

اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال بیست و دوم، شماره ۸۷، پاییز ۱۳۹۳

## بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی در منطقه کاشمر

رویا تیموری راد<sup>۱</sup>، محمود صبوحی صابونی<sup>۲</sup>، حمید محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۱۹

### چکیده

با توجه به مسئله هدفمند کردن یارانه‌ها و تأثیراتش بر قیمت و به دنبال آن الگوی مصرف نهاده‌ها، باید به بهینه‌سازی مصرف نهاده انرژی توجه بیشتری کرد. هدف از مطالعه حاضر نیز بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی منطقه کاشمر با استفاده از اطلاعات سال زراعی ۱۳۸۸-۱۳۸۹ است. مدل به کار رفته برنامه‌ریزی چندهدفه با پارامترهای بازه‌ای است. در ابتدا، میزان انرژی ورودی هر یک از محصولات و سهم مصرف انرژی هر نهاده در تولید برآورد شد و سپس با در نظر گرفتن اهداف و محدودیت‌ها به بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی منطقه مورد مطالعه پرداخته و الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن سطوح مختلف نهاده در دسترس ارائه شد. در نهایت، با توجه به هم‌ارزهای انرژی نهاده‌ها، مقادیر بهینه

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۳. استادیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل (نویسنده مسئول)

مصرف انرژی برای هر یک از نهاده‌ها در سطوح مختلف ریسک محاسبه و با مقادیر واقعی مقایسه شد. نتایج نشان داد که در شرایط بدون ریسک در مقایسه با شرایطی که در آن مقادیر ریسک ۱/۶۵ و ۱/۹۶ در نظر گرفته شد، اختلاف بین مقادیر واقعی و بهینه مصرف انرژی نهاده‌ها کمتر است. در شرایطی که ریسک در مدل لحاظ می‌شود، اختلاف مقادیر بهینه و واقعی مصرف انرژی بیشتر شد. نهاده آب در کلیه سطوح بیشترین اختلاف را در مقادیر بهینه و واقعی داشت و کود نترات کمترین اختلاف را نشان داد. در پایان، استفاده از محصولات با نیاز آبی کمتر و تعیین میزان انرژی ورودی روش‌های مختلف آبیاری و همچنین استفاده بهینه و کارا از سایر نهاده‌ها توصیه می‌شود.

#### طبقه بندی JEL : C61

**کلید واژه‌ها:** بهینه‌سازی، مصرف انرژی، بخش کشاورزی، برنامه‌ریزی چندهدفه

#### مقدمه

کشاورزی فرایند تبدیل انرژی است. در این فرایند، انرژی خورشید، فرآورده‌های سوخت‌های فسیلی و الکتریسته به غذا و الیاف مورد نیاز انسان تبدیل می‌شوند. تأمین غذا و نیازهای جمعیت روزافزون جامعه بشری نیاز به سرمایه‌گذاری بیشتر در زمینه انرژی به عنوان یک نهاده داشته به طوری که طی قرن‌ها، نیروی حیوانات به خدمت گرفته شده و بشر با کنترل نیروی آب و باد آنها را جایگزین نیروی حیوانات کرده است (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۳). انرژی یکی از عوامل اساسی تولید در میان تمامی بخش‌های اقتصادی و دارای اثرات قابل توجهی در اقتصاد می‌باشد. کشاورزی شدیداً به انرژی، به خصوص سوخت‌های فسیلی وابسته است. مصرف انرژی فسیلی در کشاورزی ستانده انرژی را افزایش می‌دهد. همچنین در اکوسیستم‌های زراعی، ضریب بازچرخش مواد بسیار ناچیز و اندک است، زیرا با برداشت

بهینه سازی مصرف ..... .

محصول زراعی، کلیه عناصر معدنی از آن نظام خارج می‌شوند و بقایای گیاهی نیز معمولاً به صورت علوفه به مصرف می‌رسند (Pimentel, 1983). مصرف نهاده انرژی به میزان زیادی متغیر است و به مصرف نیتروژن و نوع گیاه زراعی بستگی دارد. ستانده انرژی (میزان محصول تولیدی در واحد سطح) نیز زمانی که تقاضا برای تولید محصول زیاد باشد، به علت محدودیت سطح اراضی مناسب برای کشاورزی، پارامتر مهمی محسوب می‌گردد (Hulsbergen et al, 2001).

با توجه به اهمیت انرژی در تولید بخش کشاورزی و نقش نهاده انرژی به عنوان یک منبع محدود و اقتصادی در تولید محصولات کشاورزی و همچنین استفاده از روش‌های سنتی تولید در منطقه، هدف از مطالعه حاضر تحلیل نقش انرژی در تولید این بخش و همچنین بررسی بهینه‌سازی مصرف آن می‌باشد. با در نظر گرفتن مسئله هدفمند کردن یارانه‌ها و آثار آن بر مصرف این نهاده، در مطالعه حاضر سطح زیرکشت محصولات به گونه‌ای تعیین می‌شود که بیشترین میزان سود ناخالص و کمترین میزان انرژی مصرفی را به دنبال داشته باشد.

از معدود مطالعات انجام شده در این زمینه مطالعه کاراکاسیر و همکاران (Karakacier et al., 2006) در ترکیه است که نشان داد به موازات افزایش مصرف انرژی در بخش کشاورزی، بهره‌وری آن نیز افزایش یافته است.

گاپتا و همکاران (Gupta et al., 2000) با استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی به تدوین الگوی بهینه انرژی در حوضه رودخانه‌ای در هند پرداختند که در آن هدف بیشینه‌سازی کالری دریافتی از خورشید در کنار اهداف دیگر شامل بیشینه‌سازی منافع خالص، کمینه‌سازی هزینه‌های تولید و بیشینه‌سازی نسبت منافع به هزینه‌ها مورد توجه بود.

تانکاپا و همکاران (Tankapan et al., 2006) در مطالعه خود در هند به بررسی اولویت و برتری دو هدف افزایش درآمد و افزایش انرژی پرداختند، اما مشخص شد که امکان بهبود هر دوی آنها وجود دارد.

رفسگارد و همکاران (Refsgard et al., 1998) در مطالعه‌ای به بررسی میزان بهره‌گیری از انرژی در تولید محصولات زراعی و دام در سیستم‌های تولید سنتی و ارگانیک پرداختند. نتایج نشان داد که عملکرد محصولات زراعی در سیستم تولید سنتی بالاتر و انرژی غیرمستقیم بیشتری مصرف می‌کنند. نتایج تحلیل حساسیت برای میزان تأثیر تغییر در سطح نهاده‌های کود و آب نشان داد که بهترین میزان بهره‌گیری از انرژی در سطح متوسط کود در غلات است. همچنین میزان سوخت مصرف شده به طور متوسط ۴۷٪ بیشتر از مقدار استاندارد بود.

گل و همکاران (Gul et al., 2005) به بررسی رابطه بین سیاست‌های کمک هزینه مالی جهت تهیه سوخت و استفاده از آب‌های زیرزمینی در سطح کلان و تخصیص آب در بین محصولات مختلف در سطح خرد پرداختند. مصرف انرژی برای محصولات و هزینه‌های مربوط به حفاری چاه‌ها محاسبه شد. نتایج نشان داد که در سال‌های ۱۹۵۶-۱۹۹۹ کشاورزان خواستار کمک هزینه مالی بوده و جهت تأمین آب مورد نیاز برای فعالیت‌های کشاورزی نیاز به حفاری و استفاده بیشتر از آب‌های زیرزمینی داشته‌اند.

ناسیا و همکاران (Nassia et al., 2010) به مقایسه سیستم کشت محصولات مختلف در یک دوره ۱۲ ساله پرداختند. روش کشت تحت دو سیستم مدیریتی مجزا بود که یک روش، روش سنتی و مرسوم در منطقه و روش دیگر نیمه‌مکانیزه بود. نتایج نشان داد که سیستم مدیریتی بر محصولات و انرژی آن‌ها تأثیر معنی داری ندارد ولی در روش نیمه‌مکانیزه کارایی انرژی بیشتر بود.

دمیرکان و همکاران (Demircan et al., 2006) میزان انرژی برای تولید گیلاس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۴۵/۵۳ درصد کل انرژی مصرفی از کود شیمیایی بوده است. در این میان، ۳۸/۰۵ درصد مربوط به مصرف کود نترات بود. میزان انرژی مصرفی در ارتباط با سوخت‌های فسیلی نیز ۲۱/۵۳ درصد کل انرژی را شامل می‌شود. در این مطالعه، کارایی استفاده از نهاده‌های انرژی نیز محاسبه شد و حدود ۳۱۶۳/۴۳ مگاژول در تن به دست

بهینه سازی مصرف ..... .

آمد. در بین انرژی‌های ورودی، ۱۶/۳۴ درصد مربوط به منابع تجدیدپذیر می‌شود که از منابع تجدید ناپذیر کمتر بود.

سینگ و همکاران (Sing et al., 2007) میزان انرژی مصرفی در تولید ذرت در مناطق مختلف استان پنجاب هند را ارزیابی کردند و نشان دادند که میزان انرژی حیوانی، بذر و ماشین آلات در کشت ذرت آبی در منطقه یک و انرژی ماشین آلات در منطقه دو تأثیر معنی‌داری بر تولید ذرت دارند. در برخی از مطالعات نیز الگوی استفاده از انرژی در تولید مورد توجه قرار گرفته است.

یافته‌های مطالعه عباسی‌نژاد و وافی نجار (۱۳۸۳) نشان داد که در دوره ۱۳۵۰-۱۳۷۹، بهره‌وری انرژی در بخش‌های اقتصاد و از جمله کشاورزی کاهش یافته است. مطالعاتی که تا کنون در این زمینه صورت گرفته‌اند بیشتر به مسئله کارایی و بهره‌وری انرژی پرداخته‌اند و توجه کمتری به بهینه‌سازی مصرف انرژی بوده و تا به حال مطالعه‌ای در این باره در منطقه مورد مطالعه صورت نگرفته است. با توجه به متغیر بودن میزان دسترسی به نهاده آب در این مطالعه، این نهاده به صورت تلفیقی از برنامه‌ریزی بازه‌ای و تصادفی در مدل لحاظ شده است. با توجه به مسئله خشکسالی در سال‌های اخیر در منطقه مورد مطالعه و محدودیت دسترسی به سایر نهاده‌های بخش کشاورزی و همچنین هدفمند کردن یارانه‌ها، این مطالعه انرژی ورودی و بهینه‌سازی مصرف انرژی را مورد بررسی قرار داده است. در واقع هدف از این مطالعه بررسی میزان انرژی ورودی و ارائه الگوی بهینه مصرف انرژی در منطقه می‌باشد.

## روش تحقیق

### برنامه‌ریزی چند هدفه با پارامترهای بازه‌ای

ساختار مدل برنامه‌ریزی چند هدفه با پارامترهای بازه‌ای<sup>۱</sup> که در آن نوآوری نیز صورت گرفته است، به همراه توابع هدف و محدودیت‌ها به صورت زیر می‌باشد (Urli et al., 1992):

---

1. Interval Multi-Objective Programming Model

$$\max Z^{\pm}(x) = \sum_{j=1}^n C_j^{\pm} X_j^{\pm} \quad (1)$$

$$\min Z^{\pm}(x) = \sum_{j=1}^n CE_j^{\pm} x_j^{\pm} \quad (2)$$

subject to:

$$\sum_{j=1}^n x_j^{\pm} \leq b^{\pm} \quad (3)$$

$$\sum_{j \neq 1}^{j \neq 1} l_{js}^{\pm} x_{js}^{\pm} \leq L_s^{\pm} \quad \forall s = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{j \neq 1} Wd_{js}^{\pm} x_{js}^{\pm} \leq \overline{mva} \pm (z_a / r) * NSV \quad \forall s = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n X_i - \sum_{j=1}^n X_j \leq 0 \quad \forall i \neq j \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n l_j^{\pm} x_j^{\pm} \leq T^{\pm} \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{j=1} h_{mj}^{\pm} x_j^{\pm} \leq TH_m^{\pm} \quad \forall m = 1, 2, 3, 4 \quad (8)$$

$$\sum k_{qj}^{\pm} x_j^{\pm} \leq K_q^{\pm} \quad \forall q = 1, 2, \dots, Q \quad (9)$$

$$x^{\pm} \geq 0 \quad (10)$$

در روابط فوق،  $X^{\pm} \in R^{n \times 1}$  و  $R^{\pm}$  مجموعه بازه‌ای،  $Z_1^{\pm}, Z_2^{\pm}$  مقدار توابع هدف و  $X^{\pm}$  بردار متغیرهای تصمیم می‌باشد. در رابطه ۱،  $Z_1^{\pm}$  کل درآمد ناخالص تولیدی،  $C_j^{\pm}$  میزان درآمد ناخالص حاصل از فعالیت  $j$  و  $x_j$  سطح زیرکشت فعالیت  $j$  می‌باشد. دومین تابع هدفی که در مدل لحاظ شده در ارتباط با میزان مصرف انرژی می‌باشد. انرژی براساس روابط محتوای انرژی در هر نهاده محاسبه می‌شود. در اینجا، هدف حداقل کردن مصرف نهاده انرژی در تولید محصولات زراعی می‌باشد. در این رابطه،  $Z_2^{\pm}$  کل انرژی مصرفی و  $CE_j^{\pm}$  مقدار انرژی مصرف شده محصول  $j$  در واحد سطح است.

محدودیت‌های در نظر گرفته شده در مدل به شرح زیر می‌باشد:

رابطه ۳: این رابطه محدودیت زمین می‌باشد که نشان می‌دهد حداکثر سطح زیرکشت فعالیت‌های منطقه مورد مطالعه نمی‌تواند بیشتر از زمین‌های زراعی قابل دسترس باشد. در این رابطه،  $b^{\pm}$  کران بالا و پایین مساحت زمین در دسترس است.

بهینه سازی مصرف .....

رابطه ۴: این رابطه محدودیت نیروی کار را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. به دلیل تنوع کشت محصولات و متفاوت بودن دوره رشد آن‌ها، تأمین نیروی کار مورد نیاز در فصول مختلف متفاوت خواهد بود. لذا نیروی کار مورد نیاز فعالیت‌های مختلف به صورت فصلی مورد توجه قرار گرفته که در آن  $L_j$  میزان مورد نیاز از نیروی کار برای هر هکتار از محصول  $j$  و  $L_s$  میزان نیروی کار موجود در دسترس در فصل  $s$  می‌باشد.  $L^+$  حداکثر نیروی کار در دسترس و  $L^-$  حداقل نیروی کار در دسترس در منطقه مورد مطالعه در فصول مختلف سال است.

رابطه ۵: محدودیت آب در دسترس می‌باشد. این محدودیت به صورت تصادفی در نظر گرفته شده است، زیرا مقدار آب در دسترس به طور دقیق مشخص نیست. در رابطه ۵،  $Wd_{js}$  مقدار آب مورد نیاز برای یک هکتار از محصول  $j$  در فصل  $s$ ،  $z_a$  عامل ریسک و  $\mu wa$  میانگین آب در دسترس می‌باشد. این محدودیت به صورت بازه‌ای بین حد بالا و پایین آن به طور تصادفی در نظر گرفته می‌شود به این ترتیب که بازه مورد نظر تصادفی است و بین مقادیر  $\mu wa \pm 1/2 * z_a$  نسبت به مقادیر مختلف  $z_a$  تغییر می‌کند. در اغلب مطالعات واریانس به عنوان شاخصی برای ریسک مورد استفاده قرار گرفته شده ولی به کارگیری واریانس در صورتی صحیح است که نیمه منفی واریانس<sup>۱</sup> (NSV) با نیمه مثبت آن<sup>۲</sup> (PSV) برابر باشد. یک روش برای مقابله با این مشکل استفاده از NSV به جای واریانس برای در نظر گرفتن ریسک است (احمدپور و همکاران، ۱۳۸۷). گفتنی است که این محدودیت از تلفیق برنامه‌ریزی بازه‌ای<sup>۳</sup> و محدودیت تصادفی<sup>۴</sup> به دست می‌آید که برای اولین بار مطرح می‌شود و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

رابطه ۶: محدودیت تناوب زراعی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1. Negative Semi Variance
2. Positive Semi Variance
3. Interval Programming
4. Chance Constraint

رابطه ۷: دسترسی به خدمات ماشین‌آلات کشاورزی نیز در اینجا به عنوان یک محدودیت است. در این رابطه  $t_j$  میزان ساعت ماشین‌آلات مورد نیاز به ازای هر هکتار محصول  $J$  و  $T$  کل ساعات بهره‌برداری از ماشین‌آلات مورد استفاده می‌باشد.

رابطه ۸: این رابطه نشان‌دهنده محدودیت کود شیمیایی می‌باشد. که در آن  $h_{mj}$  میزان کود مصرفی از  $m$  برای محصول  $J$  است. در اینجا  $m=1,2,3,4$  نشان‌دهنده کود حیوانی، ازته، فسفات و پتاس می‌باشند و  $TH_m^\pm$  میزان کود موجود است.

رابطه ۹: این رابطه نشان‌دهنده محدودیت سموم شیمیایی است که در آن  $k_{qj}$  میزان مصرف سموم شیمیایی  $Q$  برای محصول  $J$  و  $K_q$  میزان کل سموم در دسترس می‌باشد. این محدودیت نیز به صورت بازه‌ای در نظر گرفته شده است.

راه حل‌های ارائه شده برای حل روابط به طور کامل به تجزیه و تحلیل روابط بین متغیرهای تصمیم در توابع هدف و محدودیت‌ها می‌پردازد. پاسخ‌های یک مدل چندهدفه معمولاً بر پایه یک رویکرد تک هدفه حاصل می‌شود. اوریل و همکاران (Urli et al., 1992) روشی را برای تبدیل مسائل غیرقطعی به مسائل قطعی پیشنهاد کردند. روش حل بدین صورت است که در گام اول مسئله معادل قطعی به دست می‌آید و دو زیر مدلی که  $Z_k^+$  و  $Z_k^-$  را برای هر هدف به دست می‌دهند، تعریف می‌شوند.

در اینجا برای  $\sigma = 0,1$  مقادیر  $x_j^\sigma$  محاسبه می‌شود. سپس مقادیر ارزش  $Z_k^+(x_j^\sigma)$  و  $Z_k^-(x_j^\sigma)$  برای  $\sigma = 0,1$  و  $j = 1,2,\dots,n$  محاسبه می‌گردد. اگر  $\sigma = 0$  باشد، برای حل مسئله بهترین و محتمل‌ترین حالت هر تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. اگر  $\sigma = 1$  باشد، تابع هدف در حالت مطلوبیت و احتمال وقوع کمتر حل خواهد شد (Chineck et al., 2000). پس از محاسبه مقادیر  $Z_k^+(x_j^\sigma)$  و  $Z_k^-(x_j^\sigma)$ ، مقادیر  $f_k^+$  و  $f_k^-$  با استفاده از فرمول‌های زیر به دست می‌آید (Urli et al, 1992):

$$f_k^+ = Z_k^+(x_k^0), \quad x_k^0 = \max_{x \in X} Z_k^+(x), \quad (12)$$



بهینه سازی مصرف .....

$$X = \left\{ \sum_{j=1}^n a_{ij}^- x_j \leq b_i^+, i = 1, \dots, m, x_j \geq 0, j = 1, \dots, n \right\} \quad (13)$$

$$f_k^- = \min_{\sigma, j} Z_k^-(x_j^\sigma) \quad (14)$$

$$d_k^- = f_k^- - Z_k^-(x) \quad (15)$$

$$d_k^+ = f_k^+ - Z_k^+(x) \quad (16)$$

مقادیر حاصل از روابط فوق در رابطه ۱۶ جایگزین می شود. برای رسیدن به پاسخ های توافقی لازم است مقادیر  $P_k(d_k^u)$  برای هر هدف محاسبه و در رابطه ۱۶ قرار داده شوند.

$$\max P_k(d_k^u) = 1 - \frac{d_k^u}{(f_k^+ - f_k^-)} \quad (17)$$

$$d_k^u = f_k^+ - f_k^c(x) \quad (18)$$

$$d_k^u \leq f_k^+ - f_k^- \quad (19)$$

$$d_k^u \geq 0 \quad (k = 1, \dots, p) \quad (20)$$

$$\sum_{j=1}^n (a_j^+ + \alpha(a_j^+ - a_j^-))x_j \leq b^+ - \alpha[b^+ - b^-] \quad (21)$$

$$x_j \geq 0 \quad (22)$$

در اینجا شکل قرار گرفتن محدودیت آب در مدل به صورت زیر است که در آن کران بالا و پایین آب در دسترس با نیم واریانس و ضریب ریسک ترکیب شده اند:

$$\sum_{j=1}^n (Wd_{js}^+ + \alpha(Wd_{js}^+ - Wd_{js}^-))x_j \leq (\overline{\mu wa} + (z_a / 2) * NSV) - \alpha((\overline{\mu wa} + (z_a / 2) * NSV) - (\overline{\mu wa} - (z_a / 2) * NSV)) \quad (23)$$

در رابطه ۱۶،  $P_k(d_k^u)$  درجه رضایت را تعیین می کند.  $f_k^-$  و  $f_k^+$  به ترتیب بیشترین و کمترین ارزش تابع هدف  $k$  هستند ( $k=1,2$ ).  $f_k^c$  ارزش مرکزی هدف  $k$  و  $d_k^u = f_k^+ - f_k^c$  تفاوت بین بالاترین ارزش و ارزش مرکزی هدف  $k$  ام را مشخص می کند.  $\alpha$  آستانه یا حد رضایت را برای محدودیت ها مشخص می کند. برای حل مدل لازم است که

ماتریس بازده<sup>۱</sup> ساخته شود و برای هر تابع هدف  $P_k(d_k^u)$  و برای هر  $\alpha$  مدل حل شود. بالاترین و کمترین ارزش بهینه  $P_k(d_k^u)$  در ماتریس بازده با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$P_k^\mu = \max_{\sigma, j} \left\{ 1 - \frac{f_k^+ - f_k^c}{f_k^+ - f_k^-} \right\} \quad P_k^l = \min_{\sigma, j} \left\{ 1 - \frac{f_k^+ - f_k^c}{f_k^+ - f_k^-} \right\} \quad (23)$$

این اطلاعات، که بازه کمترین و بیشترین ارزش احتمالی توابع هدف هستند، مقادیر  $\mu_k$  و  $l_k$  را به طور کامل نشان می‌دهند و مقادیر آنها با استفاده از معادلات زیر به دست می‌آید (Chineck and Ramadan, 2000):

$$\mu_k = f_k^- + p_k^\mu (f_k^+ - f_k^-) \quad \text{و} \quad l_k = f_k^- + P_k^l (f_k^+ - f_k^-) \quad (24)$$

با این اطلاعات کشاورز سطح مورد دلخواه  $O_k$  را برای هر تابع هدف به دست می‌آورد. مقادیر فوق برای هر تابع هدف محاسبه می‌شود. گام بعدی به دست آوردن پاسخ‌های توافقی است. پاسخ‌های توافقی با استفاده از مسئله قطعی زیر به دست می‌آید:

$$\min \sum_{k=1}^p \varepsilon_k \quad (25)$$

subject to:

$$\pi_k (P_k^o - P_k(d_k^u)) \leq \varepsilon_k \quad (k = 1, \dots, p) \quad (26)$$

$$x \in D_o \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^n (a_j^+ + \alpha(a_j^+ - a_j^-))x_j \leq b^+ - \alpha[b^+ - b^-] \quad (28)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, \dots, n) \quad (29)$$

$$\sum x_i - \sum x_j \leq 0 \quad \forall i \neq j \quad (30)$$

$$D_o = \{x \in R^n : d_k^u = f_k^+ - f_k^c, d_k^u \leq f_k^+ - f_k^-, \text{ and } d_k^u \geq 0, k = 1, 2, \dots, p\}$$

که در رابطه  $\pi_k = \frac{\phi_k}{\sum_{k=1}^p \phi_k}$ ،  $\phi_k = P_k^\mu - P_k^l \times \frac{1}{\|C_k^c\|}$  و  $\|C_k^c\|$  میانگین هندسی بردار  $C_k^c$  می‌باشد.  $C_k$  بردار بازه‌ای ضرایب توابع چند هدفه و  $C_k^c$  ارزش مرکزی بردار  $C_k$

بهینه سازی مصرف .....

است. در  $P_k^o = 1 - \frac{f_k^+ - O_k}{f_k^+ - f_k^-}$  ارزش مورد نظر برای هدف  $k$  است.  $\varepsilon_k$  ماکزیمم

ارزش تابع هدف  $k$  می باشد اگر تصمیم گیرنده پاسخ جاری را به عنوان یک پاسخ رضایت

بخش در نظر بگیرد. برای هر پاسخ توافقی کشاورز این اطلاعات را در مورد ارزش  $Z_k^c(x)$

دریافت می کند.

الگوی نهایی برآورد شده با توجه به سناریوهای مختلف، که با استفاده از مقادیر

ریسک و سطوح دسترسی به نهاده تعریف می شوند، متفاوت خواهد بود. در اینجا یکی از

الگوهای برآوردی به همراه ضرایب فنی مربوط به شرایط بدون ریسک سطح  $\alpha = 0.6$

آورده شده است:

$$\min(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$$

subject to:

$$1/66 \times 10^{-4} x_1 + 9/72 \times 10^{-4} x_2 + 3/3 \times 10^{-4} x_3 + 4/7 \times 10^{-4} x_4 + 3/4 \times 10^{-4} x_5 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \geq 3/22 \times 10^{-4}$$

$$1/0.1 \times 10^{-4} x_1 + 1/14 \times 10^{-4} x_2 + 1/35 \times 10^{-4} x_3 + 1/27 \times 10^{-4} x_4 + 7/24 \times 10^{-4} x_5 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \geq 0.75$$

$$38/2 x_{11} + 36/4 x_{12} + 38 x_{13} + 23/2 x_{14} + 27 x_{15} \leq 266600$$

$$81/8 x_{12} + 68/4 x_{13} + 45/8 x_{14} + 93 x_{15} + 60 x_{16} \leq 562532$$

$$58/4 x_{13} \leq 4856$$

$$17 x_{14} + 12 x_{15} + 17 x_{16} \leq 91430$$

$$3800 x_{11} + 4000 x_{12} + 7400 x_{13} + 6600 x_{14} + 12400 x_{15} \leq 2/6 \times 10^8$$

$$3800 x_{13} + 6400 x_{14} \leq 73303763$$

$$1400 x_{14} + 1400 x_{15} + 700 x_{16} \leq 9/92 \times 10^8$$

$$24/12 x_1 + 22/7 x_2 + 26/1 x_3 + 17/9 x_4 + 16/42 x_5 \leq 167724$$

$$240 x_{11} + 340 x_{12} + 340 x_{13} + 370 x_{14} + 120 x_{15} \leq 1938100$$

$$120 x_{12} + 120 x_{13} + 120 x_{14} + 120 x_{15} + 130 x_{16} \leq 850800$$

$$190 x_{13} + 190 x_{14} + 220 x_{15} + 220 x_{16} + 70 x_{17} \leq 1270800$$

$$3/1 x_{11} + 3/4 x_{12} + 2/4 x_{13} + 1/2 x_{14} + \leq 19626$$

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و دوم، شماره ۸۷

$$\begin{aligned} & 0/2x_{1r} + 0/38x_{2r} + 0/24x_{3r} \leq 94/2 \\ & 0/2x_{1r} + 3/6x_{2r} + 1/8x_{3r} + 1/1x_{\delta r} \leq 1026 \\ & 130/2x_1 + 123/5x_r + 139/9x_r + 99/7x_f + 104/4x_\delta \leq 919176 \\ & 276x_1 + 270x_r + 74x_r + 8/2x_f \leq 1681730 \\ & x_1 + x_r + x_r + x_f + x_\delta \leq 9040 \\ & x_\delta - x_1 \leq 0 \end{aligned}$$

داده‌های مورد استفاده مربوط به سال زراعی ۸۸ تا ۸۹ می‌باشد که از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کاشمر و نهادهای ذیربط جمع‌آوری شده‌اند. کلیه محاسبات انجام شده در این مطالعه توسط نرم افزار Excel صورت گرفته است.

### نتایج و بحث

در جدول ۱ هم‌ارزهای انرژی نهاده در تولید محصولات کشاورزی نشان داده شده است.

جدول ۱. هم‌ارزهای انرژی نهاده در تولیدات کشاورزی

| منبع   | هم‌ارز انرژی<br>(MJ/unit) | واحد     | نهاده         |
|--|---------------------------|----------|---------------|
| Ozkan et al., 2004, Yilmaz et al., 2005 Singh et al., 2002 | ۱/۹۶                      | ساعت     | ۱- نیروی کار  |
| Erdal et al., 2007 Singh et al., 2007 Singh, 2002          | ۶۲/۷                      | ساعت     | ۲- ماشین‌آلات |
| Erdal et al., 2007 Singh et al., 2007 Singh, 2002          | ۵۶/۳۱                     | لیتر     | ۳- سوخت       |
|  |                           |          | ۴- کودشیمیایی |
| Esengan et al., 2007; Yilmaz et al., 2005                  | ۱۲/۴۴                     | کیلوگرم  | کود فسفات     |
| Esengan et al., 2007; Yilmaz et al., 2005                  | ۶۶/۱۴                     | کیلوگرم  | کود اوره      |
| Esengan et al., 2007; Yilmaz et al., 2005                  | ۱۱/۱۵                     | کیلوگرم  | کود پتاسه     |
| Canakci et al., 2005 Mandal et al., 2002, Mingh, 2002      | ۱۲۰                       | کیلوگرم  | ۵- سموم       |
| Acaroglu, 1998; Acaroglu and Aksoy, 2005                   | ۱/۰۲                      | متر مکعب | ۶- آب آبیاری  |
|  |                           |          | ۷- بذر        |
| Kitani, 1998   | ۱۳                        | کیلوگرم  | گندم          |
| Kitani, 1998   | ۱۴                        | کیلوگرم  | جو            |
| Kitani, 1998   | ۴۴                        | کیلوگرم  | پنبه          |
| Kitani, 1998   | ۲۵                        | کیلوگرم  | طالبی         |
| Kitani, 1998   | ۲۳۰                       | کیلوگرم  | پونجه         |

بهینه سازی مصرف .....

بر اساس هم‌ارزهای انرژی و میزان نهاده مورد نیاز، ورودی انرژی به مزارع و میزان انرژی ورودی محصولات محاسبه شد. در حالت اول برای ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست محدودیت بیشترین مقدار و ضرایب نهاده‌ها کمترین مقدار در نظر گرفته شد ( $\sigma = 0$ ). در حالت دیگر ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست کمترین مقدار و ضرایب نهاده‌ها بیشترین مقدار را دارا می‌باشند ( $\sigma = 1$ ). مقادیر  $x_{\delta}^{\sigma}$  برای  $\delta = 0, 1, 2$  و برای مقادیر مختلف  $1/96$  و  $1/65$  و  $Z_{\alpha} = 0$  محاسبه شد. گام بعدی استفاده از مقادیر حاصله برای به دست آوردن ارزش‌های بهینه توابع هدف است. در ابتدا مقادیر  $Z_1^c$  و  $Z_2^c$  برای مجموعه مقادیر  $x_{\delta}^{\sigma}$  محاسبه شد.

جدول ۲. مقادیر بهینه مرکزی

| $x_1^1$             | $x_2^1$               | $x_1^1$               | $x_2^1$               | $x_{\delta}^{\sigma}$ |                     |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| $8/2 \times 10^9$   | $7/73 \times 10^{19}$ | $7/86 \times 10^{10}$ | $1/64 \times 10^{11}$ | $Z_1^c$               | $Z_{\alpha} = 0$    |
| $2/0.7 \times 10^7$ | $3/49 \times 10^8$    | $2/0.2 \times 10^8$   | $3/28 \times 10^8$    | $Z_2^c$               |                     |
| $8/2 \times 10^9$   | $7/73 \times 10^{10}$ | $6/85 \times 10^{10}$ | $1/40 \times 10^{11}$ | $Z_1^c$               | $Z_{\alpha} = 1/65$ |
| $2/0.7 \times 10^7$ | $3/49 \times 10^8$    | $9/3 \times 10^7$     | $1/94 \times 10^8$    | $Z_2^c$               |                     |
| $8/2 \times 10^9$   | $7/73 \times 10^{10}$ | $6/99 \times 10^{10}$ | $1/45 \times 10^{11}$ | $Z_1^c$               | $Z_{\alpha} = 1/96$ |
| $2/0.7 \times 10^7$ | $3/49 \times 10^8$    | $1/0.8 \times 10^8$   | $2/19 \times 10^8$    | $Z_2^c$               |                     |

منبع: یافته‌های تحقیق

سپس با استفاده از روابط ذکر شده در قسمت مواد و روش‌ها و مقادیر ارزش بهینه توابع هدف،  $P_k^{\mu}$  و  $P_k^{\tau}$  محاسبه و مشاهده شد که تنها مقدار  $P_k^{\mu}$  در سطوح متفاوت  $Z_{\alpha}$  تغییر می‌کنند و سایر مقادیر محاسبه شده ثابت هستند.

جدول ۳. ارزش‌های بهینه توابع هدف

| $\pi_k$ | $\phi_k$              | $P_k^r$ | $P_k^\mu$ |     |                   |
|---------|-----------------------|---------|-----------|-----|-------------------|
| ۰/۰۰۰۴۸ | $۴/۷۸ \times ۱۰^{-۹}$ | ۰/۰۱    | ۰/۶۵      | K=۱ | $Z_\alpha = ۰$    |
| ۰/۹۹    | $۹/۸۴ \times ۱۰^{-۶}$ | ۰/۰۱    | ۰/۸۳      | K=۲ |                   |
| ۰/۰۰۰۴۸ | $۴/۷۷ \times ۱۰^{-۹}$ | ۰/۰۱    | ۰/۶۸      | K=۱ | $Z_\alpha = ۱/۶۵$ |
| ۰/۹۹    | $۹/۸۱ \times ۱۰^{-۶}$ | ۰/۰۱    | ۰/۸۳      | K=۲ |                   |
| ۰/۰۰۰۴۸ | $۴/۷۷ \times ۱۰^{-۹}$ | ۰/۰۱    | ۰/۶۷      | K=۱ | $Z_\alpha = ۱/۹۶$ |
| ۰/۹۹    | $۹/۸۱ \times ۱۰^{-۶}$ | ۰/۰۱    | ۰/۸۳      | K=۲ |                   |

منبع: یافته‌های تحقیق

با این اطلاعات کشاورز سطح مورد دلخواه  $O_k$  را برای هر تابع هدف به دست می‌آورد. مقادیر فوق برای هر یک از توابع هدف محاسبه شد. گام بعدی به دست آوردن پاسخ‌های توافقی با استفاده از مقادیر محاسبه شده در مراحل قبل است. پاسخ‌های توافقی با استفاده از مسئله قطعی در سطوح مختلف دسترسی به محدودیت‌ها و به ازای مقادیر مختلف  $Z_\alpha$  به دست می‌آید:

جدول ۴. نتایج پاسخ‌های توافقی

| یونجه  | طالبی  | پنبه  | جو      | گندم   |                |                   |
|--------|--------|-------|---------|--------|----------------|-------------------|
| ۰      | ۳۵۰    | ۹۰    | ۶۳۶۶/۶۶ | ۰      | $\alpha = ۱$   | $Z_\alpha = ۰$    |
| ۶۴۶/۸۹ | ۶/۹۱   | ۸۶/۴۴ | ۵۴۸۴/۹۲ | ۶۴۸/۸۹ | $\alpha = ۰/۸$ |                   |
|        |        | ۸۳/۱۵ | ۵۲۸۵/۷۱ | ۳۱۳/۰۱ | $\alpha = ۰/۶$ |                   |
| ۱۰۰۰   | ۳۵۰    | ۹۰    | ۲۳۵۵    | ۱۰۰۰   | $\alpha = ۱$   | $Z_\alpha = ۱/۶۵$ |
| ۰      | ۳۰۰/۹۵ | ۸۶/۴۴ | ۲۷۸۹/۸  | ۰      | $\alpha = ۰/۸$ |                   |
| ۰      | ۲۶۰/۸۴ | ۸۳/۱۵ | ۲۳۸۶/۷۳ | ۰      | $\alpha = ۰/۶$ |                   |
| ۰      | ۳۵۰    | ۹۰    | ۲۹۹۵    | ۱۰۰۰   | $\alpha = ۱$   | $Z_\alpha = ۱/۹۶$ |
| ۰      | ۳۰۰/۹۵ | ۸۶/۴۴ | ۳۳۲۲/۰۷ | ۰      | $\alpha = ۰/۸$ |                   |
| ۰      | ۲۶۰/۸۴ | ۸۳/۱۵ | ۲۸۴۲/۹۶ | ۰      | $\alpha = ۰/۶$ |                   |

منبع: یافته‌های تحقیق

بهینه سازی مصرف .....

در جدول ۴، الگوی کشت بهینه در سطوح مختلف دسترسی به نهاده و همچنین به ازای مقادیر مختلف  $Z_\alpha$  نشان داده شده است. در گام بعد، با توجه به میانگین وزنی مقادیر بهینه حاصله، مقدار بهینه و واقعی انرژی در سطوح مختلف  $Z_\alpha$  مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت. همچنین تفاوت بین این دو مقدار محاسبه شد.

مقادیر میانگین وزنی مقدار انرژی ورودی در سطح بهینه و واقعی در سطح  $Z_\alpha = 0$  در جدول ۵ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که در سطح  $\alpha = 1$ ، انرژی مصرفی در نهاده آب بیشترین اختلاف را دارد و مقدار آن ۴۹/۹۶٪ بیشتر از مقدار بهینه می باشد. پس از آن، مقدار مصرف واقعی نیروی کار ۲۸/۱۹٪ بیش از مقدار بهینه آن می باشد. نهاده های سوخت، ماشین آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر و سم به ترتیب ۲۷٪، ۲۴/۶۳٪، ۲۰/۲۹٪، ۱۸/۳۸٪، ۱۴/۲۲٪ و ۸/۵٪ بیشتر از مقدار بهینه خود مصرف می شوند. اختلاف میزان مصرف انرژی نهاده کود اوره در مقادیر واقعی و بهینه صفر است. در سطح  $\alpha = 0/8$ ، انرژی مصرفی در نهاده آب ۴۱/۶۰٪ بیشتر از مقدار بهینه است. سایر نهاده ها از قبیل سوخت، نیروی کار، ماشین آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر و سم به ترتیب ۱۷/۴۴٪، ۲۱/۱۷٪، ۱۷/۱۳٪، ۱۲/۸۳٪، ۱۳/۶۱٪، ۱۴/۷۱٪ و ۳۵/۵۹٪ بیشتر از مقدار بهینه مصرف می شوند. در سطح  $\alpha = 0/6$  نیز آب آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد و ۴۴/۴۱٪ بیشتر از مقدار بهینه مصرف می شود. همچنین در صورت استفاده بهینه از منابع نیروی کار، ماشین آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر و سم به ترتیب ۲۴/۲۸٪، ۱۹/۶٪، ۱۵/۰۷٪، ۱۳/۱۲٪، ۱۸/۹۶٪ و ۳/۸۷٪ در مصرف انرژی صرفه جویی می شود.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و دوم، شماره ۸۷

جدول ۵. مقادیر واقعی و بهینه انرژی نهاده‌ها در سطح  $Z_{\alpha} = 0$  (مگاژول در هکتار)

| $\alpha = 0/6$ | $\alpha = 0/8$ | $\alpha = 1$ |       |            |
|----------------|----------------|--------------|-------|------------|
| ۱۸۱۳۸۱۹/۲۸     | ۱۹۰۸۲۰۵/۰۴     | ۲۰۰۲۵۹۰/۸    | واقعی | نیروی کار  |
| ۱۳۷۳۴۱۹/۸۲     | ۱۵۰۴۰۹۳/۶۳     | ۱۴۳۷۹۱۴/۹۳   | بهینه |            |
| -۲۴/۲۸         | -۲۱/۱۷         | -۲۸/۱۹       | درصد  |            |
| ۱۰۵۱۶۲۹۴/۸     | ۱۰۹۶۴۱۶۰/۹     | ۱۱۴۱۲۰۲۷     | واقعی | ماشین آلات |
| ۸۴۵۴۸۱۹/۱۲     | ۹۰۸۵۹۵۷/۳۲     | ۸۶۰۰۹۷۹/۰۹   | بهینه |            |
| -۱۹/۶          | -۱۷/۱۳         | -۲۴/۶۳       | درصد  |            |
| ۱۰۵۸۳۹۵۲       | ۱۰۶۰۳۸۵۶       | ۱۰۶۲۳۷۶۰     | واقعی | کودفسفات   |
| ۸۹۸۸۱۱۸/۹۴     | ۹۲۴۲۷۸۴/۴      | ۸۴۶۷۴۹۳/۷۴   | بهینه |            |
| -۱۵/۰۷         | -۱۲/۸۳         | -۲۰/۲۹       | درصد  |            |
| ۱۲۸۱۸۵۹۳۴      | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲      | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰    | واقعی | کود اوره   |
| ۱۲۸۱۸۵۹۳۴      | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲      | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰    | بهینه |            |
| .              | .              | .            | درصد  |            |
| ۱۴۱۶۹۴۲۰       | ۱۴۲۰۹۵۶۰       | ۱۴۲۴۹۷۰۰     | واقعی | کودپتاسه   |
| ۱۲۳۰۹۱۸۷/۴۵    | ۱۲۲۷۴۲۲۱/۰۵    | ۱۱۶۲۹۴۵۰     | بهینه |            |
| -۱۳/۱۲         | -۱۳/۶۱         | -۱۸/۳۸       | درصد  |            |
| ۶۴۳۹۶۶۸۰       | ۶۹۵۰۹۹۴۰       | ۷۴۶۶۴۰۰۰     | واقعی | آب آبیاری  |
| ۲۳۹۳۰۱۶/۰۳     | ۴۰۵۸۹۴۷۲/۲     | ۳۷۳۶۰۹۰۰/۶۸  | بهینه |            |
| -۴۴/۴۱         | -۴۱/۶۰         | -۴۹/۹۶       | درصد  |            |
| ۲۴۸۹۵۴۴        | ۲۵۵۰۱۹۲        | ۲۶۱۰۸۴۰      | واقعی | سم         |
| ۲۳۹۳۰۱۶/۰۳     | ۲۴۵۸۴۲۷/۵۴     | ۲۳۸۸۸۴۰      | بهینه |            |
| -۳/۸۷          | -۳/۵۹          | -۸/۵         | درصد  |            |
| ۲۶۳۷۴۴۵۰       | ۲۶۳۷۴۴۵۰       | ۲۶۳۷۴۴۵۰     | واقعی | بذر        |
| ۲۱۳۷۳۸۴۳       | ۲۲۴۹۴۰۵۸       | ۲۲۶۲۱۷۸۳     | بهینه |            |
| -۱۸/۹۶         | -۱۴/۷۱         | -۱۴/۲۲       | درصد  |            |
| ۵۱۷۵۸۸۰۰/۵۶    | ۵۳۷۴۶۶۵۶/۱۸    | ۵۵۷۳۴۵۱۱/۸   | واقعی | سوخت       |
| ۴۱۵۴۸۴۴۰/۴۹    | ۴۴۳۶۹۸۷۵/۵۶    | ۴۰۶۸۶۶۰۴/۶۸  | بهینه |            |
| -۱۹/۷۲         | -۱۷/۴۴         | -۲۷          | درصد  |            |

منبع: یافته‌های مطالعه



بهینه سازی مصرف .....

حالت بعدی در شرایطی است که  $z_{\alpha} = 1/65$  در نظر گرفته شده است که نتایج مربوطه در جدول ۶ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در سطح  $\alpha = 1$  انرژی مصرفی در نهاده آب  $58/23$  بیشتر از مقدار بهینه می‌باشد. پس از آن، بذر  $54/64$  بیش از مقدار بهینه خود انرژی مصرف می‌کند. نهاده‌های نیروی کار، سوخت، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر، سم و کود نیترات به ترتیب  $51/02$ ،  $49/65$ ،  $50/86$ ،  $49/7$ ،  $49/82$ ،  $54/64$ ،  $50/02$  و  $43/86$  با میزان بهینه مصرف انرژی اختلاف دارند. در سطح  $\alpha = 0/8$ ، انرژی مصرفی در نهاده آب  $71/99$  بیشتر از مقدار بهینه است. در این حالت نیز نهاده آب بیشترین اختلاف را در مقادیر بهینه و واقعی انرژی مصرفی دارد. نهاده‌های سوخت، نیروی کار، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر، سم و کود نیترات به ترتیب  $62/26$ ،  $63/18$ ،  $61/66$ ،  $58/99$ ،  $56/4$ ،  $60/24$ ،  $52/67$  و  $48/53$  بیشتر از مقدار بهینه مصرف می‌شوند. در سطح  $\alpha = 0/6$  نیز آب آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد و  $72/64$  بیشتر از مقدار بهینه می‌باشد. اختلاف میزان مصرف واقعی و بهینه انرژی در نهاده‌های نیروی کار، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر، سم و کود نیترات به ترتیب  $65/17$ ،  $63/61$ ،  $61/48$ ،  $58/36$ ،  $64/56$ ،  $54/25$  و  $51/69$  نمی‌باشد.

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و دوم، شماره ۸۷

جدول ۶. مقادیر واقعی و بهینه انرژی نهاده‌ها در سطح  $Z_{\alpha} = 1/65$  (مگاژول در هکتار)

| $\alpha = 0/6$ | $\alpha = 0/8$ | $\alpha = 1$ |       |            |
|----------------|----------------|--------------|-------|------------|
| ۱۸۱۳۸۱۹/۲۸     | ۱۹۰۸۲۰۵/۰۴     | ۲۰۰۲۵۹۰/۸    | واقعی | نیروی کار  |
| ۶۳۱۷۴۴/۲۶      | ۷۰۲۴۱۱/۷۸      | ۹۸۰۷۲۵/۲     | بهینه |            |
| -۶۵/۱۷         | -۶۳/۱۸         | -۵۱/۰۲       | درصد  |            |
| ۱۰۵۱۶۲۹۴/۸     | ۱۰۹۶۴۱۶۰/۹     | ۱۱۴۱۲۰۲۷     | واقعی | ماشین آلات |
| ۳۸۲۵۸۴۴/۹      | ۴۲۰۳۵۴۳/۴۳     | ۵۶۰۷۷۳۱/۲۵   | بهینه |            |
| -۶۳/۶۱         | -۶۱/۶۶         | -۵۰/۸۶       | درصد  |            |
| ۱۰۵۸۳۹۵۲       | ۱۰۶۰۳۸۵۶       | ۱۰۶۲۳۷۶۰     | واقعی | کودفسفات   |
| ۴۰۷۶۴۳۶/۲۳     | ۴۳۴۷۶۸۶/۷      | ۵۳۴۲۹۸۰      | بهینه |            |
| -۶۱/۴۸         | -۵۸/۹۹         | -۴۹/۷        |       |            |
| ۱۲۸۱۸۵۹۳۴      | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲      | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰    | واقعی | کود اوره   |
| ۶۱۹۲۵۱۶۲/۳۶    | ۶۸۰۴۱۱۲۸/۱۶    | ۷۶۴۵۷۸۴۰     | بهینه |            |
| -۵۱/۶۹         | -۴۸/۵۳         | -۴۳/۸۶       | درصد  |            |
| ۱۴۱۶۹۴۲۰       | ۱۴۲۰۹۵۶۰       | ۱۴۲۴۹۷۰۰     | واقعی | کود پتاسه  |
| ۵۹۰۰۱۲۰/۶۲     | ۶۱۹۵۱۶۹/۶۹     | ۷۱۴۹۳۷/۵     | بهینه |            |
| -۵۸/۳۶         | -۵۶/۴          | -۴۹/۸۲       | درصد  |            |
| ۶۴۳۹۶۶۸۰       | ۶۹۵۰۹۹۴۰       | ۷۴۶۶۴۰۰۰     | واقعی | آب آبیاری  |
| ۱۷۶۱۴۲۲۵/۹۸    | ۱۹۴۶۸۳۳۵/۰۶    | ۳۱۱۸۱۴۰۰     | بهینه |            |
| -۷۲/۶۴         | -۷۱/۹۹         | -۵۸/۲۳       | درصد  |            |
| ۲۴۸۹۵۴۴        | ۲۵۵۰۱۹۲        | ۲۶۱۰۸۴۰      | واقعی | سم         |
| ۱۱۳۸۸۶۴/۸      | ۱۲۰۶۸۵۲/۵۶     | ۱۳۰۴۶۴۰      | بهینه |            |
| -۵۴/۲۵         | -۵۲/۶۷         | -۵۰/۰۲       | درصد  |            |
| ۲۶۳۷۴۴۵۰       | ۲۶۳۷۴۴۵۰       | ۲۶۳۷۴۴۵۰     | واقعی | بذر        |
| ۹۳۴۶۰۷۳        | ۱۰۴۸۵۹۳۲       | ۱۱۹۶۰۹۵۰     | بهینه |            |
| -۶۴/۵۶         | -۶۰/۲۴         | -۵۴/۶۴       | درصد  |            |
| ۵۱۷۵۸۸۰/۵۶     | ۵۳۷۴۶۶۵۶/۱۸    | ۵۵۷۳۴۵۱۱/۸   | واقعی | سوخت       |
| ۱۸۷۱۷۴۹۴/۶۸    | ۲۰۲۸۱۹۴۹/۷۸    | ۲۸۰۵۸۸۵۰/۶۸  | بهینه |            |
| -۶۳/۳۷         | -۶۲/۲۶         | -۴۹/۶۵       | درصد  |            |

منبع: یافته‌های مطالعه

بهینه سازی مصرف .....

در سطح  $z_{\alpha} = 1/96$  نیز مقادیر بهینه و واقعی انرژی ورودی و اختلاف آن‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است. در سطح  $\alpha = 1$ ، نهاده آب با  $53/86\%$  بیشترین اختلاف را با مقدار بهینه انرژی مصرفی دارد. پس از آن نهاده‌های بذر، نیروی کار، ماشین‌آلات، سوخت، کود فسفات، کود پتاس، سم و کود نیترات به ترتیب  $46/15\%$ ،  $44/26\%$ ،  $43/65\%$ ،  $42/68\%$ ،  $42/21\%$ ،  $42/31\%$ ،  $41/2\%$  و  $34/54\%$  بیشتر از مقدار بهینه خود مصرف می‌شوند. در سطح  $\alpha = 0/8$ ، بیشترین اختلاف در مقادیر واقعی و بهینه انرژی مصرفی در نهاده آب  $67/93\%$  است و این مقدار در نهاده‌های سوخت، نیروی کار، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر، سم و کود نیترات به ترتیب  $55/82\%$ ،  $57/04\%$ ،  $55/08\%$ ،  $52/13\%$ ،  $49/3\%$ ،  $52/89\%$ ،  $44/66\%$  و  $40/01\%$  می‌باشد. در سطح  $\alpha = 0/6$ ، همانند حالات قبل، آب آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد و  $68/74\%$  بیشتر از مقدار بهینه مصرف می‌شود و نهاده‌های نیروی کار، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر و سم به ترتیب  $59/41\%$ ،  $57/44\%$ ،  $55/04\%$ ،  $51/53\%$ ،  $58/02\%$  و  $46/77\%$  با میزان بهینه مصرفی خود اختلاف دارند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

اقتصاد کشاورزی و توسعه - سال بیست و دوم، شماره ۸۷

جدول ۷. مقادیر واقعی و بهینه انرژی نهاده‌ها در سطح  $Z_{\alpha} = 1/96$  (مگازول در هکتار)

| $\alpha = 0/6$ | $\alpha = 0/8$ | $\alpha = 1$ |       |            |
|----------------|----------------|--------------|-------|------------|
| ۱۸۱۳۸۱۹/۲۸     | ۱۹۰۸۲۰۵/۰۴     | ۲۰۰۲۵۹۰/۸    | واقعی | نیروی کار  |
| ۷۳۶۱۸۷/۶۲      | ۸۱۹۶۷۲/۱۷      | ۱۱۱۶۲۰۰/۴    | بهینه |            |
| -۵۹/۴۱         | -۵۷/۰۴         | -۴۴/۲۶       | درصد  |            |
| ۱۰۵۱۶۲۹۴/۸     | ۱۰۹۶۴۱۶۰/۹     | ۱۱۴۱۲۰۲۷     | واقعی | ماشین آلات |
| ۴۴۷۵۱۸۹/۹۲     | ۴۹۲۴۴۰۲/۱۹     | ۶۴۳۰۳۵۵/۲۵   | بهینه |            |
| -۵۷/۴۴         | -۵۵/۰۸         | -۴۳/۶۵       | درصد  |            |
| ۱۰۵۸۳۹۵۲       | ۱۰۶۰۳۸۵۶       | ۱۰۶۲۳۷۶۰     | واقعی | کود فسفات  |
| ۴۷۵۷۴۹۲/۶۴     | ۵۰۷۶۰۳۹/۹۹     | ۶۱۳۹۱۴۰      | بهینه |            |
| -۵۵/۰۴         | -۵۲/۱۳         | -۴۲/۲۱       | درصد  |            |
| ۱۲۸۱۸۵۹۳۴      | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲      | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰    | واقعی | کود اوره   |
| ۷۲۱۸۴۶۶۶/۸۸    | ۷۹۳۰۶۴۲۳/۶۶    | ۸۹۱۵۶۷۲۰     | بهینه |            |
| -۴۳/۶۸         | -۴۰/۰۱         | -۳۴/۵۴       | درصد  |            |
| ۱۴۱۶۹۴۲۰       | ۱۴۲۰۹۵۶۰       | ۱۴۲۴۹۷۰۰     | واقعی | کود پتاسه  |
| ۶۸۶۶۶۴۰/۵۳     | ۷۲۰۴۰۸۰/۷۸     | ۸۲۲۰۳۳۷/۵    | بهینه |            |
| -۵۱/۵۳         | -۴۹/۳          | -۴۲/۳۱       | درصد  |            |
| ۶۴۳۹۶۶۸۰       | ۶۹۵۰۹۹۴۰       | ۷۴۶۶۴۰۰۰     | واقعی | آب آبیاری  |
| ۲۰۱۲۷۱۲۹/۶     | ۲۲۲۹۱۴۷۴/۷۴    | ۳۴۴۴۵۴۰۰     | بهینه |            |
| -۶۸/۷۴         | -۶۷/۹۳         | -۵۳/۸۶       | درصد  |            |
| ۲۴۸۹۵۴۴        | ۲۵۵۰۱۹۲        | ۲۶۱۰۸۴۰      | واقعی | سم         |
| ۱۳۲۵۰۰۵/۵۶     | ۱۴۱۱۲۴۱/۲      | ۱۵۳۵۰۴۰      | بهینه |            |
| -۴۶/۷۷         | -۴۴/۶۶         | -۴۱/۲۰       | درصد  |            |
| ۲۶۳۷۴۴۵۰       | ۲۶۳۷۴۴۵۰       | ۲۶۳۷۴۴۵۰     | واقعی | بذر        |
| ۱۱۰۷۰۶۱۶       | ۱۲۴۲۳۳۸۲       | ۱۴۲۰۰۹۵۰     | بهینه |            |
| -۵۸/۰۲         | -۵۲/۸۹         | -۴۶/۱۵       | درصد  |            |
| ۵۱۷۵۸۸۰/۵۶     | ۵۳۷۴۶۶۵۶/۱۸    | ۵۵۷۳۴۵۱۱/۸   | واقعی | سوخت       |
| ۲۱۸۹۰۲۳۶/۵۸    | ۲۳۷۴۳۷۰۲/۷۶    | ۳۱۹۳۲۹۷۸/۶۸  | بهینه |            |
| -۵۷/۷          | -۵۵/۸۲         | -۴۲/۶۸       | درصد  |            |

منبع: یافته‌های مطالعه

### نتیجه گیری و پیشنهادها

انرژی یکی از عوامل اساسی تولید در میان تمامی بخش‌های اقتصادی است که دارای اثرات قابل توجهی در اقتصاد می‌باشد و بخش کشاورزی شدیداً به انرژی، به خصوص سوخت‌های فسیلی وابسته است. در این مطالعه، با استفاده از مدل برنامه‌ریزی چندهدفه با پارامترهای بازه‌ای به بهینه‌سازی مصرف انرژی پرداخته شد. در نهایت، نتایج که بیانگر میزان انرژی مصرفی بهینه در سطح منطقه در ارتباط با محصولات مورد نظر بود، با میزان مصرف رایج مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان انرژی مصرفی در محصولات زراعی در منطقه از سطح بهینه بیشتر می‌باشد که این تفاوت با در نظر گرفتن ریسک در مدل بیشتر شد. با توجه به اینکه نهاده آب آبیاری بیشترین تفاوت را با مقادیر بهینه انرژی ورودی دارد، بایستی به بهینه‌سازی مصرف آن توجه ویژه کرد. همچنین محاسبه میزان انرژی ورودی سایر روش‌های آبیاری به ویژه روش‌های آبیاری تحت فشار و مقایسه با انرژی ورودی آبیاری غرقابی می‌تواند در ارائه راهکارهایی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی در آبیاری مفید باشد. از آنجا که محصول گندم یک محصول استراتژیک می‌باشد و در بین غلات کشت شده در منطقه رتبه اول را در سطح زیر کشت دارد، شناسایی و استفاده از ارقام پر محصول و همچنین واریته‌هایی از گندم که نیاز آبی کمتری داشته باشند می‌تواند در جلوگیری از هدررفت انرژی در تولید این محصول مؤثر باشد. در تولید سایر محصولات جو، یونجه، پنبه و طالبی نیز شناسایی و به کارگیری ارقام پر محصول با نیاز آبی کم و سازگار با شرایط محیطی جهت بالا بردن کارایی و بهره‌وری انرژی توصیه می‌شود.

سوخت و نیروی کار نیز نسبت به سایر نهاده‌ها اختلاف بیشتری با مقادیر بهینه انرژی ورودی دارند که با توجه به شرایط کشت محصولات در منطقه از قبیل ساختار سنتی تولید، استفاده از ماشین‌آلات قدیمی و پرمصرف و یکپارچه نبودن زمین‌های زراعی، استفاده از نهاده‌های قید شده کارایی بالایی ندارد.

استفاده بهینه از سوخت و نیروی کار و افزایش بازده این دو عامل علاوه بر کاهش هزینه‌های مصرفی مقدار قابل توجهی از انرژی ورودی را نیز کاهش می‌دهد. بالا بردن سطح

مکانیزاسیون برای کاهش تعداد نیروی کار و به دنبال آن بالا بردن کارایی این نهاد در سطح مزرعه و طراحی و تولید ماشین‌آلاتی که از مصرف پایین و کارایی سوخت بالایی برخوردار باشند نیز توصیه می‌شود.

### منابع

- احمدپور، م. و صبوحی، م. ۱۳۸۷. قیمت‌گذاری آب بخش کشاورزی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی بازه‌ای مطالعه موردی منطقه دشتستان. *مجله اقتصاد کشاورزی*، ۳: ۱۲۱-۱۴۱.
- طاهری، ف.، موسوی، س. ن. و رضایی، م. ر. ۱۳۸۹. اثر حذف یارانه‌ی انرژی بر هزینه‌های تولید کلزا در شهرستان مرودشت. *مجله تحقیقات اقتصاد کشاورزی*، ۳: ۷۷-۹۰.
- عباسی‌نژاد، ح. و وافی‌نجان، د. ۱۳۷۵. بررسی کارایی و بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و تخمین کشتش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در بخش صنعت و حمل و نقل با روش TSL در ۱۳۷۹-۱۳۵۰. *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۶: ۱۱۳-۱۳۷.
- کوچکی، ع. و حسینی، م. ۱۳۷۳. کارایی انرژی در اکوسیستم‌های کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- Acaroglu, M. and Aksoy, A.S. 2005. The cultivation and energy balance of *Miscanthus giganteus* production in Turkey. *Biomass Bioenergy*, 29: 42-48.
- Acaroglu, M. 1998. Energy from biomass and applications. University of Selcuk, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Textbook (unpublished-Turkish).
- Canakci, M., Topkaci, M., Akinci, I. and Ozmeri, A. 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for antalya region, Turkey. *Energy Conversion and Management*, 46: 655-666.
- Chineck, J., & Ramadan, K. 2000. Linear programming with interval coefficients. *Journal of Operational Research Society*, 51: 209-220.

بهینه سازی مصرف .....

- Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H. M., Akbolat, D. and Ekinci, C. 2006. Energy and economic analysis of sweet cherry production in Turkey: a case study from Isparta province. *Energy Conversion and Management*, 47: 1761-1769.
- Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H. and Gunduz, O. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32: 35-41.
- Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O. and Erdal, H. 2007. An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy*, 32: 1873-1881.
- Gul, A., Rida, F., Aw-hassan, A. and Buyukaca, O. 2005. Economic analysis of energy use in groundwater irrigation of dry areas: a case study in Syria. *Applied Energy*, 82: 285-299.
- Gupta, A. P., Harboe, R., and Tabucanon, M. T. 2000. Fuzzy multi-criteria decision making for crop area planning in Narmada river basin. *Agricultural System*, 63: 1-18.
- Hulsbergen, K.J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G.W., Kalk, W.D. and Diepenbrock, W. 2001. A method of energy in balancing crop production and its application in a long-term fertilizer trail. *Agriculture, Ecosystems and Environmental*, 3: 303-321.
- Karkacier, O., Goktolga, Z. G. and Cicek, A. 2006. A regression analysis of the effect of energy use in agriculture. *Energy Policy*, 34: 3796-3800.
- Kitani, O. 1998. CIGR, Handbook of agricultural engineering volume 5. Energy & Biomass Engineering. ASAE publication. Pp: 17-21.
- Nassi, O., Di Nasso, N., Bosco, S., Di Bene, C., Coli, A., Mazzoncini, M. and Bonari, E. 2010. Energy efficiency in long-term Mediterranean cropping systems with different management intensities. *Energy*, 3: 1-7.

- Mandel, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., and Bandyopadhyay, K. K. 2002. Bioenergy and economic analysis of soybeanbased crop production systems in central India. *Biomass Bioenergy*, 23: 337-345.
- Ozkan, B., Akcaoz, H. and Fert, C. 2004. Energy input output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, 29: 39-51.
- Piemental, D., Bevadi, G. and Fast, S. 1983. Energy efficiency of farming system: organic and conventional agriculture. *Agric Ecosys Environ*, 9: 353-372.
- Refsgard, K., Alberg, H. and kristensen, E. 1998. Energy utilization in crop and dairy production in organic and conventional livestock production systems. *Agricultural Systems*, 57: 599-630.
- Singh, H., Mishara, D., and Nahar, N. M. 2002. Eneregy use pattern in production agriculture of typical village in arid zone, India part. *Eneregy convers Manage*, 43: 2275-86.
- Singh, G. and Singh, S. 2007. Analytical appraisal of energy input use in the production of Maize in Punjab. *Journal of Agricultural Engineering*, 44: 105-125.
- Thankappana, S., Midmoreb, T., and Tim Jenkinsc, T. 2006. Conserving energy in smallholder agriculture: a multi-objective programming case-study of northwest India. *Ecological Economic*, 56: 190– 208.
- Urli, B. & Nadeau, R. 1992. An interactive method to multiobjective linear programming problems with interval coefficients. *INFOR*, 30: 127–137.
- Yilmaz, L., Akcaoz, H. and Ozkan, B. 2005. An analysis of energy use and inpute cost for cotton production in Turkey. *Renewable Energy*, 30: 145-155.