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

# بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی در منطقه کاشمر

رویا تیموری راد[۱]، محمود صبوحی صابونی[۲]، حمید محمدی[۳]

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

**چکیده**

با توجه به مسئله هدفمندکردن یارانه‌ها و تأثیراتش بر قیمت و به دنبال آن الگوی مصرف نهاده‌ها، باید به بهینه‌سازی مصرف نهادهٔ انرژی توجه بیشتری کرد. هدف از مطالعهٔ حاضر نیز بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش کشاورزی منطقهٔ کاشمر با استفاده از اطلاعات سال زراعی۱۳۸۸-۱۳۸۹ 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 منطقهٔ مورد مطالعه پرداخته و الگوی کشت بهینه با در نظر گرفتن سطوح مختلف نهادهٔ در دسترس ارائه شد. در نهایت، با توجه به هم‌ارزهای انرژی نهاده‌ها، مقادیر بهینهٔ

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد اقتصاد کشاورزی دانشگاه زابل

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

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

e-mail: hamidmohammadi1378@gmail.com

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 بهینهٔ مصرف انرژی نهاده‌ها کمتر است. در شرایطی که ریسک در مدل لحاظ می‌شود، اختلاف مقادیر بهینه و واقعی مصرف انرژی بیشتر شد. نهادهٔ آب در کلیه سطوح بیشترین اختلاف را در مقادیر بهینه و واقعی داشت و کود نیترات کمترین اختلاف را نشان داد. در پایان، استفاده از محصولاتِ با نیاز آبی کمتر و تعیین میزان انرژی ورودی روش‌های مختلف آبیاری و همچنین استفادهٔ 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، فراورده‌های سوخت‌های فسیلی و الکتریسیته 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 بخش های اقتصادی و دارای اثرات قابل توجهی در اقتصاد می باشد. 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

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 نظرگرفتن 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 مطالعهٔ 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 درآن 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 دورهٔ 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 قراردادند. 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 نیترات بود. میزان انرژی مصرفی در ارتباط با سوخت های فسیلی نیز ۲۱/۵۳ درصد کل انرژی را شامل می‌شود. در این مطالعه، کارایی استفاده از نهاده‌های انرژی نیز محاسبه شد و حدود۳۱۶۳/۴۳ مگاژول در تن به دست

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 منطقهٔ دو تأثیر معنی‌داری بر تولید ذرت دارند. در برخی از مطالعات نیز الگوی استفاده از انرژی در تولید مورد توجه قرارگرفته است.

یافته‌های مطالعه عباسی‌نژاد و وافی نجار (۱۳۸۳) نشان داد که در دورهٔ ۱۳۵۰-۱۳۷۹، بهره‌وری انرژی در بخش‌های اقتصاد و از جمله کشاورزی کاهشی بوده است.

مطالعاتی که تا کنون در این زمینه صورت گرفته‌اند بیشتر به مسئله کارایی و بهره‌وری انرژی پرداخته اند و توجه کمتری به بهینه‌سازی مصرف انرژی بوده و تا به حال مطالعه‌ای در این باره در منطقهٔ 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 منطقهٔ 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[1] 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

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

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

$$subject.to:$$

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

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

$$\sum_{j=1}^{n} Wd_{js}^{\pm}.x_{js}^{\pm} \le \overline{\mu wa} \pm (z_a/2)*NSV \qquad \forall s=1,2,3,4 \quad (5)$$

$$\sum X_i - \sum X_j \le 0 \qquad \forall i \ne j \quad (6)$$

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

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

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

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

در روابط فوق، $X^{\pm} \in R^{\pm u\times t}$ و $R^{\pm}$ مجموعه بازه‌ای، $Z_2^{\pm}, Z_1^{\pm}$ مقدار توابع هدف و $X^{\pm}$ بردار متغیرهای تصمیم می‌باشد. در رابطه ۱، $Z^{\pm}_1$ 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، $Z^{\pm}_2$ 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.

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 قرارگرفته که در آن $l_j$ میزان مورد نیاز از نیروی کار برای هر هکتار از محصول j و $L_s$ میزان نیروی کار موجود دردسترس 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 بازهٔ مورد نظر تصادفی است و بین مقادیر $\mu wa \pm ۱/۲ * z_a$ نسبت به مقادیر مختلف $z_a$ تغییر می‌کند. در اغلب مطالعات واریانس به عنوان شاخصی برای ریسک مورد استفاده قرارگرفته شده ولی به کارگیری واریانس در صورتی صحیح است که نیمه منفی واریانس (NSV)[۱] با نیمه مثبت آن (PSV)[۲] برابر باشد. یک روش برای مقابله با این مشکل استفاده از NSV به جای واریانس برای در نظرگرفتن ریسک است (احمدپور و همکاران، ۱۳۸۷). گفتنی است که این محدودیت از تلفیق برنامه‌ریزی بازه‌ای[۳] و محدودیت تصادفی[۴] 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، فسفاته 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 $\sigma = ۰,۱$ مقادیر $x_j^\sigma$ محاسبه می‌شود. سپس مقادیر ارزش $Z_k^+\left(x_j^\sigma\right)$ و $Z_k^-\left(x_j^\sigma\right)$ برای $\sigma = ۰,۱$ و $j = ۱,۲,...,n$ محاسبه می‌گردد. اگر $\sigma = ۰$ باشد، برای حل مسئله بهترین و محتمل‌ترین حالت هر تابع هدف در نظر گرفته می‌شود. اگر $\sigma = ۱$ باشد، تابع هدف در حالت مطلوبیت و احتمال وقوع کمتر حل خواهد شد (Chineck et al., 2000). پس از محاسبه مقادیر $Z_k^+\left(x_j^\sigma\right)$ و $Z_k^-\left(x_j^\sigma\right)$، مقادیر $f_k^+$ و $f_k^-$ با استفاده از فرمول‌های زیر به دست می‌آید (Urli et al, 1992):

$$f_k^+ = Z_k^+\left(x_k^o\right), \qquad x_k^o = \max_{x\in X} Z_k^+(x), \tag{۱۲}$$

$$X = \left\{ \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{-} x_j \le b_i^{+}, i = 1,....m, x_j \ge 0, j = 1,...,n \right\} \quad (۱۳)$$

$$f_k^{-} = \min_{\sigma,j} Z_k^{-}\left(x_j^{\sigma}\right) \quad (۱۴)$$

$$d_k^{-} = f_k^{-} - Z_k^{-}(x) \quad (۱۵)$$

$$d_k^{+} = f_k^{+} - Z_k^{+}(x) \quad (۱۶)$$

مقادیر حاصل از روابط فوق در رابطه ۱۶ جایگزین می‌شود. برای رسیدن به پاسخ‌های توافقی لازم است مقادیر $P_k\left(d_k^u\right)$ برای هر هدف محاسبه و در رابطه ۱۶ قرار داده شوند.

$$\max P_k\left(d_k^u\right) = 1 - \frac{d_k^u}{\left(f_k^{+} - f_k^{-}\right)} \quad (۱۶)$$

$$d_k^u = f_k^{+} - f_k^{c}(x) \quad (۱۹)$$

$$d_k^u \le f_k^{+} - f_k^{-} \quad (۲۰)$$

$$\left(k = 1,..., p\right)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \left(a_j^{+} + \alpha\left(a_j^{+} - a_j^{-}\right)\right) x_j \le b^{+} - \alpha.\left[b^{+} - b^{-}\right] \quad (۲۱)$$

$$x_j \ge 0 \quad (۲۲)$$

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:

$$\sum_{j=1}^{n} \left(Wd_{js}^{+} + \alpha\left(Wd_{js}^{+} - Wd_{js}^{-}\right)\right) x_j \le \left(\overline{\mu wa} + \left(z_a / ۲\right) * NSV\right) - \alpha\left(\left(\overline{\mu wa} + \left(z_a / ۲\right) * NSV\right) - \left(\overline{\mu wa} - \left(z_a / ۲\right) * NSV\right)\right) \quad (۲۳)$$

در رابطه ۱۶، $P_k\left(d_k^u\right)$ درجه رضایت را تعیین می‌کند. $f_k^{+}$ و $f_k^{-}$ به ترتیب بیشترین و کمترین ارزش تابع هدف k هستند $\left(k = 1,2\right)$. $f_k^c$ 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 می‌کند. $\alpha$ آستانه یا حد رضایت را برای محدودیت‌ها مشخص می‌کند. برای حل مدل لازم است که

ماتریس بازده[1] ساخته شود و برای هر تابع هدف $P_k\left(d_k^u\right)$ و برای هر $\alpha$ مدل حل شود. بالاترین و کمترین ارزش بهینه $P_k\left(d_k^u\right)$ در ماتریس بازده با استفاده از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$P_k^{\mu}=\max_{\sigma,j}\left\{1-\frac{f_k^+-f_k^c}{f_k^+-f_k^-}\right\} \qquad P_k^{l}=\min_{\sigma,j}\left\{1-\frac{f_k^+-f_k^c}{f_k^+-f_k^-}\right\} \qquad (۲۳)$$

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):

$$\mu_k=f_k^-+p_k^{\mu}\left(f_k^+-f_k^-\right) \qquad \text{و} \qquad l_k=f_k^-+P_k^{l}\left(f_k^+-f_k^-\right) \qquad (۲۴)$$

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:

$$\min\sum_{k=1}^{p}\varepsilon_k \qquad (۲۵)$$

$$subjectto:$$

$$\pi_k\left(P_k^o-P_k\left(d_k^u\right)\right)\le\varepsilon_k \qquad \left(k=1,...,p\right) \qquad (۲۶)$$

$$x\in D_o \qquad (۲۷)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(a_j^+ +\alpha\left(a_j^+-a_j^-\right)\right)x_j\le b^+-\alpha.\left[b^+-b^-\right] \qquad (۲۸)$$

$$x_j\ge 0 \qquad \left(j=1,,...,n\right) \qquad (۲۹)$$

$$\sum x_i-\sum x_j\le 0 \qquad \forall i\ne j \qquad (۳۰)$$

$$D_O=\left\{x\in R^n : d_k^u=f_k^+-f_k^c, d_k^u\le f_k^+-f_k^- and d_k^u\ge 0, k=1,2,...,p\right\}$$

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

1. Pay Off Matrix

است. در $P_k^o = 1 - \frac{f_k^+ - O_k}{f_k^+ - f_k^-}$، $O_k$ ارزش مورد نظر برای هدف k است. $\varepsilon_k$ ماکزیمم ارزش تابع هدف k می‌باشد 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 می‌شوند، متفاوت خواهد بود. در اینجا یکی از الگوهای برآوردی به همراه ضرایب فنی مربوط به شرایط بدون ریسک سطح $\alpha = ۰/۶$ آورده شده است:

$$\min(\varepsilon_۱ + \varepsilon_۲)$$

$$subjectto:$$

$$۱/۶۶\times۱۰^{-۸}x_۱ + ۹/۷۲\times۱۰^{-۹}x_۲ + ۳/۳\times۱۰^{-۸}x_۳ + ۴/۷\times۱۰^{-۷}x_۴ + ۳/۴۱\times۱۰^{-۸}x_۵ + \varepsilon_۱ + \varepsilon_۲ \geq ۳/۲۲\times۱۰^{-۴}$$

$$۱/۰۱\times۱۰^{-۴}x_۱ + ۱/۱۴\times۱۰^{-۴}x_۲ + ۱/۳۵\times۱۰^{-۴}x_۳ + ۱/۲۷\times۱۰^{-۴}x_۴ + ۷/۲۴\times۱۰^{-۵}x_۵ + \varepsilon_۱ + \varepsilon_۲ \geq ۰/۷۵$$

$$۳۸/۲x_{۱۱} + ۳۶/۴x_{۲۱} + ۳۸x_{۳۱} + ۲۳/۲x_{۴۱} + ۲۷x_{۵۱} \leq ۲۶۶۶۰۰$$

$$۸۱/۸x_{۱۲} + ۶۸/۴x_{۲۲} + ۴۵/۸x_{۳۲} + ۹۳x_{۴۲} + ۶۰x_{۵۲} \leq ۵۶۲۵۳۲$$

$$۵۸/۴x_{۳۳} \leq ۴۸۵۶$$

$$۱۷x_{۱۴} + ۱۲x_{۲۴} + ۱۷x_{۳۴} \leq ۹۱۴۳۰$$

$$۳۸۰۰x_{۱۱} + ۴۰۰۰x_{۲۱} + ۷۴۰۰x_{۳۱} + ۶۶۰۰x_{۴۱} + ۱۲۴۰۰x_{۵۱} \leq ۲/۶\times۱۰^{۸}$$

$$۳۸۰۰x_{۳۲} + ۶۴۰۰x_{۴۲} \leq ۷۳۳۰۳۷۶۳$$

$$۱۴۰۰x_{۱۴} + ۱۴۰۰x_{۲۴} + ۷۰۰x_{۳۴} \leq ۹/۹۲\times۱۰^{۸}$$

$$۲۴/۱۲x_۱ + ۲۲/۷x_۲ + ۲۶/۱x_۳ + ۱۷/۹x_۴ + ۱۶/۴۲x_۵ \leq ۱۶۷۷۲۴$$

$$۲۴۰x_{۱۱} + ۳۴۰x_{۲۱} + ۳۴۰x_{۳۱} + ۳۷۰x_{۴۱} + ۱۲۰x_{۵۱} \leq ۱۹۳۸۱۰۰$$

$$۱۲۰x_{۱۲} + ۱۲۰x_{۲۲} + ۱۲۰x_{۳۲} + ۱۲۰x_{۴۲} + ۱۳۰x_{۵۲} \leq ۸۵۰۸۰۰$$

$$۱۹۰x_{۱۳} + ۱۹۰x_{۲۳} + ۲۲۰x_{۳۳} + ۲۲۰x_{۴۳} + ۷۰x_{۵۳} \leq ۱۲۷۰۸۰۰$$

$$۳/۱x_{۱۱} + ۳/۴x_{۲۱} + ۲/۴x_{۳۱} + ۱/۲x_{۴۱} + \leq ۱۹۶۲۶$$

$$۰/۲x_{۱۲} + ۰/۳۸x_{۳۲} + ۰/۲۴x_{۴۲} \leq ۹۴/۲$$

$$۰/۲x_{۱۳} + ۳/۶x_{۳۳} + ۱/۸x_{۴۳} + ۱/۱x_{۵۳} \leq ۱۰۲۶$$

$$۱۳۰/۲x_{۱} + ۱۲۳/۵x_{۲} + ۱۳۹/۹x_{۳} + ۹۹/۷x_{۴} + ۱۰۴/۴x_{۵} \leq ۹۱۹۱۷۶$$

$$۲۷۶x_{۱} + ۲۷۰x_{۲} + ۷۴x_{۳} + ۸/۲x_{۴} \leq ۱۶۸۱۷۳۰$$

$$x_{۱} + x_{۲} + x_{۳} + x_{۴} + x_{۵} \leq ۹۰۴۰$$

$$x_{۵} - x_{۱} \leq ۰$$

داده‌های مورد استفاده مربوط به سال زراعی ۸۸ تا ۸۹ می‌باشد که از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کاشمر و نهادهای ذیربط جمع‌آوری شده اند. 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**

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

بر اساس هم‌ارزهای انرژی ومیزان 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 نظرگرفته شد $(\sigma = ۰)$. در حالت دیگر ضرایب تابع هدف و مقادیر سمت راست کمترین مقدار و ضرایب نهاده‌ها بیشترین مقدار را دارا می‌باشند $(\sigma = ۱)$. مقادیر $x_\delta^\partial$ برای $\partial = ۰,۱$ و $\delta = ۱,۲$ و برای مقادیر مختلف۱/۹۶ و ۱/۶۵ و ۰ = $Z_\alpha$ محاسبه شد. گام بعدی استفاده از مقادیر حاصله برای به دست آوردن ارزش‌های بهینه توابع هدف است. در ابتدا مقادیر $Z_۱^c$ و $Z_۲^c$ برای مجموعه مقادیر $x_\delta^\partial$ محاسبه شد.

**جدول ۲. مقادیر بهینه مرکزی**

| | | $x_\delta^\partial$ | $x_۱^۰$ | $x_۱^۱$ | $x_۲^۰$ | $x_۲^۱$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $z_\alpha = ۰$ | $Z_۱^c$ | | $۱/۶۴\times۱۰^{۱۱}$ | $۷/۸۶\times۱۰^{۱۰}$ | $۷/۷۳\times۱۰^{۱۹}$ | $۸/۲\times۱۰^{۹}$ |
| | $Z_۲^c$ | | $۳/۲۸\times۱۰^{۸}$ | $۲/۰۲\times۱۰^{۸}$ | $۳/۴۹\times۱۰^{۸}$ | $۲/۰۷\times۱۰^{۷}$ |
| $z_\alpha = ۱/۶۵$ | $Z_۱^c$ | | $۱/۴۰\times۱۰^{۱۱}$ | $۶/۸۵\times۱۰^{۱۰}$ | $۷/۷۳\times۱۰^{۱۰}$ | $۸/۲\times۱۰^{۹}$ |
| | $Z_۲^c$ | | $۱/۹۴\times۱۰^{۸}$ | $۹/۳\times۱۰^{۷}$ | $۳/۴۹\times۱۰^{۸}$ | $۲/۰۷\times۱۰^{۷}$ |
| $z_\alpha = ۱/۹۶$ | $Z_۱^c$ | | $۱/۴۵\times۱۰^{۱۱}$ | $۶/۹۹\times۱۰^{۱۰}$ | $۷/۷۳\times۱۰^{۱۰}$ | $۸/۲\times۱۰^{۹}$ |
| | $Z_۲^c$ | | $۲/۱۹\times۱۰^{۸}$ | $۱/۰۸\times۱۰^{۸}$ | $۳/۴۹\times۱۰^{۸}$ | $۲/۰۷\times۱۰^{۷}$ |

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.

**جدول۳. ارزش‌های بهینه توابع هدف**

| | | $P_k^{\mu}$ | $P_k^{\tau}$ | $\phi_k$ | $\pi_k$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $z_{\alpha}=۰$ | K=۱ | ۰/۶۵ | ۰/۰۱ | $۴/۷۸\times۱۰^{-۹}$ | ۰/۰۰۰۴۸ |
| | K=۲ | ۰/۸۳ | ۰/۰۱ | $۹/۸۴\times۱۰^{-۶}$ | ۰/۹۹ |
| $z_{\alpha}=۱/۶۵$ | K=۱ | ۰/۶۸ | ۰/۰۱ | $۴/۷۷\times۱۰^{-۹}$ | ۰/۰۰۰۴۸ |
| | K=۲ | ۰/۸۳ | ۰/۰۱ | $۹/۸۱\times۱۰^{-۶}$ | ۰/۹۹ |
| $z_{\alpha}=۱/۹۶$ | K=۱ | ۰/۶۷ | ۰/۰۱ | $۴/۷۷\times۱۰^{-۹}$ | ۰/۰۰۰۴۸ |
| | K=۲ | ۰/۸۳ | ۰/۰۱ | $۹/۸۱\times۱۰^{-۶}$ | ۰/۹۹ |

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:

**جدول۴. نتایج پاسخ های توافقی**

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

منبع: یافته‌های تحقیق

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 $z_\alpha = ۰$ در جدول ۵ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در سطح $\alpha = ۱$، انرژی مصرفی در نهاده آب بیشترین اختلاف را دارد و مقدار آن ۴۹/۹۶٪ بیشتر از مقدار بهینه می‌باشد. پس از آن، مقدار مصرف واقعی نیروی کار ۲۸/۱۹٪ بیش از مقدار بهینه آن می‌باشد. نهاده‌های سوخت، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر و سم به ترتیب ۲۷٪، ۲۴/۶۳٪، ۲۰/۲۹٪، ۱۸/۳۸٪، ۱۴/۲۲٪ و۸/۵٪ بیشتر از مقدار بهینه خود مصرف می‌شوند. اختلاف میزان مصرف انرژی نهاده کود اوره در مقادیر واقعی و بهینه صفر است. در سطح $\alpha = ۰/۸$، انرژی مصرفی در نهاده آب ۴۱/۶۰٪ بیشتر از مقدار بهینه است. سایر نهاده‌ها از قبیل سوخت، نیروی کار، ماشین‌آلات، 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 می‌شوند. در سطح $\alpha = ۰/۶$ نیز آب آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد و ۴۴/۴۱٪ بیشتر از مقدار بهینه مصرف می‌شود. همچنین در صورت استفاده بهینه از منابع نیروی کار، ماشین‌آلات، 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 صرفه‌جویی می‌شود.

**جدول ۵. مقادیر واقعی و بهینه انرژی نهاده‌ها در سطح $z_\alpha = ۰$ (مگاژول در هکتار)**

| | | $\alpha = ۱$ | $\alpha = ۰/۸$ | $\alpha = ۰/۶$ |
|---|---|---|---|---|
| نیروی کار | واقعی | ۲۰۰۲۵۹۰/۸ | ۱۹۰۸۲۰۵/۰۴ | ۱۸۱۳۸۱۹/۲۸ |
| | بهینه | ۱۴۳۷۹۱۴/۹۳ | ۱۵۰۴۰۹۳/۶۳ | ۱۳۷۳۴۱۹/۸۲ |
| | درصد | -۲۸/۱۹ | -۲۱/۱۷ | -۲۴/۲۸ |
| ماشین آلات | واقعی | ۱۱۴۱۲۰۲۷ | ۱۰۹۶۴۱۶۰/۹ | ۱۰۵۱۶۲۹۴/۸ |
| | بهینه | ۸۶۰۰۹۷۹/۰۹ | ۹۰۸۵۹۵۷/۳۲ | ۸۴۵۴۸۱۹/۱۲ |
| | درصد | -۲۴/۶۳ | -۱۷/۱۳ | -۱۹/۶ |
| کودفسفات | واقعی | ۱۰۶۲۳۷۶۰ | ۱۰۶۰۳۸۵۶ | ۱۰۵۸۳۹۵۲ |
| | بهینه | ۸۴۶۷۴۹۳/۷۴ | ۹۲۴۲۷۸۴/۴ | ۸۹۸۸۱۱۸/۹۴ |
| | درصد | -۲۰/۲۹ | -۱۲/۸۳ | -۱۵/۰۷ |
| کود اوره | واقعی | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰ | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲ | ۱۲۸۱۸۵۹۳۴ |
| | بهینه | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰ | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲ | ۱۲۸۱۸۵۹۳۴ |
| | درصد | ۰ | ۰ | ۰ |
| کودپتاسه | واقعی | ۱۴۲۴۹۷۰۰ | ۱۴۲۰۹۵۶۰ | ۱۴۱۶۹۴۲۰ |
| | بهینه | ۱۱۶۲۹۴۵۰ | ۱۲۲۷۴۲۲۱/۰۵ | ۱۲۳۰۹۱۸۷/۴۵ |
| | درصد | -۱۸/۳۸ | -۱۳/۶۱ | -۱۳/۱۲ |
| آب آبیاری | واقعی | ۷۴۶۶۴۰۰۰ | ۶۹۵۰۹۹۴۰ | ۶۴۳۹۶۶۸۰ |
| | بهینه | ۳۷۳۶۰۹۰۰/۶۸ | ۴۰۵۸۹۴۷۲/۲ | ۲۳۹۳۰۱۶/۰۳ |
| | درصد | -۴۹/۹۶ | -۴۱/۶۰ | -۴۴/۴۱ |
| سم | واقعی | ۲۶۱۰۸۴۰ | ۲۵۵۰۱۹۲ | ۲۴۸۹۵۴۴ |
| | بهینه | ۲۳۸۸۸۴۰ | ۲۴۵۸۴۲۷/۵۴ | ۲۳۹۳۰۱۶/۰۳ |
| | درصد | -۸/۵ | -۳/۵۹ | -۳/۸۷ |
| بذر | واقعی | ۲۶۳۷۴۴۵۰ | ۲۶۳۷۴۴۵۰ | ۲۶۳۷۴۴۵۰ |
| | بهینه | ۲۲۶۲۱۷۸۳ | ۲۲۴۹۴۰۵۸ | ۲۱۳۷۳۸۴۳ |
| | درصد | -۱۴/۲۲ | -۱۴/۷۱ | -۱۸/۹۶ |
| سوخت | واقعی | ۵۵۷۳۴۵۱۱/۸ | ۵۳۷۴۶۶۵۶/۱۸ | ۵۱۷۵۸۸۰۰/۵۶ |
| | بهینه | ۴۰۶۸۶۶۰۴/۶۸ | ۴۴۳۶۹۸۷۵/۵۶ | ۴۱۵۴۸۴۴۰/۴۹ |
| | درصد | -۲۷ | -۱۷/۴۴ | -۱۹/۷۲ |

منبع: یافته‌های مطالعه

حالت بعدی در شرایطی است که $z_\alpha = ۱/۶۵$ در نظرگرفته شده است که نتایج مربوطه در جدول ۶ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود که در سطح $\alpha = ۱$ انرژی مصرفی در نهاده آب ۵۸/۲۳٪بیشتر از مقدار بهینه می‌باشد. پس از آن، بذر ۵۴/۶۴٪ بیش از مقدار بهینه خود انرژی مصرف می‌کند. نهاده‌های نیروی کار، سوخت، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر، سم و کود نیترات به ترتیب ۵۱/۰۲٪، ۴۹/۶۵٪، ۵۰/۸۶٪، ۴۹/۷٪، ۴۹/۸۲٪، ۵۴/۶۴٪، ۵۰/۰۲٪ و ۴۳/۸۶٪ با میزان بهینه مصرف انرژی اختلاف دارند. در سطح $\alpha = ۰/۸$، انرژی مصرفی در نهاده آب ۷۱/۹۹٪ 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 ۶۲/۲۶٪، ۶۳/۱۸٪، ۶۱/۶۶٪، ۵۸/۹۹٪، ۵۶/۴٪، ۶۰/۲۴٪، ۵۲/۶۷٪ و ۴۸/۵۳٪ بیشتر از مقدار بهینه مصرف می‌شوند. در سطح $\alpha = ۰/۶$ نیز آب آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد و ۷۲/۶۴٪ 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 ۶۵/۱۷٪، ۶۳/۶۱٪، ۶۱/۴۸٪، ۵۸/۳۶٪، ۶۴/۵۶٪، ۵۴/۲۵٪ و ۵۱/۶۹٪می‌باشد.

**جدول ۶. مقادیر واقعی و بهینه انرژی نهاده‌ها در سطح $z_{\alpha} = ۱/۶۵$ (مگاژول در هکتار)**

| | | $\alpha = ۱$ | $\alpha = ۰/۸$ | $\alpha = ۰/۶$ |
|---|---|---|---|---|
| نیروی کار | واقعی | ۲۰۰۲۵۹۰/۸ | ۱۹۰۸۲۰۵/۰۴ | ۱۸۱۳۸۱۹/۲۸ |
| | بهینه | ۹۸۰۷۲۵/۲ | ۷۰۲۴۱۱/۷۸ | ۶۳۱۷۴۴/۲۶ |
| | درصد | -۵۱/۰۲ | -۶۳/۱۸ | -۶۵/۱۷ |
| ماشین آلات | واقعی | ۱۱۴۱۲۰۲۷ | ۱۰۹۶۴۱۶۰/۹ | ۱۰۵۱۶۲۹۴/۸ |
| | بهینه | ۵۶۰۷۷۳۱/۲۵ | ۴۲۰۳۵۴۳/۴۳ | ۳۸۲۵۸۴۴/۹ |
| | درصد | -۵۰/۸۶ | -۶۱/۶۶ | -۶۳/۶۱ |
| کودفسفات | واقعی | ۱۰۶۲۳۷۶۰ | ۱۰۶۰۳۸۵۶ | ۱۰۵۸۳۹۵۲ |
| | بهینه | ۵۳۴۲۹۸۰ | ۴۳۴۷۶۸۶/۷ | ۴۰۷۶۴۳۶/۲۳ |
| | درصد | -۴۹/۷ | -۵۸/۹۹ | -۶۱/۴۸ |
| کود اوره | واقعی | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰ | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲ | ۱۲۸۱۸۵۹۳۴ |
| | بهینه | ۷۶۴۵۷۸۴۰ | ۶۸۰۴۱۱۲۸/۱۶ | ۶۱۹۲۵۱۶۲/۳۶ |
| | درصد | -۴۳/۸۶ | -۴۸/۵۳ | -۵۱/۶۹ |
| کودپتاسه | واقعی | ۱۴۲۴۹۷۰۰ | ۱۴۲۰۹۵۶۰ | ۱۴۱۶۹۴۲۰ |
| | بهینه | ۷۱۴۹۹۳۷/۵ | ۶۱۹۵۱۶۹/۶۹ | ۵۹۰۰۱۲۰/۶۲ |
| | درصد | -۴۹/۸۲ | -۵۶/۴ | -۵۸/۳۶ |
| آب آبیاری | واقعی | ۷۴۶۶۴۰۰۰ | ۶۹۵۰۹۹۴۰ | ۶۴۳۹۶۶۸۰ |
| | بهینه | ۳۱۱۸۱۴۰۰ | ۱۹۴۶۸۳۳۵/۰۶ | ۱۷۶۱۴۲۲۵/۹۸ |
| | درصد | -۵۸/۲۳ | -۷۱/۹۹ | -۷۲/۶۴ |
| سم | واقعی | ۲۶۱۰۸۴۰ | ۲۵۵۰۱۹۲ | ۲۴۸۹۵۴۴ |
| | بهینه | ۱۳۰۴۶۴۰ | ۱۲۰۶۸۵۲/۵۶ | ۱۱۳۸۸۶۴/۸ |
| | درصد | -۵۰/۰۲ | -۵۲/۶۷ | -۵۴/۲۵ |
| بذر | واقعی | ۲۶۳۷۴۴۵۰ | ۲۶۳۷۴۴۵۰ | ۲۶۳۷۴۴۵۰ |
| | بهینه | ۱۱۹۶۰۹۵۰ | ۱۰۴۸۵۹۳۲ | ۹۳۴۶۰۷۳ |
| | درصد | -۵۴/۶۴ | -۶۰/۲۴ | -۶۴/۵۶ |
| سوخت | واقعی | ۵۵۷۳۴۵۱۱/۸ | ۵۳۷۴۶۶۵۶/۱۸ | ۵۱۷۵۸۸۰۰/۵۶ |
| | بهینه | ۲۸۰۵۸۸۵۰/۶۸ | ۲۰۲۸۱۹۴۹/۷۸ | ۱۸۷۱۷۴۹۴/۶۸ |
| | درصد | -۴۹/۶۵ | -۶۲/۲۶ | -۶۳/۳۷ |

منبع: یافته‌های مطالعه

در سطح $z_{\alpha} = ۱/۹۶$ نیز مقادیر بهینه و واقعی انرژی ورودی و اختلاف آن‌ها محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۷ نشان داده شده است. در سطح $\alpha = ۱$، نهاده آب با ۵۳/۸۶٪ 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 به‌ترتیب ۴۶/۱۵٪، ۴۴/۲۶٪، ۴۳/۶۵٪، ۴۲/۶۸٪، ۴۲/۲۱٪، ۴۲/۳۱٪، ۴۱/۲٪ و ۳۴/۵۴٪ بیشتر از مقدار بهینه خود مصرف می‌شوند. در سطح $\alpha = ۰/۸$، بیشترین اختلاف در مقادیر واقعی و بهینه انرژی مصرفی در نهاده آب ۶۷/۹۳٪ است و این مقدار در نهاده‌های سوخت، نیروی‌کار، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر، سم و کود نیترات به ترتیب ۵۵/۸۲٪، ۵۷/۰۴٪، ۵۵/۰۸٪، ۵۲/۱۳٪، ۴۹/۳٪، ۵۲/۸۹٪، ۴۴/۶۶٪ و ۴۰/۰۱٪ می‌باشد. در سطح $\alpha = ۰/۶$، همانند حالات قبل، آب آبیاری بیشترین سهم انرژی مصرفی را دارد و ۶۸/۷۴٪ بیشتر از مقدار بهینه مصرف می‌شود و نهاده‌های نیروی کار، ماشین‌آلات، کود فسفات، کود پتاس، بذر و سم به ترتیب ۵۹/۴۱٪، ۵۷/۴۴٪، ۵۵/۰۴٪، ۵۱/۵۳٪، ۵۸/۰۲٪ و ۴۶/۷۷٪ با میزان بهینه مصرفی خود اختلاف دارند.

**جدول ۷. مقادیر واقعی و بهینه انرژی نهاده‌ها در سطح $z_\alpha = ۱/۹۶$ (مگاژول در هکتار)**

| | | $\alpha = ۱$ | $\alpha = ۰/۸$ | $\alpha = ۰/۶$ |
|---|---|---|---|---|
| نیروی کار | واقعی | ۲۰۰۲۵۹۰/۸ | ۱۹۰۸۲۰۵/۰۴ | ۱۸۱۳۸۱۹/۲۸ |
| | بهینه | ۱۱۱۶۲۰۰/۴ | ۸۱۹۶۷۲/۱۷ | ۷۳۶۱۸۷/۶۲ |
| | درصد | -۴۴/۲۶ | -۵۷/۰۴ | -۵۹/۴۱ |
| ماشین آلات | واقعی | ۱۱۴۱۲۰۲۷ | ۱۰۹۶۴۱۶۰/۹ | ۱۰۵۱۶۲۹۴/۸ |
| | بهینه | ۶۴۳۰۳۵۵/۲۵ | ۴۹۲۴۴۰۲/۱۹ | ۴۴۷۵۱۸۹/۹۲ |
| | درصد | -۴۳/۶۵ | -۵۵/۰۸ | -۵۷/۴۴ |
| کودفسفات | واقعی | ۱۰۶۲۳۷۶۰ | ۱۰۶۰۳۸۵۶ | ۱۰۵۸۳۹۵۲ |
| | بهینه | ۶۱۳۹۱۴۰ | ۵۰۷۶۰۳۹/۹۹ | ۴۷۵۷۴۹۲/۶۴ |
| | | -۴۲/۲۱ | -۵۲/۱۳ | -۵۵/۰۴ |
| کود اوره | واقعی | ۱۳۶۲۱۵۳۳۰ | ۱۳۲۲۰۰۶۳۲ | ۱۲۸۱۸۵۹۳۴ |
| | بهینه | ۸۹۱۵۶۷۲۰ | ۷۹۳۰۶۴۲۳/۶۶ | ۷۲۱۸۴۶۶۶/۸۸ |
| | درصد | -۳۴/۵۴ | -۴۰/۰۱ | -۴۳/۶۸ |
| کودپتاسه | واقعی | ۱۴۲۴۹۷۰۰ | ۱۴۲۰۹۵۶۰ | ۱۴۱۶۹۴۲۰ |
| | بهینه | ۸۲۲۰۳۳۷/۵ | ۷۲۰۴۰۸۰/۷۸ | ۶۸۶۶۶۴۰/۵۳ |
| | درصد | -۴۲/۳۱ | -۴۹/۳ | -۵۱/۵۳ |
| آب آبیاری | واقعی | ۷۴۶۶۴۰۰۰ | ۶۹۵۰۹۹۴۰ | ۶۴۳۹۶۶۸۰ |
| | بهینه | ۳۴۴۴۵۴۰۰ | ۲۲۲۹۱۴۷۴/۷۴ | ۲۰۱۲۷۱۲۹/۶ |
| | درصد | -۵۳/۸۶ | -۶۷/۹۳ | -۶۸/۷۴ |
| سم | واقعی | ۲۶۱۰۸۴۰ | ۲۵۵۰۱۹۲ | ۲۴۸۹۵۴۴ |
| | بهینه | ۱۵۳۵۰۴۰ | ۱۴۱۱۲۴۱/۲ | ۱۳۲۵۰۰۵/۵۶ |
| | درصد | -۴۱/۲۰ | -۴۴/۶۶ | -۴۶/۷۷ |
| بذر | واقعی | ۲۶۳۷۴۴۵۰ | ۲۶۳۷۴۴۵۰ | ۲۶۳۷۴۴۵۰ |
| | بهینه | ۱۴۲۰۰۹۵۰ | ۱۲۴۲۳۳۸۲ | ۱۱۰۷۰۶۱۶ |
| | درصد | -۴۶/۱۵ | -۵۲/۸۹ | -۵۸/۰۲ |
| سوخت | واقعی | ۵۵۷۳۴۵۱۱/۸ | ۵۳۷۴۶۶۵۶/۱۸ | ۵۱۷۵۸۸۰۰/۵۶ |
| | بهینه | ۳۱۹۳۲۹۷۸/۶۸ | ۲۳۷۴۳۷۰۲/۷۶ | ۲۱۸۹۰۲۳۶/۵۸ |
| | درصد | -۴۲/۶۸ | -۵۵/۸۲ | -۵۷/۷ |

منبع: یافته‌های مطالعه

## نتیجه‌گیری 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 درنظر 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 در 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 واریته هایی 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 پرمحصول 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 نهاده 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 اقتصادکشاورزی*، 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 وافی نجار، د. ۱۳۷۵. بررسی کارایی و بهره‌وری انرژی در بخش‌های مختلف اقتصادی و تخمین کشش نهاده‌ای و قیمتی انرژی در بخش صنعت و حمل و نقل با روش TSLS در ۱۳۷۹- ۱۳۵۰. *مجله تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۶: ۱۱۳- ۱۳۷.

کوچکی، ع. و حسینی، م. ۱۳۷۳. کارایی انرژی در اکوسیستم های 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 Selc-uk, Graduate School of Natural and Applied Sciences. Textbook (unpublished-Turkish).

Canakci, M., Topkaci, M., Akinci, I. and Ozmeri, A. 2005. Eneregy use patern of some field crops and vegetable production: Case study for antalya region, Turkey. *Eneregy Conversion and Mnagement*, 46: 655-666.

Chineck, J., & Ramadan, K. 2000. Linear programming with interval coefficients. *Journal of opereational Research society,* 51: 209-220.

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 apprasial 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.