**اقتصاد کشاورزی**/ جلد 3/ شماره‌ي 3/ صفحه‌هاي 160-143

# محاسبه‌ي شاخص**های پایداری آب کشاورزی توسط مدل برنامه‌ریزی کسری** (مطالعه‌ي موردي شهرستان مرودشت)

**سید نعمت‌اله موسوی و فریبا قرقانی***

تاریخ دریافت: 1387/8/15 تاریخ پذیرش: 1387/11/18

## چکیده

بخش کشاورزی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ي آب (95%-90) است، بنابراین استفاده‌ي پایدار از منابع آبی محدود در این بخش اهمیت بالایی دارد. با کمی کردن پایداری آب کشاورزی بر اساس نظریه‌هاي اقتصادی می‌توان از پایداري به عنوان شاخصی در مدیریت نظام‌های کشاورزی استفاده کرد. روش به کار رفته در مورد مسایل مربوط به پایداری سیستم‌های کشاورزی، برنامه‌ریزی غیرخطی با مدل برنامه‌ریزی کسری چند هدفی است که شاخص‌هاي مختلف را با فرض وزن‌های مساوی، مقایسه و بررسی می‌کند. به دلیل اهمیت میزان آب مصرفی کشاورزی، شاخص‌های پایداری نسبت درآمد ناخالص به استفاده از آب (3/06 و 0/53) و نسبت اشتغال به استفاده از آب (0/265 و 0/072) در دو سناریو در سال زراعی (86- 1385) شهرستان مرودشت به دست آمد. کاهش آب مصرفی محصولات از طریق فن‌آوري‌هاي جدید آبیاری و افزایش راندمان آبیاری در واحد سطح براي افزایش این شاخص‌ها، نشان‌دهنده‌ي حرکت در جهت پایداری آب کشاورزی است.

طبقه‌بندي **JEL** : **Q25**، **Q01**، **C33**، **C61**، **R32**

**واژه‌های کلیدی**: برنامه‌ریزی چندهدفه، برنامه‌ریزی کسری، پایداری آب کشاورزی

* استادیار و دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت
E-mail: mousavi_sn@yahoo.com

## مقدمه

پایداري شامل جنبه‌های اجتماعی- اقتصادی، زیستی و بوم‌شناسی است. از زمان شروع تفکرهاي اقتصادی و محیطی، پایداری به عنوان یک مفهوم طرح‌ریزی پدیدار شد و به طور وسیع برای برنامه‌ریزی و توسعه‌ي جوامع به کار گرفته شد (لنی، 1999). از اوایل دهه‌ي 1980 شاخص‌هاي توسعه‌ي پایدار در کشورهای در حال توسعه، مطرح شد. پایداری و توسعه‌ي پایدار در دو دهه‌ی اخیر، به محور اصلی مباحث در بسیاری از رشته‌های علمی تبدیل شده است. طبق تعریف کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه، توسعه‌ي پایدار عبارت است از توسعه‌ای که نیازهای حال را بدون لطمه زدن به توانایی نسل‌های آینده برای تامین نیازهایشان، فراهم کند (WCED, 1987[1]). این کمسیون سه مبنای ساده را در تعریف پایداری مورد تاکید قرار می‌دهد؛ جوامع پایدار جوامعی برابرنگر و منصف می‌باشند، تنش‌های جوامع پایدار مفهوم همگانی دارد و جوامع پایدار کلیه‌ي هزینه‌هاي اجتماعی و محیطی را در تصمیمات بخش عمومی و خصوصی لحاظ می کند ( بیتلی، 1995). در جهان کنونی توسعه‌ي پایدار که با کم‌ترین آسیب بر منابع طبیعی و محیط زیست انجام شود، اهمیت و جایگاه خاصی یافته است. بی‌شک دست‌یابی به چنین هدفی مستلزم توجه جدی به حفظ منابع طبیعی و استفاده‌ي بهینه از آن است (اسلامی و هم‌کاران، 1383).

از آن جا که این تعریف از توسعه‌ي پایدار مبتنی بر تامین اهدافی در ذات کیفی است، پس تحلیل کمی آن همواره چالش‌انگیز بوده است. البته در عین حال برخی از مطالعات شاخص‌هایی را که تاکنون ارایه شده است بسیار مفید و مطلوب می‌دانند. براي مثال (لی و هانگ ،2007)، معتقدند شاخص‌های پایداری ابزارهای موثری برای قضاوت در مورد توسعه‌ي پایدار هستند در حالی که به اعتقاد ویلسون و هم‌کاران (2007)، شاخص‌هاي توسعه‌ي پایدار نیاز به توسعه‌ي ساختار اساسی برای اتخاذ تصمیم در همه‌ي سطوح و هم‌کاری در قانون‌مندي پایداری هم‌زمان محیط و توسعه‌ي سیستم‌ها را دارند.

---

1-World Commission of Environment & Development (The Brundtland Report)

توسعه‌ي پایدار دارای ابعاد گسترده‌اي است، اما در خصوص بهره‌برداری از منابع تولیدی کشاورزی اهمیت این موضوع به طور خاص، برجسته و داراي اهمیت است. در بخش کشاورزی، توسعه‌ي پایدار بیش‌تر با عنوان کشاورزی پایدار مورد توجه بوده است. عبارت کشاورزی پایدار معانی گوناگونی دارد. برای متخصص کشاورزی، به مفهوم حفظ حرکت انقلاب سبز است؛ براي بوم‌شناس راه تامین مواد غذایی کافی بدون لطمه زدن به منابع طبیعی است؛ برای اقتصاددانان همان کارایی بلندمدت منابع و براي جامعه‌شناس و انسان‌شناس، آن دسته از عملیات کشاورزی است که ارزش‌های سنتی را حفظ می‌کند (کانوی و باربیر، 1990). کشاورزی پایدار معنای واحدی ندارد. هانسن (1996) دو بیان گسترده‌ي کشاورزی پایدار را تعریف کرد: اولی بر روش اصولی در پاسخ به اثرات منفی کشاورزی متداول و مرسوم متمرکز است و معنای دوم از روش مثبتی پیروی می‌کند، و بر توانایی سیستم‌های کشاورزی براي برآوردن تقاضاهاي متفاوت به واسطه‌ي زمان متمرکز است. کشاورزی پایدار نوعی کشاورزی است که در جهت منافع انسان بوده، کارایی بیش‌تري در استفاده از منابع دارد و با محیط در توازن است. این تعریف با عوامل در حال تغییر اجتماعی و سیاسی در توسعه‌ي کشاورزی هماهنگی دارد.

الگوي استفاده از نهاده‌ها در کشاورزی پایدار مهم‌ترین بحث است. از میان نهاده‌ها نیز کاهش هم‌زمان استفاده از نهاده‌های شیمیایی و آب بیش‌تر مورد توجه است؛ به گونه‌ای که مطالعاتی هم‌چون (سیمن، 2006) و (لاتینوپولوس و مایولوپولوس، 2005) هدف زیست‌محیطی را به صورت کاهش کود شیمیایی یا کاهش ورود نیتروژن به خاک بیان کرده‌اند. در مطالعه‌ي (گومزلیمون و بربل، 2000) کاهش مصرف آب و کود شیمیایی به عنوان هدف زیست‌محیطی مطرح شد. برخی از مطالعات مانند (بارتولینی و هم‌کاران، 2007) دامنه‌ي ملاحظات زیست‌محیطی را افزایش داده و کاهش مصرف سموم شیمیایی را نیز به اهداف زیست‌محیطی اضافه کرده‌اند. آن چه در تمامی این مطالعات مورد تاکید بوده است کاهش استفاده از نهاده‌ها براي حفظ قابلیت آن‌ها برای آینده است.

بریم‌نژاد و صدرالاشرافی (1382)، در تعیین الگوی کشت محصولات زراعی شهرستان کرمان شاخص‌های پایداری را وارد الگو کردند. در این مطالعه الگوی کشت شامل گندم و سیب‌زمینی با شاخص نسبت درآمد ناخالص به استفاده از آب برابر 80 و شاخص نسبت اشتغال به استفاده از آب برابر 0/071 به دست آمد. هم‌چنین بریم‌نژاد و یزدانی (1383) با استفاده از کالیبره کردن راندمان آبیاری و ارزیابی شاخص‌های پایداری آب توسط برنامه‌ریزی کسری چندهدفه، پایداری در مدیریت آب را تحلیل کردند. در این مطالعه مشخص شد در راندمان 35% مقادیر کارایی از نسبت‌های درآمد ناخالص به آب، شاخص پایداری برابر 15 است در حالی که در راندمان آبیاری 75% مقدار این شاخص به 32/2 افزایش می‌یابد.

در استان فارس نهاده‌ي آب با توجه به شرایط بحرانی سال‌های اخیر به طور خاص باید مورد توجه قرار گیرد. آب از جمله نهاده‌های مهم کشاورزی است که در توسعه‌ي کشاورزی پایدار نقش مهمی را ایفا می‌کند (کشاورز و صادق‌زاده، 1380). آب از دیرباز مهم‌ترین عامل توسعه در جهان بوده است. در مطالعه‌ي گومزلیمون و بربل (2000) و بارتولینی و هم‌کاران (2007)، کاهش مصرف آب نیز به عنوان یک هدف زیست‌محیطی مورد توجه قرار گرفت. بیش‌تر کشورها در حوزه‌ي مدیترانه و سایر مناطق خشک و نیمه‌خشک درگیر مسایل مربوط به کم‌آبی هستند. شکاف بین عرضه و تقاضای آب ارتباط نزدیکی با تولید کشاورزی، شرایط محیطی و تغییرات آب‌وهوایی دارد (اورون و هم‌کاران، 2007).

بنابراین بر اساس آن چه گفته شد تحلیل الگوی استفاده از نهاده‌ها و بویژه آب و سنجش میزان هم‌راستایی آن‌ها با شاخص‌های پایداری از اهمیت خاصی برخوردار است. این امر در استان فارس که از نقطه نظر کشاورزی در ایران از جایگاه مهمی برخوردار است می‌تواند به شکل ویژه‌اي مورد توجه باشد. به همین منظور در مطالعه‌ي کنونی سعی شده است الگویی براي بهره‌وري منطقه‌ي مرودشت ارایه شود که با دخالت دادن تمایلات بهره‌برداران به شاخص‌های پایداری نیز توجه شود.

**روش تحقیق**

به طور کلی جنبه‌های مختلف مورد توجه در پایداری به شرح زیر است (ویلسون و همکاران، 2007):

1- اثر اکولوژیکی (EF)[1]: نیازهای انسان را در طبیعت اندازه‌گیری می‌کند و سنجش کمی بهره‌وری مناطق را از لحاظ بیولوژیکی، میزان طبیعی منابع مورد نیاز برای منابع ضروری (غذا، انرژی و مواد دیگر) فراهم می‌کند.

2- ظرفیت محیط زیستی مازاد (SB)[2]: پایداری الگوهای مصرفی و بویژه تفاوت بین اثر اکولوژیکی کشور و تولید ناخالص مناطقی را که دارای آب و زمین تولیدی هستند، ارزیابی می‌کند.

3- شاخص پایداری محیطی (ESI)[3]: شاخص مرکب از معیارهای محیط زیستی و اقتصادی- اجتماعی به عنوان ابزاری برای ارزیابی پایداری است.

4- شاخص تندرستی (WI)[4]: شاخص ترکیبی ارزیابی تندرستی اکوسیستم و انسان است.

5- شاخص توسعه‌ی انسانی(HDI)[5]: شاخص توسعه‌ی انسانی ملت‌های متحد یکی از گسترده‌ترین مقیاس‌های تشخیص توسعه، اندازه‌گیری سه بعد اصلی توسعه‌ی انسانی (زندگی سالم و طولانی، دانش و استاندارد زندگی درست) است.

6- تولید ناخالص داخلی (GDP)[6] : به طور معمول به عنوان مقیاس وسعت بهره‌وری اقتصادی به کار می‌رود و به عنوان نماینده‌ی پیش‌رفت و عملکرد اقتصادی ارزیابی می‌شود. پایداری محیطی را می‌توان اندازه‌گیری کرد، اما چنین اندازه‌گیری نمی‌تواند به صورت کامل صورت گیرد.

---

1 -Ecological Footprint
2 -Surplus Bio-capacity measure
3 -Environmental Sustainability Index
4 -Wellbeing Index
5 -Human Development Index
6 -Gross Domestic Product

در این مطالعه همانند الگوی لارا و میناسیان (1999) از دو شاخص نسبت درآمد ناخالص به آب مصرفی و نسبت اشتغال به آب مصرفی برای محاسبه‌ي پایداری استفاده شد. به این ترتیب که با استفاده از برنامه‌ریزی کسری، دو شاخص برای پایداري منابع آب در شهرستان مردوشت محاسبه شد. این شاخص‌ها عبارت است از نسبت درآمد خالص به استفاده از آب و نسبت سطح اشتغال به استفاده از آب که به صورت حداکثرسازی (بیشینه‌سازي) تابع هدف تعریف شدند.

## برنامه‌ریزی کسری[1]

مدل‌بندي برنامه‌ریزی کسری خطی چندهدفه براي محاسبه‌ي شاخص‌های پایداری به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{Max } \frac{c^T x+\alpha}{d^T x+\beta} \\ &\text{s.t} \quad Ax=b \\ &\quad x\geq 0, c^T, d^T \in R^n \\ &\quad A\in R^{m\times n}, \alpha,\beta\in R. \end{aligned} \qquad (1)$$

در رابطه‌ي بالا دو مساله‌ي برنامه‌ي ریاضی دیده می‌شود: $F(x)$ ,$G(x)$ مشروط بر $\chi\in\Delta$. هر یک از این توابع هدف، نشان‌دهنده‌ي هدف برنامه‌ریزی خطی با محدویت مورد نظر هستند که بسته به شرایط می‌تواند بیشینه یا کمینه شود و از تقسیم این اهداف بر یک‌دیگر ($Z_i$) بایستی نسبت این دو هدف با توجه به محدودیت‌هاي مدل ( AX=b) بیشینه شود که این می‌تواند در قالب چندین تابع هدف با خارج‌قسمت توابع $Z_i$ : i=1,2,3,... باشد.

$$\begin{aligned} &\text{Max } Z_i(x)=\text{Max}\{Z_1(x),Z_2(x),...,Z_k(x)\} \\ &\text{s.t} \quad x\in X=\{x\in R^n, Ax\leq b, x\geq 0\} \\ &\text{with} \quad b\in R^n, A\in R^{m\times n} \qquad Z_i(x)=\frac{c_i x+\alpha_i}{dx+\beta_i}=\frac{F_i(x)}{G_i(x)} \\ &c_i, d_i\in R^n \quad \text{and} \quad \alpha,\beta\in R, D_i(x)>0, \forall i. \\ &\text{Max} Z_i(x)=Z_i^*, \forall i, \quad x_i^*=(x_{i1}, x_{i2},..., x^*_{in}), \text{for} \quad i=1,...,k. \end{aligned} \qquad (2)$$

---

1 - Fractional Programming

منطقه‌ي مورد مطالعه شهرستان مرودشت است. اطلاعات آماری در این مطالعه از سازمان جهاد کشاورزی استان فارس به دست آمد. داده‌های مورد استفاده برای سال زراعی (86-1385) و شامل مقادیر سطح زیر کشت محصولات، نهاده‌های مصرفی و هم‌چنین قیمت آن‌ها است، از جمله زمین و کود که در قالب محدودیت‌هاي مدل آورده شده است. براي برآورد الگوی بهنیه نیز از بسته‌ي نرم‌افزاري QSB استفاده شد.

## نتایج و بحث

### الگوی کشت بهره‌برداران

با بررسی الگوی بهره‌برداران منطقه‌ي مرودشت، الگویی با هدف تامین هم‌زمان اهداف بهره‌برداران ارایه شده است. روش تحقیق برای مطالعه‌ي نظام کشاورزی که دارای ده فعالیت مختلف است بر چهار هدف عمده تمرکز یافته است؛ اما چون مخرج کسر یکسان است در مدل برنامه‌ریز کسری تنها شامل سه هدف بیشینه کردن هدف درآمد ناخالص و اشتغال و کمینه کردن آب مصرفی است. در این مدل محدودیت‌ها شامل زمین و کود است که براي به دست آوردن میزان موجودی آنها از روش کالیبراسیون استفاده شد (جدول‌هاي شماره‌ي 2 و3). با استفاده از کالیبره کردن، میزان مقادیر موجود کود و زمین و آب محاسبه شد و در مراحل بعدی به عنوان محدویت در توابع هدف ماکزیمم درآمد ناخالص و اشتغال و کمینه آب مصرفی استفاده شد.

در جدول (1) سطح زیرکشت و بازده ناخالص فعلی در هر هکتار و هم‌چنین الگوی استفاده از نهاده‌ها براي محصولات منطقه‌ي منتخب ارایه شده است.

**جدول (2). ماتریس ضرایب فنی شهرستان مرودشت، سال زراعی 86-1385**

| محصولات زراعی | | گندم | جو | ذرت | برنج | کلزا | آفتابگردان | گوجه‌فرنگی | سیب‌زمینی | چغندرقند | یونجه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هدف‌ها و محدودیت‌ها | | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ | $X_5$ | $X_6$ | $X_7$ | $X_8$ | $X_9$ | $X_{10}$ |
| درآمد ناخالص (10000 ریال) | max | 1127/5 | 1560 | 3585 | 4400 | 1073 | 25 | 12000 | 5000 | 2750 | 15300 |
| اشتغال (ساعت) | max | 200 | 190 | 205 | 240 | 195 | 190 | 5054 | 220 | 400 | 280 |
| آب مصرفی (مترمکعب) | min | 10000 | 7000 | 17000 | 25000 | 9000 | 5000 | 12000 | 15000 | 18000 | 20000 |
| زمین (هکتار) | =135000 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| کود (کیلوگرم) | ≤ 79609500 | 600 | 400 | 800 | 400 | 500 | 500 | 1250 | 750 | 600 | 550 |
| سطح زیر کشت فعلی محصولات (هکتار) | | 64000 | 12600 | 25500 | 25600 | 2250 | 214 | 2600 | 20 | 850 | 950 |

**منبع**: اداره‌ي جهاد کشاورزی مرودشت

## محاسبه‌ي مقادیر موجود با استفاده از کالیبره کردن مدل

هدف این بخش، محاسبه‌ي میزان آب و کود مورد نیاز برای الگوی کشت است که تابع هدف بیشینه درآمد ناخالص و محدودیت‌ها شامل محدودیت‌های سطح زیر کشت هریک از محصولات، محدودیت کود و محدودیت آب است. با استفاده از داده‌هاي جدول (1) و روش کالیبره کردن مقادیر کود و آب محاسبه شد.

$$Max.Z = 1127.5X_1 + 1560X_2 + 3585X_3 + 4400X_4 + 1073X_5 + 25X_6 + 12000X_7 + 5000X_8 + 2750X_9 + 15300X_{10}$$

S.t

:

$$1) x_1 \le 64000$$

$$2) x_2 \le 12600$$

$$3) x_3 \le 25500$$

$$4) x_4 \le 25600$$

$$5) x_5 \le 2250$$

$$6) x_6 \le 214$$

$$7) x_7 \le 2600$$

$$8) x_8 \le 20$$

$$9) x_9 \le 850$$

$$10) x_{10} \le 950$$

$$11) 10000 x_1 + 7000 x_2 + 17000 x_3 + 25000 x_4 + 9000 x_5 + 5000 x_6 + 12000 x_7 + 15000 x_8 + 18000 x_9 + 20000 x_{10} - \text{water} \le 0$$

$$12) 600 x_1 + 400 x_2 + 800 x_3 + 400 x_4 + 500 x_5 + 500 x_6 + 1250 x_7 + 750 x_8 + 600 x_9 + 550 x_{10} - \text{fertilizer} \le 0$$

$$x_1, ..., x_{10} \ge 0$$

با محاسبه‌ي برنامه‌ریز خطی بالا مقادیر سمت راست محدودیت‌هاي مدل (آب و کود) حاصل می‌شود. به همین ترتیب برای اشتغال میزان آن محاسبه می‌شود. در مدل برنامه‌ریزی خطی بالا تابع هدف بیشینه درآمد خالص همه‌ي محصولات است که ضرایب آن درآمد هر یک هکتار از محصولات را نشان می‌دهد. این مدل دارای 12 محدویت است که محدودیت‌هاي 1 تا 10 نشان‌دهنده‌ي این است که سطح زیر کشت محصولات از سطح زیر کشت فعلی بیش‌تر نشود، اما محدودیت‌هاي 11 و 12 مدل را کالیبره می‌کند که بیشینه میزان موجودی کود و آب با حل مدل به دست می‌آید. مشابه همین عمل برای تابع بیش‌ترین اشتغال انجام می‌شود که مقادیر کالیبره و هم‌چنین بیشینه میزان اشتغال و درآمد در جدول (2) نشان داده شده است:

**جدول (2). مقادیر سمت راست محدویت‌هاي برنامه‌ریز خطی توابع هدف**

| مقادیر حاصل از کالیبراسیون | بیشینه درآمد ناخالص | بیش‌ترین اشتغال |
|---|---|---|
| میزان موجودی کود مصرفی در هکتار (کیلوگرم) | 79609500 | 79609500 |
| میزان موجودی آب مورد استفاده در هکتار (متر مکعب) | 188882000 | 188882000 |
| مقدار تابع هدف | 346465600 | 40795710 |

**مأخذ**: یافته‌های تحقیق

میزان موجودی کود مصرفی حاصل از بیشینه کردن درآمد و اشتغال معادل 79609500 می‌باشد و میزان موجودی آب مصرفی حاصل از آن‌ها نیز معادل 188882000 است. با قرار دادن این مقادیر در مساله‌ي برنامه‌ریزی خطی به عنوان محدودیت، الگوی کشت بهینه با استفاده از تابع ماکزیمم درآمد و اشتغال با محدودیت‌های آب، زمین و کود محاسبه می‌شود.

**بیشینه کردن درآمد ناخالص**:

$$\text{Max .Z}: 1127.5X_1 + 1560X_2 + 3585X_3 + 4400X_4 + 1073X_5 + 25X_6 + 12000X_7 + 5000X_8 + 2750X_9 + 15300X_{10}$$

S.t :

$$1)\ x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \le 134584$$

$$2)10000x_1 + 7000x_2 + 17000x_3 + 25000x_4 + 9000x_5 + 5000x_6 + 12000x_7 + 15000x_8 + 18000x_9 + 20000x_{10} \le 1888820000$$

$$3)600x_1 + 400x_2 + 800x_3 + 400x_4 + 500x_5 + 500x_6 + 1250x_7 + 750x_8 + 600x_9 + 550x_{10} \le 79609500$$

$$x_1,\ldots,x_{10} \ge 0$$

**بیشینه کردن اشتغال**:

$$\text{Max .Z}: 200X_1 + 190X_2 + 205X_3 + 240X_4 + 195X_5 + 190X_6 + 5054X_7 + 220X_8 + 400X_9 + 280X_{10}$$

S.t :

$$1)x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \le 134584$$

$$2)10000x_1 + 7000x_2 + 17000x_3 + 25000x_4 + 9000x_5 + 5000x_6 + 12000x_7 + 15000x_8 + 18000x_9 + 20000x_{10} \le 1888820000$$

$$3)600x_1 + 400x_2 + 800x_3 + 400x_4 + 500x_5 + 500x_6 + 1250x_7 + 750x_8 + 600x_9 + 550x_{10} \le 79609500$$

$$x_1,\ldots,x_{10} \ge 0$$

**جدول (3). نتایج به دست آمده از توابع برنامه‌ریزی خطی با مقادیر کالیبره**

| | درآمد ناخالص | اشتغال |
|---|---|---|
| مقدار تابع هدف | 2885697000 | 321877200 |
| محصول (هکتار) | چغندرقند: 104934/4 | گوجه‌فرنگی: 63687/6 |

**ماخذ**: یافته‌های تحقیق

با قرار دادن مقادیر حاصل از کالیبراسیون در رابطه با بیشینه موجودی آب و وکـود، دوبـاره به حل مدل برنامه‌ریزی خطی بیشینه‌ي تابع هدف درآمد ناخالص و اشتغال پرداخته مـی‌شـود. نتایج حاصل از حل مدل برنامه‌ریزی خطی نشان می‌دهد که الگوی کشت بهینه برای به دسـت آوردن بیش‌ترین سود، با محدودیت آب و کود و زمین، 104934/4 هکتار چغندرقنـد اسـت و نیز با بیش‌ترین اشتغال، 63687/6 هکتار گوجه‌فرنگی اسـت و مقـادیر تـابع هـدف نـسبت بـه حالت قبل بیش‌تر شده است. با وجود محدودیت‌هاي بـالا بـراي بـه دسـت آوردن دو هـدف اشتغال و درآمد در سطح منطقه تنها دو محصول چغندرقند و گوجه‌فرنگی جواب‌گـوي منطقـه است یعنی این که تنها با کشت این دو محصول از بین ده محصول منتخب منطقه، می‌تـوان بـه دو هدف گفته شده دست یافت.

### محاسبه‌ي برنامه‌ریزی کسری

هدف مورد تعقیب عبارت است از تامین هم‌زمان بیش‌ترین سود و اشتغال و کـم‌تـرین آب مصرفی. مساله‌ي ارایه شده در جدول (1) مساله‌ي برنامه‌ریزی خطی چندهدفی اسـت کـه سـه هدف بیش‌ترین درآمد ناخالص و اشتغال و کمینه کردن آب مصرفی با محدودیت‌هاي مشترك زمین و کود و سطح زیرکشت فعلی محصولات منطقه در آن دیده می‌شود.

از تقسیم مقادیر هدف دو الگوی بیشینه‌کننده‌ي درآمد ناخالص و اشتغال منطقـه بـه مقـدار هدف الگوی کمینه کردن آب مصرفی و دو شاخص نسبت درآمد ناخالص به اسـتفاده از آب و شاخص نسبت سطح اشتغال به استفاده از آب به دست می‌آید. تحلیل پایداری تحت دو فرض در قالب دو سناریو صورت گرفت.

### سناریوی اول: محاسبه‌ي شاخص پایداری با فرض استفاده از همه‌ي زمین موجود

در این حالت فرم برنامه‌ریز کسری برای دو تابع به صورت زیر است که مقادیر هر یـک از توابع صورت کسر، بالاترین یا بیش‌ترین درآمد و اشتغال می‌باشد و مخرج کسر همان کم‌تـرین

آب مصرفی محصولات کشاورزی است. فرم کسری این توابع به صورت ($Z_1$) و ($Z_2$) در زیر آمده است. در جدول (5) مقادیر حاصل از حل مدل و هم‌چنین شاخص‌ها محاسبه می‌شود.

$$\text{Max } Z=(Z_1, Z_2)$$

$$\text{eff}\left\{\begin{array}{l} Z_1=\dfrac{1127.5x_1+1560x_2+3585x_3+4400x_4+1073x_5+25x_6+12000x_7}{10000x_1+7000x_2+17000x_3+25000x_4+9000x_5+5000x_6+12000x_7} \\ \dfrac{+5000x_8+2750x_9+15300x_{10}}{+15000x_8+18000x_9+20000x_{10}}, \\ Z_2=\dfrac{200x_1+190x_2+205x_3+240x_4+195x_5+190x_6+504x_7}{10000x_1+7000x_2+17000x_3+25000x_4+9000x_5+5000x_6} \\ \dfrac{+220x_8+400x_9+280x_{10}}{+12000x_7+15000x_8+18000x_9+20000x_{10}} \end{array}\right\}$$

$$St:$$

$$1)1x_1+1x_2+1x_3+1x_4+1x_5+1x_6+1x_7+1x_8+1x_9+1x_{10}=135000$$

$$2)600x_1+400x_2+800x_3+400x_4+500x_5+500x_6+1250x_7+750x_8+600x_9+$$
$$550x_{10}\le 118140000$$

$$x_1,\ldots x_{10}\ge 0$$

**جدول (4). مقادیر حاصل از برنامه‌ریزی کسري (سناریوی اول)**

| محصول | بیشینه درآمد | بیشینه اشتغال | کمینه آب مصرفی |
|---|---|---|---|
| گندم | 0 | 0 | 0 |
| جو | 0 | 0 | 0 |
| ذرت | 0 | 0 | 0 |
| برنج | 0 | 104259/4 | 0 |
| کلزا | 0 | 0 | 0 |
| آفتابگردان | 0 | 0 | 134584 |
| گوجه‌فرنگی | 0 | 30324/59 | 0 |
| سیب‌زمینی | 0 | 0 | 0 |
| چغندرقند | 0 | 0 | 0 |
| یونجه | 134584 | 0 | 0 |
| مقادیر تابع هدف | 2059135000 | 178282800 | 672920000 |
| شاخص‌ها $\frac{\text{Max}}{\text{Min}}$ (پایداری آب) | 3/06 = شاخص درآمد به مصرف آب | | 0/2649 = شاخص اشتغال به مصرف آب |

**ماخذ**: یافته‌های تحقیق

در جدول (4) با محاسبه‌ي برنامه‌ریزی خطی بیشینه درآمد ناخالص با محدودیت زمین و کود، محصول یونجه در الگوی کشت بهینه 134584 هکتار است که با این میزان 2059135000 سود حاصل می‌شود و هم‌چنین با محاسبه‌ي بیش‌ترین اشتغال، الگوی کشت بهینه 104259/4 محصول برنج و 30324/59 گوجه‌فرنگی است که با این مقادیر178282800 اشتغال حاصل می‌شود. در شرایط کمینه کردن آب مصرفی الگوی کشت بهینه 134584 هکتار آفتابگردان است که با مصرف 672920000 متر مکعب میزان آب است.

براي محاسبه‌ي شاخص پایداری از نسبت مقادیر دو هدف درآمد ناخالص به آب، شاخص برابر با 3/06 و هم‌چنین از نسبت دو مقدار اشتغال به استفاده از آب شاخص برابر با 0/265 به دست آمد. محصولاتی که از حل مدل به دست آمده بیانگر این مساله است که در شرایط کمینه کردن آب مصرفی با کاشت محصولاتی مثل برنج، گوجه‌فرنگی، یونجه و آفتابگردان می‌توان به بیش‌ترین درآمد ناخالص و هم‌چنین بیش‌ترین اشتغال نیروی کار در واحد سطح دست یافت.

## سناریوی دوم: محاسبه‌ي شاخص پایداری با فرض وجود محصولات استراتژیک (گندم، جو، ذرت و چغندرقند)

سناریوي دوم با توجه به اهمیت محصولات گفته شده در منطقه بررسی شد. با فرض این که این محصولات اساسی به اندازه‌ي مقادیر سطح زیر کشت فعلی در مدل وجود داشته باشد که مقادیر سطح زیر کشت آن‌ها به عنوان محدودیت مدل در نظر گرفته می‌شود. نتایج حاصل از حل مدل در جدول (5) آمده است.

$$\text{Max } Z = (Z_1, Z_2)$$

S.t:

$$1)\ x_1 = 64000$$

$$2)\ x_2 = 12600$$

$$3)\ x_3 = 25500$$

$$4)\ x_4 = 850$$

$$5)1x_1+1x_2+1x_3+1x_4+1x_5+1x_6+1x_7+1x_8+1x_9+1x_{10}\le 135000$$

$$6)600x_1+400x_2+800x_3+400x_4+500x_5+500x_6+1250x_7+750x_8+600x_9+550x_{10}\le 118140000$$

**جدول (5). مقادیر حاصل از برنامه‌ریزی کسری (سناریوی دوم)**

| محصول | بیش‌ترین درآمد | بیش‌ترین اشتغال | کم‌ترین آب مصرفی |
|---|---|---|---|
| گندم | 64000 | 64000 | 64000 |
| جو | 12600 | 12600 | 12600 |
| ذرت | 25000 | 25000 | 25000 |
| برنج | 0 | 0 | |
| کلزا | 0 | 0 | 0 |
| آفتابگردان | 0 | 0 | |
| گوجه‌فرنگی | 0 | 12527/60 | 0 |
| سیب‌زمینی | 0 | 0 | 0 |
| چغندرقند | 850 | 850 | 850 |
| یونجه | 28471/830 | 0 | 0 |
| مقادیر تابع هدف | 619397400 | 83973510 | 1168500000 |
| شاخص‌ها $\frac{\text{Max}}{\text{Min}}$ (پایداری آب) | 0/530= شاخص درآمد به مصرف آب | | 0/072= شاخص اشتغال به مصرف آب |

**ماخذ**: یافته‌های تحقیق

در جدول (5) با محاسبه‌ي برنامه‌ریزی خطی بیش‌ترین درآمد ناخالص با محدودیت زمین و کود و هم‌چنین با قرار دادن سطح زیر کشت فعلی این محصولات؛ گندم 64000 هکتار، جو 12600 هکتار، ذرت علوفه‌اي و دانه‌اي 25000 هکتار و چغندرقند850 هکتار در محدودیت مدل مقادیر الگوی کشت بهینه به دست می‌آید. افزون بر محصولات اساسی در الگوی کشت بهینه، محصول یونجه 28471/830 هکتار است که با وجود این محصولات میزان619397400 سود حاصل می‌شود و هم‌چنین با محاسبه‌ي بیش‌ترین اشتغال، الگوی کشت بهینه 12527/60 گوجه‌فرنگی است که با این مقادیر بیشینه اشتغال 83973510 است. در شرایط کمینه کردن آب مصرفی الگوی کشت بهینه مقادیر محصولات استراتژیک است که با مصرف

1168500000 متر مکعب میزان آب است. در این حالت افزون بر وجود محصولات اساسی، محصولاتی هم‌چون یونجه برای افزایش درآمد و گوجه‌فرنگی برای بیشینه اشتغال برای دست‌یابی به هدف‌های یاد شده است.

همان طور که در جدول (5) دیده می‌شود، برای محاسبه‌ی شاخص پایداری از نسبت مقادیر دو هدف درآمد ناخالص به آب، شاخص برابر با 530/ 0 و هم‌چنین از نسبت دو مقدار اشتغال به استفاده از آب شاخص برابر با 0/072 به دست آمد. محصولاتی که از حل مدل به دست آمده بیانگر این مساله است که در شرایط کمینه کردن آب مصرفی، افزون بر محصولات اساسی با کاشت محصولاتی مثل گوجه‌فرنگی و یونجه می‌توان به بیش‌ترین درآمد ناخالص و هم‌چنین بیش‌ترین اشتغال نیروی کار در واحد سطح دست یافت. گفتنی است که استان فارس در تولید گوجه‌فرنگی در کشور دارای مقام اول است.

با مقایسه‌ی دو جدول (4) و (5)، متوجه می‌شویم که با اضافه کردن محصولات استراتژیک، میزان آب مصرفی بیش‌تر شده است. همان طور که در گذشته هم گفته شد با افزایش آب مصرفی اندازه‌ی شاخص، کاهش یافته به صورتی که شاخص درآمد ناخالص به آب مصرفی از 3/06 به 0/530 و شاخص میزان اشتغال به آب مصرفی از 0/2649 به 0/072 کاهش یافته است. البته با راه‌های مدیریت بهینه‌ی مصرف آب می‌توان میزان آب مصرفی را کاهش داد و میزان این دو شاخص را افزایش داد.

## نتیجه‌گیری و پیش‌نهادها

از نکات بارز در ارتباط با کشاورزان این شهرستان، تمایل به مصرف زیاد کودهای شیمیایی (ازته، فسفاته و مایع) برای افزایش عمل‌کرد است که این روند مصرف در بلندمدت به ساختمان خاک و نیز با نفوذ به آب‌های زیرزمینی آسیب می‌رساند. در شهرستان مرودشت با الگوی کشت گوجه‌فرنگی، برنج، آفتابگردان و یونجه شاخص درآمد ناخالص به استفاده از آب 3/06 و شاخص اشتغال به استفاده از آب 0/265 محاسبه شد و نیز با احتساب محصولات استراتژیک هم‌چون گندم، جو ، ذرت و چغندرقند شاخص درآمد ناخالص به استفاده از آب

0/530 و شاخص اشتغال به استفاده از آب 0/072 به دست آمد که نسبت به حالت قبل کاهش داشته است. همان‌طور که مشخص است با افزایش این نسبت‌ها، در جهت پایداری سیستم کشاورزی حرکت می‌شود؛ زیرا از یک طرف مقادیر درآمد ناخالص و اشتغال بیشینه شده و از طرف دیگر مقدار استفاده از آب به کم‌ترین میزان رسیده است. سیاست‌گذاران نیز بایستی هم‌گام با برنامه‌ریزی بر اساس الگوی کشت کشاورزان به حفظ و افزایش شاخص‌های پایداری در راستای کشاورزی پایدار نیز توجه خاصی داشته باشند. برای افزایش این شاخص‌ها با توجه به نتایج به دست آمده از شاخص‌های پایداری، موارد زیر پیش‌نهاد می‌شود:

1. به کارگیری فن‌آوری‌های جدید آبیاری برای کاهش میزان آب مصرفی و افزایش شاخص‌های پایداری.
2. کاهش میزان کود مصرفی در جهت کاهش خسارت‌های زیست‌محیطی.
3. لحاظ کردن محصولات استراتژیک در الگوی کشت هم‌راه با افزایش راندمان آبیاری.
4. واردن گردن گوجه‌فرنگی و یونجه در الگوی کشت برای افزایش دو شاخص پایداری.

## منابع


اسلامی، م. و صدرالاشرافی، م. (1383). مدیریت مصرف و بهره‌برداری منابع آب: مطالعه‌ی موردی دشت بهاباد، یزد. مجله‌ی علوم کشاورزی، 10(4): 37-29.

بریم‌نژاد، و. و یزدانی، س. (1383). تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی با استفاده از برنامه‌ریزی کسری: مطالعه‌ی موردی استان کرمان. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، (63): 16-2.

بریم‌نژاد، و. (1385). برنامه‌ریزی کسری، ابزاری برای اندازه‌گیری شاخص‌های کمی پایداری در بخش کشاورزی. فصل‌نامه‌ی اقتصاد کشاورز ی و توسعه،(54): 196-179.

جهاد کشاورزی شهرستان مرودشت. پرسش‌نامه‌ی هزینه‌ی تولید محصولات کشاورزی سال زراعی (1386-1385).

کشاورز، ع. و صادق‌زاده، ك. (1380). مـدیریت مـصرف آب در بخـش کـشاورزی. نـشریه‌ي شکرشکن، (57): 38-32.

Bartolini, F., Bazzani, G. M., Gallerani, V., Raggi, M. and Viaggi, D. (2007). the impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models. *Agricultural Systems*, 93: 90-114.

Beatley, T. (1995b). Planning and Sustainability: The elements of a new (Improved) paradigm. *Journal of Planning Literature*, 9(4): 95-383.

Berbel, J. and Gomez-limon, J. A. (2000). the impact of water-pricing policy in Spain: An analysis of three irrigated areas. *Agriculture Water Management*, 43: 219-238.

Canway, G. R. and Barbier, E. B. (1990). After the Green Revolution. *Sustainable Agriculture for Development*. Earthscan, London.

Chaturvedi, M.C. (2001). Sustainable development of Indian's water: some policy issues. *Water Policy*, 3: 297-320.

Dutta, D. and Tiwari, R. (1992). Multi objective linear fractional programming-A fuzzy set theoretic approach. *Fuzzy Set and Systems*, 52: 39-45.

Hansen, J. W. (1996). Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural Systems*. 50(1): 117-143.

Lal, R. (1991). Soil structure and sustainability. *Journal of sustainable agriculture*, 1: 67-92.

Lara, p. and Stancu-Minasian, I. (1999). Fractional Programming: A tool for the assessment of sustainability. *Agricultural Systems*, 69: 131-141.

Latinopoulos, D. and Mylopoulos, Y. (2005). optimal allocation of land and water resources in irrigated agriculture by means of Goal Programming: Application in Loudias River basin. *Global Nest Journal*, 7: 264-273.

Lee, Y. and Huang, C. M. (2007). Sustainability index for Taipei. *Environment Impact Assessment Review*, 27: 505-521.

Oron, G. and Gillerman, L. (2008). Membrane technology for advanced waste water reclamation for sustainable agriculture production. *Desalination*, 218: 170-180.

Seaman, J., Flichman, G., Scardigo, A. and Steduto, P. (2006). Analysis of nitrate pollution control in the irrigated agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A bio-economic modeling approach, *Agricultural System*s, Article in press.

Tantaway, S. F. (2007). Using feasible Directions to solve linear fractional programming problems. *Australian Journal of Basic* A*pplied Science*, 1(2): 109-114.

Wilson. J., Tyedmers, P. and Pelot, R. (2007). Contrasting and comparing sustainable development indicator metrics. *Ecological Indicators*, 7: 299-314.

World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). Our common future. Oxford: Oxford University Press.

Yale Center for Environmental Law and Policy. (2005). Environmental Sustainability Index.