶/۵	۱	۰/۸۷	۰/۷۳	۰/۶۰
۳	۹/۸۶	۸/۴۴	۱	۰/۸۷	۰/۷۳	۰/۶۰
۴	۷/۵۵	۲/۸۷	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۳
۵	۷/۱۸	۵/۹۴	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۳
۶	۲/۸۶	۱/۱	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۳
۷	۶/۵۲	۳/۸۷	۱	۱/۱	۱/۲	۱/۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

اعداد موجود در ستون گروههای وزنی چهارگانه در جدول فوق، بیان‌کننده این است که مثلاً در گروه وزنی W_1 ، تمام معیارهای ذکر شده در جدول قبل در ۱ ضرب شده‌اند و

یا این‌که در گروه وزنی W_2 ، معیارهای ۴ الی ۷ در ۱/۱ و بقیه معیارها در ۰/۸۷ ضرب شده‌اند و محاسبات در هر مورد بر اساس اعداد به‌دست آمده جدید صورت گرفته است.

لازم به ذکر است که جواب ایده‌آل به‌صورت زیر می‌باشد:

$$f^* = (f_1^*, f_2^*, \ldots, f_7^*)$$

تجزیه و تحلیل جوابها

نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل داده‌های مسئله تحقیق با ترکیبات مختلف P و مجموعه وزنهای متفاوت در جدول شماره (۵) آمده است.

جدول شماره (۵): فواصل نسبی گزینه‌ها (سیستمهای آبیاری) از نقطه ایده‌آل برای ترکیبات مختلف P و مجموعه وزنهای متفاوت

سیستم آبیاری	۱			۲			۳			۴		
	P=1	P=2	P=∝	P=1	P=2	P=∝	P=1	P=2	P=∝	P=1	P=2	P=∝
A_1	۳/۷۶	۱/۸۲	۰/۸۹	۳/۸۵	۱/۸۸	۰/۹۸	۳/۳۱	۱/۹۶	۱/۰۷	۳/۳۶	۲/۰۶	۱/۱۶
A_2	۲/۹۹	۱/۶۲	۰/۷۲	۲/۸۶	۱/۵۶	۰/۸۰	۲/۷۵	۱/۵۳	۰/۸۷	۲/۶۴	۱/۵۲	۰/۹۴
A_3	۲/۴۲	۱/۴۷	۰/۷۱	۲/۳۲	۱/۴۴	۰/۶۷	۲/۲۴	۱/۴۴	۰/۸۶	۲/۱۵	۱/۴۵	۰/۸۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

تفاوت در رتبه‌بندی ترجیحات هر تکنولوژی تحت ترکیبات مختلف وزنی و ارزشهای متفاوت P ، حساسیت مدل CP را به تغییرات در بردارهای وزنی معیاری و ارزش P را تعیین می‌کند. نتایج این تحلیل حساسیت را می‌توان با توجه به جدول شماره (۶) که هر ستون آن نتایج ارزیابی مسئله را با استفاده از هر ترکیب وزنی و ارزش P نشان می‌دهد دریافت.

جدول شماره (۶): رتبه‌بندی سیستمهای مختلف آبیاری برای هر ترکیب وزنی و ارزش P

سیستم آبیاری	۱			۲			۳			۴		
	P=1	P=2	P=∞	P=1	P=2	P=∞	P=1	P=2	P=∞	P=1	P=2	P=∞
A_1	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
A_2	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
A_3	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همانطور که از نتایج جدول فوق برمی‌آید، آلترناتیو A_3 (سیستم آبیاری ویلموو) در همه موارد به‌عنوان بهتربن گزینه معرفی شده است. به‌عبارت دیگر، از هر ۱۲ مورد آزمون، این نوع سیستم آبیاری به‌عنوان سیستم بهینه شناخته شده است.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی، ح. ر. (۱۳۷۶)، "واکاوی گزینش روشهای آبیاری: کاربرد A.H.P"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه شیراز.

۲. خلیلی، د. (۱۳۷۵)، "مقایسه دو روش تصمیم‌گیری چند معیاری در ارزیابی تکنولوژیهای آبیاری"، مجموعه مقالات پوستری نخستین گردهمایی علمی- کاربردی اقتصاد آب"، معاونت امور آب وزارت نیرو، صفحات ۸۶- ۷۲.

۳. ضیائی، س. (۱۳۷۹)، "ارزیابی اقتصادی سیستمهای آبیاری تحت فشار و کاربرد مدل برنامه‌ریزی توافقی در انتخاب روش مناسب آبیاری، مطالعه موردی شهرستانهای داراب و فسا"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه شیراز.

4. Duckstein, L. and S. Opricovic, (1980), " Multiobjective optimization in river basin development", *Water Resources Research*, 16: 14- 20.
5. Junedi, H. (1998), "Selection algorithm for irrigation technologies", Sustainable land and water resources development and management in the wetlands, Young Proffessional Forum Seminar at the tenth ICID Afro-Asian Regional Conference on Irrigation and Drainage, Indonesia, 14pp.
6. Romero, C. , T. Rehman, and J. Domingo, (1988), "Compromise- risk programming for agricultural resource allocation problems", *Journal of Agricultural Economics*, 39: 271- 276.
7. Shafike, N.G. , L. Duckstein, and T. Maddock, (1992), "Multicriterion analysis of groundwater contamination management", *Water Resources Bulletin,* 28: 33- 43.
8. Tecle, A. and M. Yitayew, (1990), "Preference ranking of alternative irrigation technologies via a multicriterion decision-making procedure", *Transaction of ASAE*, 33: 1509-1517.
9. Zeleny, M. (1974b), "A concept of compromise solutions and the method of displaced idea", *Computers and Operations Research*, 1: 479- 496.