

کاربرد برنامه‌ریزی مصالحه‌ای در مدیریت منابع کمیاب: مطالعه موردی منابع آب زیرزمینی در شهرستان رفسنجان

جواد ترکمانی^۱ و محمد عبدالهی عزت آبادی^۲

چکیده

در این بررسی نحوه استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفی (Multiobjective programming)، برنامه‌ریزی مصالحه‌ای (Compromise programming) و تکنیک‌های تصفیه (Filtering techniques)، در مدیریت منابع کمیاب ارائه شده است. داده‌های مورد نیاز از نمونه‌ای شامل ۱۰۹ پسته‌کار شهرستان رفسنجان جمع‌آوری گردیده است. هدف برنامه ایجاد مصالحه‌ای بین اهداف حداکثر سازی سود، حداکثر سازی سطح باغات پسته منطقه و حداقل سازی بهره‌برداری از منابع آب است. از روش‌های برنامه‌ریزی چند هدفی و تکنیک تصفیه برای یافتن مجموعه کارآ (Efficient set) در بین اهداف فوق استفاده شد و سپس با استفاده از برنامه‌ریزی مصالحه‌ای بهترین جواب توافقی به دست آمد. هر چند که در جواب مصالحه‌ای هیچ کدام از اهداف سه‌گانه فوق به طور کامل محقق نشد، ولی برنامه به سمت ایدآل‌ها نزدیک شده است. این جواب توافقی با فرض یکسان بودن اهمیت اهداف محاسبه گردید. این در حالی است که، با تنظیم وزن اهداف بر اساس ترجیحات تصمیم‌گیران می‌توان جواب‌های مناسب‌تری نیز به دست آورد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی مصالحه‌ای، مدیریت منابع، پسته

مقدمه

عوض منابع محدود جدیدی مطرح می‌شود. این مسأله، تجدید نظر در برنامه‌ریزی‌های اولیه در طول زمان را ایجاب می‌کند (۱)، ۱۰، ۲۰ و ۲۱). کشت و تولید پسته در شهرستان رفسنجان را می‌توان یکی از نمونه‌های بارز این امر دانست که موجب ایجاد عدم هم‌آهنگی در استفاده از منابع شده است.

یکی از چالش‌هایی که پروژه‌های سرمایه‌گذاری از دیر بازده با آن رو به رو می‌باشد عدم هم‌آهنگی بین استفاده از منابع مختلف در بلند مدت است. به عبارت دیگر، در طول زمان بعضی از منابع محدود به منابع نسبتاً نامحدود تبدیل شده و در

۱. دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات پسته کشور، رفسنجان، کرمان

ترجیحات تنها بر اساس یک مراجعه اولیه و قبل از برنامه‌ریزی تعیین می‌شود (۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۵، ۱۶ و ۲۱). این درحالی است که در نوع سوم روش‌های برنامه‌ریزی چند معیاری با مراجعه مداوم به تصمیم‌گیرنده در خلال برنامه‌ریزی، از ترجیحات او برای یافتن جواب بهینه استفاده می‌شود (۱۲، ۱۳، ۱۸ و ۲۲).

کوهن و مارکس (۴) در مطالعه‌ای، ضمن مقایسه روش‌های سه‌گانه فوق، به این نتیجه رسیده‌اند که گروه‌های دوم و سوم می‌توانند جواب‌هایی نزدیک به واقعیت را ارائه نمایند ولی در عمل دارای مشکلات محاسباتی هستند. بنابراین، پیشنهاد استفاده از روش مصالحه‌ای را ارائه نموده‌اند.

روش مصالحه‌ای، که می‌توان آن را در گروه اول جای داد، بدون توجه به ترجیحات تصمیم‌گیر، جواب‌های توافقی را ارائه می‌کند. در این روش، با وجود این که در یافتن جواب‌های مصالحه‌ای از ترجیحات کامل تصمیم‌گیرنده استفاده‌ای نمی‌شود، ولی با استفاده از فرض‌هایی منطقی، به میزان قابل ملاحظه، ترجیحات تصمیم‌گیرنده مد نظر قرار می‌گیرد.

بنابراین، روش مصالحه‌ای اهمیت خاصی در مطالعات برنامه‌ریزی چند هدفی پیدا کرده است (۱۶ و ۱۹).

در بررسی فعلی در ابتدا با استفاده از روش محدودیت و تکنیک‌های تصفیه، مجموعه کارآ و منحنی‌های موازنه بین اهداف مختلف ایجاد شد. سپس، با استفاده از روش برنامه‌ریزی مصالحه‌ای توافقی بین سه هدف حداکثر سازی سود، حداقل سازی بهره‌برداری از منابع آب و حداکثر سازی سطح زیر کشت باغ پسته ایجاد گردید. داده‌های مورد نیاز از نمونه‌ای شامل ۱۰۹ نفر از کشاورزان شهرستان رفسنجان جمع‌آوری شد.

مواد و روش‌ها

تئوری تحقیق

مدل برنامه‌ریزی تصمیم‌گیری چند هدفی را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود (۲۱):

در زمان شروع سرمایه‌گذاری وسیع در ایجاد باغات پسته در دهه ۳۰، آب نسبت به زمین محدودیت خاصی نداشت. این در حالی است که امروزه کمبود آب به بحرانی در منطقه تبدیل شده است. دلیل این امر، احداث باغات پسته فراوان در منطقه می‌باشد که موجب کمبود آب کافی برای آبیاری شده است (۱). در برخورد اول به نظر می‌رسد که برای رفع این مشکل تنها دو راه حل (۱) کاهش بهره‌برداری از منابع آب به قیمت رها نمودن قسمت عمده‌ای از باغات پسته و (۲) نگهداری تمام باغات پسته و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب تا تخریب کامل این منبع با ارزش در پیش رو است. در این رابطه، نخستین گزینه، هدف حداقل نمودن بهره‌برداری از منابع آب را دنبال می‌کند در حالی که، در گزینه دوم هدف اصلی حداکثرسازی سطح زیر کشت باغات پسته است. اگر به این اهداف، حداکثرسازی سود نیز اضافه شود می‌توان نتیجه گرفت که کشاورزان و برنامه‌ریزان در منطقه مورد بررسی با سه هدف عمده روبه‌رو هستند. از آنجایی که، اهداف فوق تا حدی با هم در تناقض هستند، بهینه‌سازی هر یک از آنها به تنهایی امکان‌پذیر نیست.

با توجه به مطالب فوق، استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی تک هدفی برای بهینه‌سازی روند استفاده از منابع مناسب نمی‌باشد (۲۰). در این حالت نیاز به یافتن راه حلی است که بتواند کلیه اهداف را به طور هم‌زمان بهینه نماید. به این نوع راه حل جواب ایدآل گفته می‌شود که معمولاً خارج از ناحیه میسر است. از این روست که در مسایل چند هدفی، به جای یافتن یک جواب بهینه سعی در مشخص نمودن مجموعه‌ای کارآ می‌شود. این مجموعه، که به عنوان مجموعه پارتو نیز خوانده می‌شود، زیر مجموعه‌ای از ناحیه میسر می‌باشد (۱۳، ۱۴ و ۱۵).

روش‌های مختلفی برای حل مسایل چند هدفی وجود دارد (۲۰). در برخی از این روش‌ها، بدون توجه به ترجیحات تصمیم‌گیرنده، تنها مجموعه جواب کارآ تعیین می‌گردد (۳، ۱۴، ۱۷ و ۱۹). در نوع دوم روش‌های برنامه‌ریزی چند هدفی، ترجیحات تصمیم‌گیرنده مورد توجه قرار گرفته ولی این

پایین اولیه به وسیله حل جداگانه k مسأله حداکثر نمایی ۴ نسبت به ۵ و ۷ به دست می‌آید ($j=1, \dots, k$). جواب به دست آمده برای x در معادلات جای‌گذاری شده و k جواب بهینه برای $Z_j(x)$ ایجاد می‌کند که پایین‌ترین $Z_j(x)$ همان b_j می‌باشد. سپس مجموعه جواب غیر پست به وسیله حل معادلات ۴ تا ۷ و با تغییر پارامتریک (Parametric variation) b_j و جای‌گذاری $Z_j(x)$ ($j \neq i$) های مختلف در معادله ۴ به دست می‌آید. در این رابطه، علاوه بر یافتن جواب‌های غیر پست، نیاز به یافتن جواب‌های مصالحه‌ای است که از طریق برنامه‌ریزی مصالحه‌ای به دست می‌آید.

جواب مصالحه‌ای جوابی است که از نظر فاصله، نزدیک‌ترین به نقطه ایدال باشد. در میان انبوه نقاط مربوط به معیار \bar{A}_m ، حداقل یکی وجود دارد که به بقیه ترجیح داده می‌شود. برای مثال $F_i^* = \max f_i(x)$ ، $i=1, 2, \dots, n$ ، جواب ترجیحی برای تمام معیارها را ارائه می‌کند. بردار F^* که تمام اعضای آن حداکثر می‌باشند، بردار ایدال نامیده می‌شود، $F^* = (F_1^*, \dots, F_n^*)$. یکی از رایج‌ترین ابزار اندازه‌گیری نزدیکی به نقطه ایدال، خانواده‌های از متریکس‌های (L_p Metrics) است که به صورت زیر تعریف می‌شوند (۶):

$$L_p = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i^p [f_i^* - f_i(x)]^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad 1 \leq p \leq \infty \quad [8]$$

یا

$$\bar{L}_p = \sum_{i=1}^n \alpha_i^p [f_i^* - f_i(x)]^p \quad 1 \leq p \leq \infty \quad [9]$$

در این جا وزن‌های α_i می‌توانند به طور ذهنی توسط تصمیم‌گیرنده ارزیابی شده یا از ساختار ترجیحات استخراج گردند. هدف بهینه سازی عبارت است از:

$$\min \sum_{i=1}^n \alpha_i^p D_i^p \quad [10]$$

که D_i میزان انحراف از ارزش ایدال است. اگر تعریف ارزش ایدال مطلق مشکل باشد، می‌توان تقریبی از آن را به صورت بهترین ارزش در بین مجموعه ارزش‌های $F_i(x)$ تعریف نمود. زمانی که $F_i(x)$ بایستی حداکثر شود، بهترین ارزش F_i^* ، ارزش

$$\max z(x) = G [Z_1(x), Z_2(x), \dots, Z_k(x)] \quad [1]$$

s.t.

$$x \in X \quad [2]$$

$$x \geq 0 \quad [3]$$

که $z(x)$ تابع هدف k بعدی (k هدف وجود دارد)؛ X بردار n بعدی متغیرهای تصمیم است. رابطه ۲ مجموعه‌ای از m محدودیت مسأله و رابطه ۳ مجموعه محدودیت‌های غیرمنفی می‌باشد معادلات ۲ و ۳ ناحیه میسر در فضای اقلیدسی n بعدی را تعریف می‌کنند. هر جواب میسر ارزشی خاص را برای تمام اهداف $[Z_i(x), i=1, \dots, k]$ ارائه می‌نماید. تابع هدف k بعدی ۱، ناحیه میسر در فضای تصمیم X را به ناحیه میسر در فضای هدف $z(x)$ متصل می‌کند.

حداکثر نمودن بردار ۱ در عمل امکان پذیر نیست. بنابراین، از روش‌های مختلفی برای ایجاد مجموعه جواب کارآ استفاده می‌شود. افزون بر این، در مطالعه حاضر از روش محدودیت استفاده شده است که در این جا به طور خلاصه به آن اشاره می‌شود.

روش محدودیت شامل یافتن جواب‌های غیر پست، با حل مسأله چند هدفی اولیه که به صورت اسکالر در آمده است، می‌باشد. برای این منظور هدف \bar{A}_m جهت حداکثر شدن انتخاب شده و این حداکثر سازی نسبت به محدودیت‌های مسأله و حد پایین (Lower bound) بر روی $k-1$ هدف باقی مانده صورت می‌گیرد. بنابراین، مسأله اولیه (معادلات ۱ تا ۳) به صورت زیر در می‌آید (۲۱):

$$\max Z_j(x) \quad [4]$$

s.t

$$x \in X \quad [5]$$

$$Z_i(x) \geq b_i \quad i \neq j \quad [6]$$

$$x \geq 0 \quad [7]$$

که b_i نمایانگر حد پایین بر روی $k-1$ هدف است. حدهای

میان ۳۹۴ حلقه چاه آبیاری موجود در دشت، ۵٪ آنها، یعنی ۲۱ حلقه چاه انتخاب گردید. مرحله دوم انتخاب باغ دار نمونه بود. پس از انتخاب چاه نمونه، از هر چاه به طور اتفاقی ۱ تا ۷ کشاورز انتخاب و با آنها مصاحبه شد و در مجموع ۱۰۹ پرسش‌نامه از باغ داران تهیه شد.

مدل برنامه‌ریزی خطی استفاده شده در این بررسی دارای تابع هدف منکسر خطی (Piecwise linear objective function) است. پیش از بیان مدل در چارچوب برنامه‌ریزی چند هدفی، خلاصه مدل برنامه‌ریزی تک هدفی خطی به صورت زیر ارائه می‌شود (۸).

$$z = \sum (\pi_{ijkl} - P_{ijkl}) X_{ijkl} \quad [14]$$

$$j = 1, 2, \dots \quad [15]$$

$$k = 1, 2, \dots \quad [16]$$

$$l = 1, 2, \dots \quad [17]$$

متغیرهای مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

z : سود ناخالص کل بر حسب ریال

π : سود حاصل از یک هکتار هر فعالیت بر حسب ریال که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(هزینه‌های متغیر به غیر از هزینه تامین آب) - (عملکرد در هکتار محصول \times قیمت محصول) = π

x : سطح زیر کشت هر فعالیت بر حسب هکتار

p : هزینه تامین آب بر حسب ریال بر متر مکعب

I : میزان مصرف آب هر فعالیت بر حسب متر مکعب در هکتار

اندیس‌های استفاده شده در مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

i : مقدار مصرف آب بر حسب متر مکعب که در ۵ سطح مختلف می‌باشد.

j : شوری آب بر حسب میلی موس بر سانتی‌متر مربع که در چهار سطح تعریف شده است.

k : نوع خاک باغ است که دارای ۴ گروه است.

l : سن درختان باغ بوده که به دو گروه زیر ۱۰ سال و بالای ۱۰ سال تقسیم می‌شود.

در جدول ۱ خصوصیات زیر نویس‌های مختلف هر فعالیت آمده است.

حداکثر بوده و در غیر این صورت F_i^* حداقل، جواب ایدآل است. از آنجایی که D_i می‌تواند مثبت یا منفی باشد، باید به صورت زیر تعریف گردد:

$$D_i = |F_i^* - F_i(x)| \quad [11]$$

اگر توابع هدف $F_i(x)$ به صورت توابع دارای واحد یکسان بیان نشده باشند، بایستی یک تابع مقیاس تعریف شود. در صورتی که تابع مقیاس خطی باشد، داریم:

$$S_i(D_i) = \frac{|F_i^* - F_i(x)|}{|M_i - m_i|} \quad [12]$$

در اینجا M_i و m_i به ترتیب ارزش‌های حداکثر و حداقل $F_i(x)$ هستند. تابع هدف برنامه‌ریزی مصالحه‌ای ۸ به صورت زیر نوشته می‌شود (۶):

$$L_p = \left[\sum_{i=1}^n \alpha_i^p \left(\frac{|F_i^* - F_i(x)|}{|M_i - m_i|} \right)^p \right]^{\frac{1}{p}} \quad [13]$$

اگر وزن‌های α_i و پارامتر p داده شده باشند، حداقل سازی معادله ۱۳ یک جواب بهینه یا جواب مصالحه‌ای می‌دهد (که با توجه به اطلاعات بهینه است). تصمیم گیرنده تمایل دارد که تحلیل گر جواب‌های مصالحه‌ای با ارزش‌های مختلف p را فراهم کند. برای $i=1, \dots, n$ ، $\alpha_i = 1$ ، $p=1$ ، برنامه‌ریزی مصالحه‌ای به برنامه‌ریزی آرمانی تبدیل می‌شود. برای $p=1$ و $\sum \alpha_i = 1$ ، برنامه‌ریزی مصالحه‌ای به روش وزنی خطی تبدیل شده و برای $i=1, \dots, n$ ، $\alpha_i = 1$ ، $p=\infty$ ، به مسأله حداقل سازی حداکثر (Minimax) تبدیل می‌شود.

منطقه مورد مطالعه دشت انار - کشکوئیه از شهرستان رفسنجان می‌باشد. جهت نمونه‌گیری از روش آمارگیری خوشه‌ای دو مرحله‌ای استفاده شد. خوشه‌های اصلی عبارت‌اند از منابع آب آبیاری که اکثر قریب به اتفاق آنها را چاه‌های عمیق و نیمه عمیق تشکیل می‌دهند. این دشت دارای ۳۹۴ حلقه چاه آبیاری کشاورزی است (۱).

با استفاده از لیست چاه‌های ناحیه آبیاری رفسنجان (۱) که برای هر دشت به طور جداگانه تنظیم شده بود، چاه‌های آبیاری به طور نمونه‌گیری تصادفی منظم با $k=20$ انتخاب شد. از

جدول ۱. ویژگی‌های زیرنویس‌های هر فعالیت الگوی برنامه‌ریزی خطی

شماره زیرنویس					
۵	۴	۳	۲	۱	نام زیرنویس
بیش از ۲۰۰۰۰	۱۵۰۰۰-۲۰۰۰۰	۱۰۰۰۰-۱۵۰۰۰	۵۰۰۰-۱۰۰۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰۰	متر مکعب آب i
-	۱۵-۲۰	۱۰-۱۵	۵-۱۰	۰-۵	شوری آب j
-	شنی - رسی	رسی	شنی	شنی - ماسه	نوع خاک k
-	-	-	بیشتر از ۱۰ سال	کمتر از ۱۰ سال	سن درخت l

ماخذ: داده‌های مورد بررسی

چند هدفی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ماتریس بازده محدودیت شماره ۱۵، میزان حداکثر آب قابل دسترس با شوری‌های مختلف را محدود می‌کند. محدودیت شماره ۱۶، میزان حداکثر سطح زیر کشت باغات با خاک‌های مختلف را محدود می‌کند. محدودیت شماره ۱۷، میزان حداکثر سطح زیر کشت باغات با سن‌های مختلف درختان را محدود می‌کند. چنانچه قبلاً اشاره شده، مطالعه فعلی سه هدف را برای مدیریت منابع آب در نظر می‌گیرد. این اهداف شامل حداکثر کردن سود، حداقل کردن مصرف آبهای زیر زمینی و حداکثر نمودن سطح زیر کشت باغات پسته می‌باشند. بنابراین چارچوب مدل برنامه‌ریزی چند هدفی به صورت زیر است:

محدودیت‌های مدل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

محدودیت شماره ۱۵، میزان حداکثر آب قابل دسترس با شوری‌های مختلف را محدود می‌کند. محدودیت شماره ۱۶، میزان حداکثر سطح زیر کشت باغات با خاک‌های مختلف را محدود می‌کند. محدودیت شماره ۱۷، میزان حداکثر سطح زیر کشت باغات با سن‌های مختلف درختان را محدود می‌کند.

چنانچه قبلاً اشاره شده، مطالعه فعلی سه هدف را برای مدیریت منابع آب در نظر می‌گیرد. این اهداف شامل حداکثر کردن سود، حداقل کردن مصرف آبهای زیر زمینی و حداکثر نمودن سطح زیر کشت باغات پسته می‌باشند. بنابراین چارچوب مدل برنامه‌ریزی چند هدفی به صورت زیر است:

$$\max Z \quad [18]$$

$$\max X \quad [19]$$

$$\min I \quad [20]$$

نسبت به محدودیت‌های شماره ۱۵ تا ۱۷ که در آن I, X, Z به ترتیب سود، سطح زیر کشت و مصرف آب می‌باشند.

مدل برنامه‌ریزی چند هدفی ۱۸ تا ۲۰ دارای ۳ تابع هدف بوده که دو تای آنها حداکثر شده و یکی حداقل می‌گردد. برای این که تمام توابع حداکثر شوند، ضرایب تابع هدف سوم (۲۰) در یک علامت منفی ضرب می‌شود.

نتایج و بحث

یکی از ابزارهایی که به طور گسترده در حیطه کار برنامه‌ریزی

از جدول ۲ به راحتی می‌توان تضاد بین سه هدف را دید. هدف حداکثر کردن سود با دو هدف حداقل کردن میزان مصرف آب و حداکثر کردن سطح زیر کشت باغات پسته در تضاد می‌باشد. در حالی که میزان سود در حالت حداکثر نمودن سود، $4/47 \times 10^{11}$ ریال می‌باشد، سود حاصل در حالت حداقل نمودن مصرف آب صفر است. هم‌چنین در صورتی که میزان مصرف آب در حالت حداقل نمودن مصرف آب صفر است، میزان مصرف آب در حالت حداکثر نمودن سود $309/04$ میلیون متر مکعب می‌باشد. علاوه بر این، هدف حداقل نمودن میزان مصرف آب با حداکثر نمودن سطح زیر کشت نیز در تضاد کامل است.

جدول ۲. ماتریس بازده برای سه هدف

سود (10^{11} ریال)	مصرف آب (میلیون متر مکعب)	سطح زیر کشت (هکتار)
۴/۴۷	۳۰۹/۰۴۴	۲۸۵۰۰
۰	۰	۰
۲/۵۳	۱۱۰/۲۵۰	۳۰۰۰۰

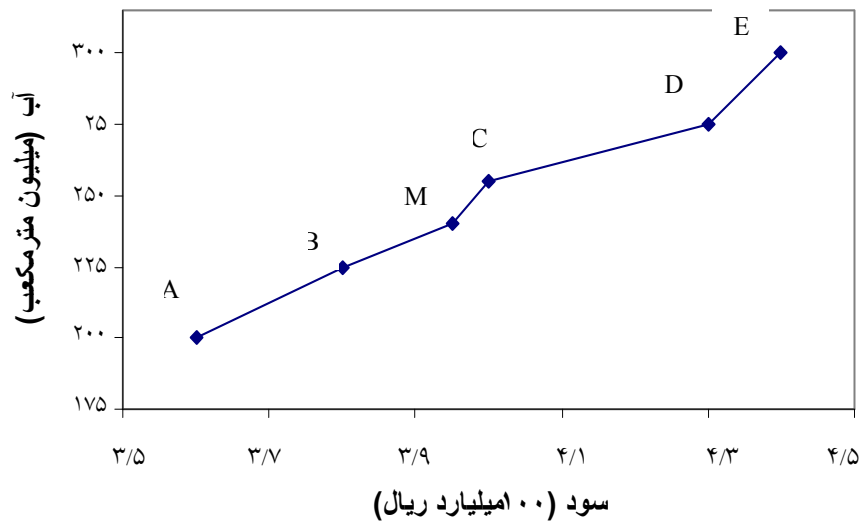
ماخذ: داده‌های مورد بررسی

عناصر قطر فرعی ماتریس، بیانگر نقطه ایدآل است، یعنی نقطه‌ای که تمام اهداف به ارزش بهینه خود می‌رسند. در مسأله فعلی، نقطه ایدآل برابر با $10^{11} \times 4/47$ ریال سود، صفر متر مکعب مصرف آب و 30000 هکتار باغ پسته می‌باشد. به هر حال، نقطه ایدآل غیر قابل دسترس است، زیرا اهداف در تضاد هستند. بنابراین تنها می‌توان یکی از اهداف فوق را انتخاب کرده و به آن دست یافت، یا این که مصالحه‌ای بین آنها ایجاد نمود.

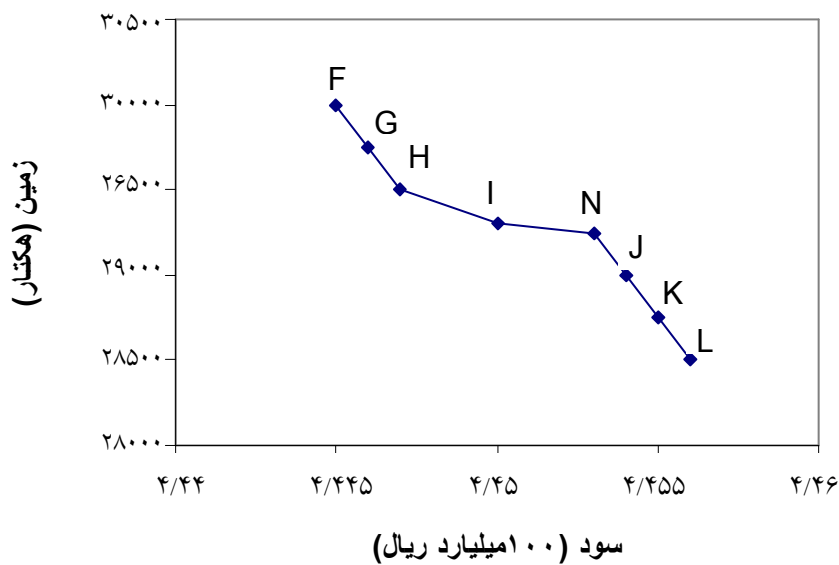
منحنی‌های موازنه (Tradeoff curve) سود، مصرف آب و سطح زیر کشت

برای بررسی چگونگی موازنه بین سود و میزان مصرف آب و همچنین سود و سطح زیر کشت پسته، منحنی‌های موازنه رسم شد که در شکل‌های ۱ و ۲ آمده است. جهت رسم منحنی‌های موازنه از روش محدودیت استفاده گردید. برای رسم منحنی موازنه بین سود و مصرف آب، حداکثر نمودن سود به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد و تابع هدف حداقل سازی مصرف آب به صورت یک محدودیت به مدل اضافه گردید. میزان حداقل مصرف آب (حد پایینی مصرف آب) 200 میلیون متر مکعب در نظر گرفته شد. زیرا این میزان طبق نظر کارشناسان ناحیه آبیاری شهرستان رفسنجان میزان مصرف پایدار آب بوده و باعث حذف بیلان منفی آب در منطقه می‌شود. همچنین میزان حداکثر مصرف آب 309 میلیون متر مکعب، یعنی حداکثر مصرف آب در حالت حداکثر سازی سود مد نظر قرار گرفت.

دلیل این امر آن است که، هنگامی که هدف حداکثر شدن سود است بیشترین میزان مصرف یعنی 309 میلیون متر مکعب در سال نیاز است که بسیار بالاتر از میزان بهره‌برداری پایدار است. به عبارت دیگر، با سطح زیر کشت فعلی باغات حداکثر آب مورد نیاز 309 میلیون متر مکعب در سال است. برای ایجاد مجموعه جواب کارآ و به دنبال آن منحنی موازنه، محدودیت آب با مقدار 25 میلیون متر مکعبی تغییر داده شد. این عدد با توجه به حداقل میزان مصرف آبی که در موارد مختلف باعث تغییر معنی‌داری در ترکیب کشت و تابع سود می‌گردد، با تحلیل حساسیت در مدل برنامه‌ریزی خطی، محاسبه شده است. هم‌چنین برای رسم منحنی موازنه بین سود و سطح زیر کشت باغات پسته، حداکثر نمودن سود به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و تابع هدف حداکثر سازی سطح زیر کشت باغات پسته به عنوان یک محدودیت به مدل اضافه گردید. میزان حداقل سطح زیر کشت (حد پایینی) 28500 در نظر گرفته شد. این مقدار، میزان سطح زیر کشت بهینه در زمان حداکثر نمودن سود بدون ملاحظه محدودیت بر روی زمین است. میزان حداکثر سطح زیر کشت پسته 30000 هکتار در نظر گرفته شد که میزان فعلی باغات پسته منطقه بوده و سطح بهینه باغات پسته در زمان حداکثر سازی، تابع هدف سطح زیر کشت نیز است. برنامه‌ریزی تنها در چارچوب باغات موجود صورت گرفته و از اضافه شدن باغات جدید جلوگیری شده است. بنابراین، حداکثر سطح زیرکشت در برنامه برابر با سطح فعلی باغات منطقه است.



شکل ۱. منحنی موازنه برای اهداف سود و مصرف آب



شکل ۲. منحنی موازنه برای اهداف سود و سطح زیر کشت

ارزش‌های واقعی (یعنی هزینه‌های فرصت) بین سود و میزان مصرف آب و هم‌چنین بین سود و سطح زیر کشت باغات پسته، به وسیله شیب خطوط صاف وصل‌کننده نقاط کارآی حدی نشان داده شده در شکل‌های ۱ و ۲ بیان شده است. برای مثال شیب پاره خط AB در شکل ۱ حاکی از آن است که در

برای ایجاد مجموعه کارآ و به دنبال آن منحنی موازنه، محدودیت زمین با واحدهای ۲۵۰ هکتاری تغییر داده شد. این منحنی‌های موازنه می‌توانند به عنوان هزینه فرصت، یک هدف در ازای هدف دیگر در نظر گرفته شوند. نحوه محاسبه ۲۵۰ هکتار مشابه عدد ۲۵۰ میلیون مترمکعب است که قبلاً ارائه شد.

ارائه می‌نماید. تحلیل حساسیت بر روی وزن‌های α می‌تواند تصمیم‌گیرنده را با داده‌های مربوط به پایداری و اعتبار و دامنه‌ای که بهترین جواب مصالحه‌ای در آن قرار دارد آشنا نماید.

تخمینی از مجموعه کارآ در یک فضای هدف سه بعدی

برای رفتن به مرحله بالاتر در این مطالعه، اکنون مجموعه موازنه‌ای و بهترین جواب مصالحه‌ای در حالتی که هر سه هدف به طور هم زمان مد نظر قرار می‌گیرند، محاسبه می‌شوند. برای انجام این کار، مجموعه کارآ برای سه هدف باید ایجاد شود. در میان تکنیک‌های مختلف جهت ایجاد مجموعه کارآ، از روش محدودیت استفاده شده است. در این مورد، سود به عنوان تابع هدف در نظر گرفته در حالی که دو هدف دیگر به عنوان محدودیت‌های پارامتریک مد نظر قرار گرفتند. مجموعه کارآ به وسیله تغییرات پارامتریک سمت راست‌های دو محدودیت آب و زمین ایجاد می‌شود. پایین‌ترین و بالاترین مرز و سطوح افزایش در هر دو محدودیت در قسمت قبلی مطالعه بیان شد. حل برنامه‌ریزی خطی مربوطه بیش از ۴۰ نقطه کارآ ایجاد نمود. بیان بیش از ۴۰ الگوی کشت برای تصمیم‌گیرنده، حجم بالایی از اطلاعات است که به احتمال زیاد مشکل است تا توسط او مورد قبول واقع شود. برای فرار از این مشکل که در اکثر روش‌های برنامه‌ریزی چند هدفی رایج است، از تکنیک تصفیه ارائه شده به وسیله رومرو و همکاران (۱۴) استفاده شد تا اندازه مجموعه کارآ کاهش یابد. این تکنیک تصفیه، جواب‌های کارایی که به طور کافی متفاوت از جواب‌های کارایی قبلی نیست را حذف می‌نماید. به پیروی از رومرو و همکاران (۱۴) رابطه تصفیه زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$\left[\sum_{j=1}^k (\pi_j |F_j^f(x) - F_j^h(x)|)^p \right]^{\frac{1}{p}} < d \quad [21]$$

در این جا k ، تعداد هدف، π_j وزن‌های درجه بندی استفاده شده برای اسکالر کردن اهداف مختلف، $F_j^f(x)$ یک جواب کارآ در فضای هدف بوده و عدم تشابه آن با توجه به جواب $F_j^h(x)$

این قسمت از منحنی موازنه برای افزایش هر یک ریال سود، باید ۱ لیتر آب بیشتر مصرف شود. بنابراین هزینه فرصت یک ریال افزایش در سود کل فعلی می‌توان به عنوان قربانی کردن ۱ لیتر آب‌های زیر زمینی و کمبود آن در آینده را در نظر گرفت. به طور مشابه، شیب پاره خط FG (شکل ۲) بر این اشاره دارد که در این قسمت از منحنی، هزینه فرصت یک هکتار افزایش در سطح باغات پسته منطقه برابر با کاهش سودی معادل ۸۰۰۰۰۰ ریال می‌باشد.

کاهش سود ناشی از افزایش سطح زیر کشت ممکن است که غیر واقعی به نظر آید. با این حال، با توجه به ثابت و محدود بودن آب در منطقه، افزایش بیشتر سطح زیر کشت باعث کاهش عملکرد، افزایش هزینه‌های متغیر و در نهایت کاهش سود خواهد شد. به عبارت دیگر، با ثابت بودن میزان کل آب در دسترس و افزایش سطح زیر کشت، نسبت آب به زمین کاهش خواهد یافت و در نتیجه، سود کاهش خواهد یافت. برای مثال، اگر با ثابت بودن میزان کل آب در دسترس، سطح زیر کشت تا اندازه‌ای افزایش یابد که مقدار آب در هکتار مثلاً به یک مترمکعب در سال برسد، نه تنها سود به صفر خواهد رسید بلکه تولید نیز صفر شده و تمام باغات پسته از بین خواهند رفت. البته باید توجه نمود که افزایش سطح زیر کشت قبل از سطح ۲۸۵۰۰ هکتار باعث افزایش سود می‌شود.

بعد از تعریف منحنی‌های موازنه، مرحله بعد محاسبه بهترین جواب مصالحه‌ای است. این عمل به وسیله استفاده از روش برنامه‌ریزی مصالحه‌ای صورت می‌گیرد. فرض کنید که اختلافات بین ارزش اهداف و ایدآل‌های آنها دارای اهمیت یکسانی باشند (یعنی $\alpha_1 = \alpha_2$) و با استفاده از مدل L_1 ($P=1$)، می‌توان بهترین جواب مصالحه‌ای به دست آورد. بدین ترتیب نقطه M ($3/94 \times 10^{11}$) ریال سود و ۲۳۸ میلیون متر مکعب مصرف آب) در شکل ۱ بهترین جواب مصالحه‌ای برای اهداف سود و آب را بیان می‌کند. به طور مشابه نقطه N ($4/45 \times 10^{11}$) ریال سود و ۲۹۳۸۰ هکتار زمین) در شکل ۲ بهترین جواب مصالحه‌ای بین اهداف سود و سطح زیر کشت را

به سمت ایدآل‌ها نزدیک شده‌ایم. نکته قابل ذکر در این مطالعه این است که برای محاسبه بهترین جواب مصالحه‌ای، $p=1$ در نظر گرفته و فرض شد که سه هدف فوق دارای اهمیت یکسانی هستند ($\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$). با این وجود می‌توان با تغییر p و α ها جواب‌های دیگری را به دست آورد. مثلاً اگر اهمیت حفاظت از منابع آب مهم‌تر از دو هدف دیگر باشد وزن آن در تابع هدف مصالحه‌ای بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود. بدین ترتیب می‌توان به نقطه بهره‌برداری پایدار از آب (۲۰۰ میلیون متر مکعب) نزدیک‌تر شد.

هر چند که بدون توجه به ترجیحات تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان نمی‌توان گفت که نقطه بهینه کدام یک از جواب‌ها در مجموعه کاراست، اما با فرض منطقی "نزدیکی به نقطه ایدآل" می‌توان گفت که بهترین جواب مصالحه‌ای یک نقطه بهینه پارتو است. برنامه‌ریزی خطی حداکثر سازی سود، هر چند که هدف سود حداکثر را به دست می‌دهد، ولی اهداف دیگر از جمله حفظ سطح فعلی باغات پسته منطقه و جلوگیری از تخریب منابع آب را ارضا نمی‌کند. از طرفی بهترین نقطه مصالحه‌ای هر چند که هیچ کدام از اهداف را به طور کامل برآورده نمی‌کند، مصالحه‌ای بین آنها ایجاد می‌نماید. بنابراین در مسایلی که چند هدف وجود داشته و همه آنها دارای اهمیت بالایی باشند، استفاده از مسأله برنامه‌ریزی خطی تک هدفی جواب‌های غیر واقعی به دست می‌دهد. در این موارد استفاده از برنامه‌ریزی چند هدفی و از جمله برنامه‌ریزی مصالحه‌ای می‌تواند جواب‌هایی را ارائه دهد که به واقعیت نزدیک‌تر هستند.

نتیجه‌گیری

کشت و تولید پسته در شهرستان رفسنجان را می‌توان به عنوان مصداق بارزی از عدم هم‌آهنگی موجود بین بهره‌برداری از منابع مختلف تولید در بلند مدت ذکر نمود. در دهه ۱۳۳۰، یعنی زمان شروع سرمایه‌گذاری وسیع در ایجاد باغات پسته، آب نسبت به زمین محدودیت زیادی نداشت. در حالی که، امروزه کمبود آب

مورد آزمون قرار می‌گیرد، d پارامتر آزمون - فاصله استفاده شده و p پارامتر متریک است. در بررسی فعلی، فرایند تصفیه برای متریک $p=1$ (یعنی برای L_1) اجرا شد. با استفاده از رابطه تصفیه در مورد بیش از ۴۰ نقطه کارا، یک نمونه قابل کنترل و در بردارنده تنها ۸ نقطه کارا تعیین شد. نمونه مذکور هشت نقطه کارا با بیشترین اختلاف بین جواب‌ها را بیان می‌کند.

جدول ۳ نقاط کارا در فضای هدف و تصمیم را نشان می‌دهد. بهترین جواب مصالحه‌ای، نقطه ایدآل و نقطه ضد ایدآل نیز در پایین جدول ۳ اضافه شده‌اند.

نمونه‌ای از موازنه بین سه هدف را می‌توان از اطلاعات موجود در جدول ۳ تعیین کرد. چنانچه جدول ۳ نشان می‌دهد؛ با کاهش میزان مصرف آب و افزایش سطح زیر کشت، سود کاهش می‌یابد. هم‌چنین با افزایش سطح زیر کشت و کاهش میزان مصرف آب، الگوی کشت به سمت فعالیت‌های زمین بر و آب اندوز هدایت می‌شود، به طوری که فعالیت X_{222} که میزان مصرف ۲۳۰۰۰ متر مکعب آب را دارد حذف شده و فعالیت X_{232} نیز از سطح آن کاهش می‌یابد. بهترین جواب مصالحه‌ای نشان دهنده ۲۵۱ میلیون متر مکعب مصرف آب، ۲۹۲۵۲ هکتار سطح زیر کشت، و $10 \times 98/3$ ریال سود می‌باشد. در این نقطه میزان مصرف آب به اندازه ۵۸ میلیون متر مکعب کمتر از حداکثر نمودن سود به تنهایی است. با این جواب به هدف صرفه جویی در مصرف آب و جلوگیری از تخریب منابع آب زیر زمینی نزدیک‌تر شده ایم. با این وجود هنوز از جواب ایدآل و هم‌چنین میزان مصرف پایدار آب (۲۰۰ میلیون متر مکعب) فاصله زیادی وجود دارد. میزان سطح زیر کشت در بهترین جواب مصالحه‌ای به اندازه ۷۲۵ هکتار از حالت حداکثر نمودن سود به تنهایی بیشتر است، ولی از نقطه ایدآل به اندازه ۷۴۸ هکتار کمتر می‌باشد و میزان سود نیز در حالت بهترین جواب مصالحه‌ای به اندازه ۴۹ میلیارد ریال از حالت حداکثر سازی سود کمتر است.

با توجه به جدول ۳ می‌توان گفت که در جواب مصالحه‌ای هیچ کدام از اهداف به طور کامل محقق نشده‌اند. با این وجود

جدول ۳. مجموعه نقاط کارا و الگوهای کشت برای سه هدف

نقاط کارا	متغیرهای تصمیم (هکتار)											
	X _{۱۱۳۲}	X _{۱۱۳۳}	X _{۱۱۳۴}	X _{۱۱۳۵}	X _{۱۱۳۶}	X _{۱۱۳۷}	X _{۱۱۳۸}	X _{۱۱۳۹}	X _{۱۱۴۰}	X _{۱۱۴۱}	X _{۱۱۴۲}	
۱	۴/۳۹	۲۸۵۰۰	۳۰۰	۴۳۳۸۸	۰	۵۳۹/۴	۳۱۵۶/۷	۱۵۰۰	۰	۶/۱۰/۸۷	۳۹۰۱/۶۱	۱۵۰۰
۲	۴/۳۸	۲۹۵۰۰	۳۰۰	۳۲۷۲/۰۲	۰	۴۷۵۵/۴۰	۴۲۲۶/۳۶	۲۵۰۰	۱۰۰۰	۹۳۴۱/۶۰	۳۹۰۱/۶۱	۵۰۰
۳	۳/۹۹	۲۸۵۰۰	۲۵۰	۷۴۹۷۶۶۳	۳۸۰/۰۶	۶۲۷/۵۵	۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۹۶۴۲/۶۶	۳۹۰۱/۶۱	۰
۴	۳/۹۹	۲۹۵۰۰	۲۵۰	۷۴۹۷۶۶۳	۳۵/۹/۱۶۴	۶۲۷/۵۵	۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۸۵۲/۹۱	۳۹۰۱/۶۱	۰
۵	۳/۸۳	۲۸۵۰۰	۲۲۵	۷۴۹۷۶۶۳	۱۶/۶۵/۶۱	۰	۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۸۳/۳۴/۳۸	۳۹۰۱/۶۱	۰
۶	۳/۸۲	۲۹۵۰۰	۲۲۵	۷۴۹۷۶۶۳	۷۰۵۵/۰۹	۰	۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۷۰۴۴/۹۱	۳۹۰۱/۶۱	۰
۷	۳/۵۷	۲۸۵۰۰	۲۰۰	۷۴۹۷۶۶۳	۹۴۲۳/۵۱	۰	۰	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۴۶۷۶/۴۹	۳۹۰۱/۶۱	۰
۸	۳/۵۶	۲۹۵۰۰	۲۰۰	۷۴۹۷۶۶۳	۱۰۲۱۲/۹۹	۰	۰	۲۵۰۰	۱۵۰۰	۳۸۸۷/۰۱	۳۹۰۱/۶۱	۰
بهترین جواب	۳/۹۸	۲۹۲۵۲	۲۵۱	۷۴۹۷۶۶۳	۴۴۹۴/۵۴	۶۲۷/۵۵	۰	۲۲۵۰	۱۵۰۰	۸۹۷۹/۹۱	۳۹۰۱/۶۱	-
مصالحهای												
نقطه ایدال	۴/۴۷	۳۰۰۰۰	۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
نقطه ضد	۰	۰	۳۰۹	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ایدال												

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به مطالب فوق، به نظر می‌رسد که گزینه‌ای مورد قبول است که اهداف توجه به حداکثر شدن سود باغ‌داران، تأمین بهره‌برداری پایدار از منابع آب و همچنین حفظ سطح زیرکشت فعلی باغات را در بر داشته باشد. با این حال، دستیابی کامل به هر سه هدف فوق محتمل نمی‌باشد. بنابراین، استفاده از راه حل میانی که حاصل توافقی بین این اهداف باشد به نظر منطقی و مناسب می‌آید. در این راستا، استفاده از برنامه‌ریزی مصالحه‌ای می‌تواند راه‌کار مناسبی را ارائه نماید.

در بررسی جاری، ضمن معرفی روش برنامه‌ریزی مصالحه‌ای، کاربرد آن در سیاست‌گذاری‌های آتی و انتخاب بین گزینه‌های تأمین آب کشاورزی ارائه شد. نتایج به دست آمده نشان دهنده مزایای استفاده از این روش برنامه‌ریزی در مدیریت نهاده ارزشمند آب در منطقه مورد مطالعه، نسبت به مدل‌های بهینه‌سازی تک‌هدفی، است. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد که در انتخاب و ارزیابی اقتصادی گزینه‌های مطرح در تأمین آب کشاورزی برای منطقه مورد مطالعه، به جای مدل‌های برنامه‌ریزی سنتی تک‌هدفی، از روش برنامه‌ریزی ریاضی مصالحه‌ای استفاده شود.

به بحرانی در منطقه تبدیل شده است. در این رابطه، وجود باغات فراوان پسته در منطقه و کمبود آب کافی برای آبیاری از ویژگی‌های اصلی شهرستان رفسنجان است.

در سال‌های اخیر، برای حل مشکل کم‌آبی در منطقه مورد بررسی، به طور کلی، گزینه‌های زیر مطرح شده‌اند: الف) ادامه روند کنونی که نتیجه منطقی آن می‌تواند تخریب منابع آب و در نهایت نابودی باغات پسته باشد، ب) انتقال آب از سایر مناطق کشور به این منطقه که نیاز به سرمایه‌گذاری مالی و فنی عظیمی دارد ج) استفاده از روش‌های آب شیرین‌کن که آن هم تا حدود زیادی دارای مشکل گزینه دوم است و د) کاهش میزان مصرف آب تا سطح پایداری بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی.

نتایج به دست آمده از این مطالعه نشان داد که برای انتخاب گزینه برتر نمی‌توان تنها براساس یک معیار تصمیم‌گیری نمود. برای مثال، دنبال نمودن هدف حداکثر نمودن سود در هکتار می‌تواند برنامه بهینه را به سمت گزینه‌ای رهنمون کند که نتیجه نهایی آن تخریب آب باشد. همچنین، در صورتی که تنها هدف برنامه شامل بهره‌برداری پایدار از آب‌های زیرزمینی قرار داده شود و توجهی به سود باغ‌داران منطقه نشود، برنامه مورد قبول آنها واقع نخواهد شد و در صورت اجرا موجب ضرر و زیان باغ‌داران خواهد شد.

منابع مورد استفاده

1. شرکت سهامی آب منطقه‌ای کرمان. سال‌های مختلف. گزارش دشت‌های زیر حوزه رفسنجان، وزارت نیرو، کرمان.
2. Abo-Sinna, M.A. 2004. Multipleobjective programming problems: a survey and some applications. *Appl. Math. and Comput.* 57: 61-88.
3. Cohon, J.L., R.L. Church and D.P. Sheer. 1979. Generating multiobjective trade-offs: an algorithm for bicriteria problems. *Water Resour. Res.* 15: 1001-1009.
4. Cohon, J.L. and D.H. Marks. 1975. A review and evaluation of multiobjective programming techniques. *Water Resour. Res.* 11: 208-220.
5. Datta, B. and R.C. Peralta. 1986. Interactive computer graphics - based multiobjective decision-making for regional groundwater management. *Agric. Water Manag.* 11: 91-116.
6. Duckstein, L. and S. Opricovic. 1980. Multiobjective optimization in river basin development. *Water Resour. Res.* 16: 14-20.
7. Gershon, M., L. Duckstein and R. Mcaniff. 1982. Multiobjective river basin planning with qualitative criteria. *Water Resour. Res.* 18: 193-202.
8. Gisser, M. 1970. Linear programming models for estimating the agricultural demand function for imported water in the Pecos river basin. *Water Resour. Res.* 8: 1373-1384.
9. Haimes, Y.Y. and W.A. Hall. 1974. Multiobjective in water resource systems analysis. *Water Resour. Res.* 10: 615-624.

10. Hayashi, K. 2000. Multicriteria analysis for agricultural resource management: a critical survey and future perspectives. *Europ. J. Operational Res.* 122: 486-500.
11. Magnouni, S.E. and W. Treichel. 1994. A multicriterion approach to groundwater management. *Water Resour. Res.* 30: 1881-1895.
12. Makowski, M., L. Somlyódy and D. Watrins. 1996. Multiple criteria analysis for water quality management in the Nitra basin. *Water Resour. Res.* 32: 937-951.
13. Monarchi, D.E., C.C. Kisiel and L. Ducrstein. 1973. Interactive multiobjective programming in water resources: a case study. *Water Resour. Res.* 9: 837-850.
14. Romero, C., F. Amador and A. Barco. 1987. Multiple objectives in agricultural planning: a compromise programming application. *Am. J. Agric. Econ.* 69: 78-86.
15. Romero, C. and T. Rehman. 1984. Goal programming and multiple criteria decision-making in farm planning: an expository analysis. *J. Agric. Econ.* 35: 177-190.
16. Romero, C. and T. Rehman. 1985. Goal programming and multiple criteria decision-making in farm planning: some extensions. *J. Agric. Econ.* 36: 171-185.
17. Romero, C., T. Rehman and J. Domingo. 1988. Compromise risk programming for agricultural resource allocation problem: an illustration. *J. Agric. Econ.* 39: 271-276.
18. Shakya, K.M. and W.A. Leuchner. 1993. A multiple objective land use planning model for Nepal hills farms. *Agric. Sys.* 133-149.
19. Thampapalia, D.J. and J.A. Sinden. 1979. Trade - offs for multiple objective planning through linear programming. *Water Resour. Res.* 15: 1028-1033.
20. Torkamani, J. 2002. Incorporating multiple objectives in farm planning: application of goal programming technique. *Iran Agric. Res.* 21: 73-84.
21. Wills, C.E. and R.D. Perlack. 1980. A comparison of generating techniques and goal programming for public investment, multiple objective decision making. *Am. J. Agric. Econ.* 61: 66-74.
22. Zekri, S. and L.M. Albisu. 1993. Economic impact of soil salinity in agriculture: A case study of Bardens area, Spain. *Agric. Sys.* 41: 369-386.