شیلات، مجله منابع طبیعی ایران

دوره ۶۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

صفحات ۴۴۲-۴۳۱

بهینه‌سازی انرژی مصرفی در تولید ماهیان گرم‌آبی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک

اسداله اکرم[۱]*، مجید خانعلی*[۲]*، سپیده گلچین کماکلی*[۳]*، هما حسین زاده بندبافها*[۴]

۱. *دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران ، کرج، ایران.*

۲. *استادیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.*

۳. *دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.*

۴. *دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۸/۸

چکیده

مدیریت فنی واحدهای کشاورزی عامل بسیار مهمی در افزایش تولید و عملکرد و همچنین کاهش در هزینه‌ها و نهاده‌های کشاورزی می‌باشد. به همین منظور کارایی فنی مزارع پرورش ماهیان گرم‌آبی استان گیلان در سال پرورش ۱۳۹۳ مورد ارزیابی قرار گرفت. داده‌های مورد نیاز از طریق تکمیل پرسش‌نامه از ۵۷ پرورش‌دهنده جمع‌آوری گردید و با استفاده از دو تکنیک بهینه‌یابی تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به‌نتایج به‌دست آمده مشخص شد که در تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۱۵۸۵۱۵/۵ مگاژول برای هر هکتار می‌با شد که انرژی بچه ماهی با ۹/۲۷ در صد بیشترین مقدار ذخیره انرژی را در حالت بهینه، بدون کاهش میزان عملکرد ماهی به خود اختصاص داد. همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک چندهدفه مشخص شد که چنان‌چه تمامی نهاده‌ها به‌صورت کاملاً بهینه مصرف شوند، انرژی نهاده کل برابر با ۵۱/۴۳۷۶۶ مگاژول برای هر هکتار می‌شود (۲۶٪ ذخیره انرژی در حالت ایده‌آل).

واژگان کلیدی: ماهیان گرم‌آبی، بهینه‌یابی، تحلیل پوششی داده‌ها، الگوریتم ژنتیک، استان گیلان.

* نویسندگان مسوول: تلفن: ۰۱۱+۹۸۲۶۳۸ ایمیل: khanali@ut.ac.ir و a.akram@ut.ac.ir

۱. مقدمه

صنعت آبزی‌پروری در طی سالیان اخیر رشد و توسعه قابل توجهی داشته است به‌طوری که میزان رشد آن قابل قیاس با سایر بخش های تولید کننده غذا برای انسان‌ها نیست (FAO, 2014). رشد روزافزون جمعیت انسان، تأمین غذا و دستیابی به منابع غذایی جدید را به یکی از دغدغه‌های انسان امروزی مبدل ساخته است. یکی از راهکارهای انتخابی برای برآوردن نیازهای غذایی و به ویژه پروتئین انسانی، پرورش ماهی می‌باشد. امروزه ماهی به‌طور میانگین ۱۶ درصد از پروتئین مورد نیاز جهان را تأمین می‌کند و نقش مهمی در اقتصاد کشورها دارد. بنابراین با توجه به محدودیت صید در دریاها، صنعت آبزی‌پروری از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Bani Asad *et al.*, 2010). آمارها نشان می‌دهد در بین بخش‌های تولید کننده غذا، پرورش ماهی سریع ترین رشد را دارد (FAO, 2004). نیاز امروز بشر به استفاده از پروتئین ماهی لزوم دستیابی به بیوتکنیک پرورش و تکثیر گونه‌های مختلف ماهیان گرم‌آبی به دلیل قیمت مناسب و به‌ویژه در کشورهای آسیایی را دو چندان کرده، به‌طوری که در بسیاری از کشورها موضوع تنوع گونه‌ای با رویکرد به ماهیان گرم‌آبی نظیر کپور ماهیان، گربه ماهی، تیلاپیا وسایر موارد دنبال می‌شود (Mathew, 1989).

با توجه به اهمیت کارایی در تولید و پرورش آبزیان، تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است. در پژوهشی به‌منظور ارزیابی کارایی فنی و رتبه‌بندی مزارع پرورش میگو شهرستان چابهار، از مدل تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است که نتایج نشان داد میانگین کارایی فنی با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس متغیر، ٪۸۵ بوده است، درحالی‌که تنها ٪۲۵ از بنگاه‌های مورد بررسی به‌طور کامل کارا بودند. همچنین رتبه‌بندی حاصل از مدل سوپرکارایی مشخص کرد که تفاوت بسیار معناداری بین کارایی واحدهای کارا وجود دارد (Yaghobi, 2011). همچنین محققان پژوهشی را روی ماهی قزل‌آلا انجام داده و کارایی فنی مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا در شهرستان میانه را اندازه‌گیری کردند. با توجه به نتایج مشخص شد که میانگین کارایی فنی مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا با استفاده از رهیافت تحلیل پوششی داده‌ها ۰/۹۹۱ می‌باشد (Yousefei *et al.*, 2014). در پژوهشی کارایی مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها اندازه‌گیری شد که نتایج نشان داد که بیشتر مزارع پرورش ماهی دارای کارایی بالایی بوده‌اند، به‌طوری که میانگین کارایی فنی کلیه مزارع برابر ۰/۸۴۲ بوده است. همچنین بیش از ۶۰ درصد از مزارع پروش ماهی دارای کارایی فنی بالای ۸۰ درصد بودند (Islami, 2011). همچنین در پژوهشی دیگر، کارایی و سودآوری واحدهای پرورش ماهی قزل‌آلا در استان فارس را بررسی کردند. میانگین کارایی‌های فنی، تخصیصی و مقیاس تحت فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس به‌ترتیب ۰/۹۳۷، ۰/۵۱۲ و ۰/۹۷۱ به‌دست آمده است (Abedi *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای دیگر در خصوص پرورش ماهی تیلاپیا در عربستان گزارش شده است که همه مزارع در کمتر از مقیاس سود ماکزیمم و اکثر آن‌ها نیز پایین‌تر از مقیاس کارایی فنی فعالیت می‌کنند که یکی از دلایل این امر، کیفیت پایین بچه ماهی و نیز پایین بودن سطح مهارت مدیریتی پرورش‌دهندگان مزارع می‌باشد (Elhendy and Alzoom, 2001).

با توجه به اهمیت کارایی انرژی و مصرف بهینه انرژی در تولیدات کشاورزی، دامی و ماکیان، تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است. با این حال تحقیقی جامع در رابطه با کارایی و بهینه سازی مصرف انرژی در پرورش ماهیان گرم‌آبی در ایران صورت نگرفته است، بنابراین در مطالعه حاضر با استفاده از دو تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها و الگوریتم ژنتیک، کارایی پرورش‌دهندگان ماهیان گرم‌آبی از نظر مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. نمونه‌برداری و جمع آوری اطلاعات

این پژوهش در استان گیلان به عنوان قطب تولید ماهیان گرم‌آبی در کشور صورت گرفته است. به‌طور کلی، استان گیلان در شمال کشور و در محدوده جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۲۷

دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد و ۰/۸۵ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل داده است (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014). به‌منظور تعیین میزان انرژی نهاده‌های مصرفی در استخر پرورش ماهیان گرم‌آبی و تعیین هزینه‌های تولید و ارزیابی استخرها تعداد ۵۷ پرسش‌نامه تهیه شد. تعداد پرسش‌نامه‌ها با استفاده از رابطه کوکران محاسبه شد (Cochran, 1977).

$$n = \frac{N(s \times t)^2}{(N-1)d^2 + (s \times t)^2} \qquad (۱)$$

که در آن N ، اندازه جامعه آماری، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t استیودنت به‌دست می‌آید. S^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه که در اینجا واریانس بازده انرژی در مناطق مورد مطالعه است، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است.

جهت تعیین میزان مصرف و تحلیل سیر انرژی از شاخص‌های که امکان مطالعه جزء به جزء سامانه ها و مقایسه آن‌ها را با یکدیگر فراهم می‌کنند. تعیین این شاخص‌ها ضمن فراهم کردن امکان مقایسه می‌تواند در بهبود کارایی انرژی مؤثر واقع شوند (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014). بنابراین اندازه‌گیری و ارزیابی منظم این شاخص‌ها باعث استفاده بهینه از امکانات موجود و جلوگیری از افزایش نامتعادل مصرف انرژی، هزینه‌ها و موجب ارتقاء کیفیت و کمیت کالاها و خدمات تولیدی خواهد شد. این شاخص‌ها عبارتند از نسبت انرژی (بازده انرژی) بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی که با استفاده از روابط (۲) تا (۴) محاسبه شدند (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014).

$$ER = \frac{E_{out}}{E_{in}} \qquad (۲)$$

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \qquad (۳)$$

$$NEG = E_{out} - E_{in} \qquad (۴)$$

که در روابط فوق، E_{out} انرژی خروجی ($MJ\ ha^{-1}$)، E_{in} انرژی ورودی ($MJ\ ha^{-1}$) و Y عملکرد محصول ($kg\ ha^{-1}$) می‌باشد. ER (نسبت انرژی)، EP (بهره‌وری انرژی) برحسب $kg\ MJ^{-1}$، و NEG (افزوده خالص انرژی) برحسب $MJ\ ha^{-1}$ می‌باشند.

برای محاسبه انرژی پلت، به دلیل عدم وجود هم‌ارز در سایر تحقیقات، هم‌ارز انرژی از مجموع هم‌ارزهای انرژی اجزای تشکیل دهنده آن محاسبه شد.

(۵)

$$\frac{(Y \times DM) \times [(B \times f_B) + (W \times f_W) + (S \times f_S) + (V \times f_V)) + (M \times f_M)]}{100}$$

که در این رابطه Y برابر عملکرد محصول، DM درصد ماده خشک، B، W، S، V، M، f_P، f_F و f_C به‌ترتیب میزان جو، آرد گندم، کنجاله سویا، روغن گیاهی و مواد معدنی و هم‌ارز انرژی آن‌ها می‌باشد. در محاسبه انرژی مورد نیاز برای تأمین آب از حجم آب مصرف شده، استفاده شد.

۲.۲. روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارایی

تحلیل پوششی، کارایی را در سه تعریف متفاوت ارائه می‌دهد که شامل کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس است. کارایی فنی اساساً به وسیله واحدهای ارزیابی شده برای عملکردشان که وابسته به دیگر واحدهاست، اندازه‌گیری می‌شود. کارایی فنی مطلق، نوعی کارایی فنی است که متأثر از جابجایی کارایی مقیاس می‌باشد. کارایی مقیاس نیز از تقسیم کارایی فنی بر کارایی فنی مطلق حاصل می‌شود. در مطالعه حاضر از روش ورودی-محور استفاده گردید و کارایی فنی از رابطه زیر محاسبه شده است (Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2014).

$$\text{Maximize } \theta = \sum_{r=1}^{n} u_r y_{rj}$$

$$\text{Subject to}$$

$$\sum_{r=1}^{n} u_r y_{rj} - \sum_{s=1}^{m} v_s x_{sj} \le 0 \qquad (۶)$$

$$\sum_{s=1}^{m} v_s x_{sj} = 1$$

$$u_r \ge 0,\ v_s \ge 0,\ \text{and}$$

(i and j= 1, 2, 3, …, k

جدول ۱- هم‌ارزهای انرژی نهاده‌ها و ستانده در پرورش ماهیان گرم‌آبی

نهاده	واحد	معادل انرژی (مگاژول بر واحد)	مرجع
نیروی کارگری	h	۱/۹۶	(Kitani, 1999)
اوره	kg	۶۶/۱۴	(Yilmaz *et al.*, 2005)
فسفر	kg	۱۲/۴۴	(Yilmaz *et al.*, 2005)
آهک	kg	۳/۷۸	(Fahimi, 2012)
کود حیوانی	kg	۰/۳	(Demircan *et al.*, 2006)
الکتریسیته	Kwh	۱۱/۹۳	(Peyman and Nabavi Pelesaraei, 2015)
بنزین	L	۴۶/۳	(Pimentel, 1992)
دیزل	L	۴۷/۸	(Kitani, 1999)
گندم	kg	۱۳	(Kitani, 1999)
ذرت	kg	۱۰۰	(Kitani, 1999)
علف (سورگوم)	kg	۱۵/۴	(Kitani, 1999)
پلت	kg	۱۳/۶۱	(محاسبه شده)
حمل و نقل	t.km	۱/۶	(Kitani, 1999)
آب	m^3	۱/۰۲	(Asgharipour *et al.*, 2012)
تراکتور	kg	۱۳۸	(Kitani, 1999)
گاوآهن	kg	۱۸۰	(Kitani, 1999)
ماهی	kg	۲۰/۵	(Askari Sari andMohammadi, 2015)

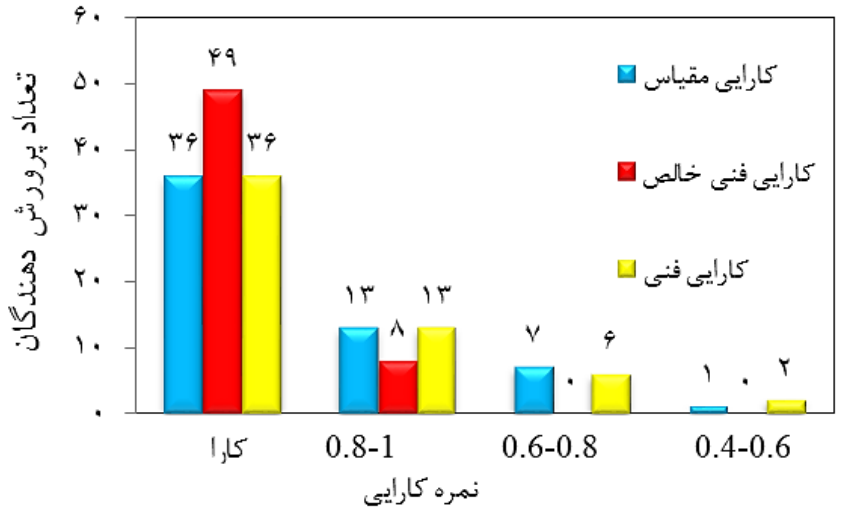
که در آن θ کارایی فنی، u وزن خروجی‌ها، y خروجی‌ها، v وزن ورودی‌ها، x ورودی‌ها، n تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده s تعداد خروجی ها و m تعداد نهاده‌ها می‌باشد. همچنین برای محاسبه کارایی فنی مطلق از مدل برنامه‌ریزی خطی زیر استفاده شد:

$$\begin{aligned} &\text{Maximize} && z=uy_i - u_i \\ &\text{Subjected to} && vx_i=1 \\ &&& -vX+uY - u_o e \le 0 \\ &&& v \ge 0,\ u \ge 0 \ \text{and} \ u_o \ \text{free in sing} \end{aligned} \qquad (۷)$$

به‌منظور انجام تحلیل‌ها، ابتدا داده‌ها قبل از اجرا به‌صورت یک کاربرگ نرم‌افزار Excel آماده شد تا نرم‌افزار بتواند آن‌ها را درک کند. از نرم‌افزار EMS 1.3 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی کارایی واحدها استفاده شده است. استخرها از نظر مصرف انرژی و عملکرد تولید و همچنین روند مصرف هزینه‌های ورودی و درآمد مورد ارزیابی قرار گرفتند، سپس واحدهای کارا و ناکارا مشخص شده و میزان مصرف نهاده‌ها در حالت بهینه وارد نرم‌افزار سیماپرو گردید تا شاخص‌های زیست محیطی در این حالت محاسبه گردیده و تفاوت آن‌ها با حالت واقعی مشخص شود.

۳.۲. روش الگوریتم ژنتیک برای اندازه‌گیری کارایی

الگوریتم ژنتیک، شاخه ای از الگوریتم‌های تکاملی است که براساس ساختار ژن‌ها و کروموزوم‌ها و با الهام از تکامل طبیعی در پیدا کردن راه‌حل‌های بهینه در مسائل بهینه‌سازی تلاش می کند. الگوریتم ژنتیک در دسته الگوریتم‌های بهینه‌یابی قرار داشته و اجازه می‌دهد تا جمعیتی متشکل از تعداد زیادی افراد که تحت قوانین انتخاب ویژه‌ای تشکیل شده‌اند، در طی فرآیند تکامل، تابع برازش را بهینه نمایند. طی دهه اخیر، الگوریتم‌های ژنتیک به‌طور گسترده‌ای در حوزه وسیعی از مسائل علوم، بازرگانی و مهندسی به‌عنوان ابزارهای جستجو و بهینه‌یابی به کار گرفته شدند. دلیل عمده موفقیت این الگوریتم‌ها، قابلیت کاربرد وسیع آن‌ها، سهولت در استفاده و چشم‌انداز عمومی آن‌ها است. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک و اصل بقای مناسب‌ترین، اقتباس گردیده است. این الگوریتم که با تقلید از تعدادی فرآیندهای مشاهده شده در تکامل طبیعی اختراع شده است، به‌طور مؤثری از دانش قدیمی موجود در یک جمعیت استفاده می کند تا راه‌حل‌های جدید و بهبود یافته ایجاد کند(Khoshnevisan *et al.*, 2013). برای استفاده از الگوریتم ژنتیک باید سه



شکل ۱- فراوانی پرورش‌دهندگان از نظر میزان کارایی مقیاس، کارایی فنی خالص و کارایی فنی.

جدول ۲- مقادیر مختلف انواع کارایی پرورش‌دهندگان ماهی در منطقه مورد مطالعه

عنوان	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
کارایی فنی	۰/۹۳	۰/۱۲۵	۰/۴۵	۱/۰۰
کارایی فنی خالص	۰/۹۹	۰/۰۳۲	۰/۸۱	۱/۰۰
کارایی مقیاس	۰/۹۴	۰/۱۱۳	۰/۵۶	۱/۰۰

مفهوم مهم زیر مشخص شود:

- تعریف تابع برازش یا تابع هدف
- تعریف و پیاده سازی فضای ژنتیک
- تعریف و پیاده سازی عملگرهای الگوریتم ژنتیک

اگر این سه قسمت به‌طور صحیح تعریف شوند، بدون شک الگوریتم ژنتیک به خوبی عمل خواهد کرد و در نهایت می‌توان با اعمال تغییراتی، کارایی سامانه را افزایش داد (Alireza, 2006).

روش الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب نخبه‌گرا یکی از پرکاربردترین روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه است که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برنامه بهینه‌سازی چندهدفه توسط الگوریتم ژنتیک نوشته شده در نرم‌افزار متلب معمولاً حداقل-سازی را برای توابع هدف انجام می‌دهد. بنابراین، توابع هدفی که به‌صورت حداکثرسازی تعریف می‌شوند لازم است با استفاده از ضریب (۱-) به توابع حداقل سازی تغییر کنند. محدودیت های مسئله شامل میزان حداقل و حداکثر مصرف نهاده‌ها در تولید ماهی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند که با نظر کارشناسان ماهیان گرم‌آبی در منطقه نیز مطابقت داده شده‌اند. برای تدوین این سامانه کدنویسی در محیط نرم‌افزار متلب صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

به‌منظور بهینه‌سازی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها، انرژی نهاده‌های مختلف به عنوان ورودی های مدل، میزان عملکرد محصول به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شد. کارا بودن یا غیرکارا بودن یک واحد بستگی به عملکرد آن واحد در تبدیل ورودی‌ها به خروجی در مقایسه با سایر واحدها دارد. ورودی ها شامل انرژی بچه ماهی، نیروی کارگری، کود شیمیایی، کود حیوانی، الکتریسیته، سوخت، غذا، حمل و نقل، آب و ماشین‌های کشاورزی بر حسب ($MJ\ ha^{-1}$) و خروجی عملکرد محصول بر حسب ($kg\ ha^{-1}$) است. همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود از مجموع ۵۷ واحد بررسی شده در استان گیلان ، با استفاده از مدل بازگشت به مقیاس متغیر، ۴۹ پرورش دهنده کارا شناخته شدند و دارای کارایی فنی خالص ۱ می‌باشند. ۳۶ پرورش دهنده دارای کارایی فنی برابر ۱ بوده‌اند و همچنین ۳۶ پرورش دهنده دارای کارایی مقیاس برابر با ۱ می‌باشند. دلیل تساوی تعداد واحدهای کارا در کارایی فنی و کارایی مقیاس آن است که ۳۶ واحدی که براساس مدل بازگشت به مقیاس ثابت کارا معرفی شدند قطعاً در مدل بازگشت به مقیاس متغیر نیز کارا هستند. لازم به

جدول ۳- رتبه بندی ده پرورش‌دهنده کارا در تولید ماهی با روش بازگشت به مقیاس ثابت

رتبه	شماره استخر	دفعات ارجاع	رتبه	شماره استخر	دفعات ارجاع
۱	۴۴	۱۱	۶	۱۸	۷
۲	۷	۹	۷	۲۲	۷
۳	۲۱	۸	۸	۱۰	۵
۴	۴۰	۸	۹	۲۸	۵
۵	۱۱	۷	۱۰	۲۷	۴

جدول ۴- مقایسه مصرف انرژی ده استخر کارا با استخرهای ناکارا ($MJ\ ha^{-1}$)

نهاده‌ها	مصرف انرژی		درصد تفاوت انرژی
	ده استخر کارا	استخرهای ناکارا	
بچه ماهی	۷۵۶۳/۲۹۹	۹۱۶۱/۴۹	۱۷/۴۴
نیروی انسانی	۱۰۸۸/۶۹۴	۱۳۳۷/۵۵۵	۱۸/۶۰
کود شیمیایی	۱۰۶۱۴/۹۷	۱۳۶۰۵/۸۶	۲۱/۹۸
کود حیوانی	۸۹۱/۳۹۷	۶۸۶/۴۵۱	-۸۵/۲۹
الکتریسیته	۳۸۳۰۶/۹۲	۳۹۶۴۹/۱۳	۳/۳۸
سوخت	۶۴۳/۲۸	۱۲۵۸/۴۷۸	۴۸/۸۸
غذا	۳۷۵۵۴/۸۲	۶۲۵۳۶/۸۲	۳۹/۹۵
حمل و نقل	۸۱/۹۵۶	۹۲/۴۷	۱۱/۳۷
آب	۱۳۵۳۲/۶۳	۱۲۷۳۵/۶۷	-۲۶/۶
ماشین‌های کشاورزی	۲۶/۶۲۵	۷۶/۲۷۵	۶۵/۰۹
کل انرژی نهاده	۱۱۰۳۰۴/۶	۱۴۱۱۴۰/۲	۲۱/۸۵
نسبت انرژی	۰/۶۱	۰/۴۸	

ذکر است اختلاف ۱۳ عددی بین کارایی فنی خالص با کارایی فنی به دلیل نامناسب بودن مقیاس تولید برای آن‌ها بوده است. همچنین از پرورش‌دهندگان ناکارا به‌ترتیب ۱۳ و ۸ پرورش دهنده دارای کارایی فنی و کارایی فنی خالص در محدوده ۶/۰ تا ۱ بوده‌اند.

مقادیر میانگین کارایی های مختلف برای پرورش‌دهندگان ماهی در جدول ۲ ارائه شده است. بر این اساس، کارایی فنی، کارایی فنی خالص و کارایی مقیاس برای پرورش‌دهندگان به‌ترتیب برابر ۰/۹۳، ۰/۹۹ و ۰/۹۴ به‌دست آمده است. همچنین مقادیر انحراف معیار، حداقل و حداکثر هر کارایی نیز در این جدول ارائه شده است. هرچقدر اختلاف کارایی فنی و کارایی فنی خالص کمتر باشد بهینه‌یابی بهتر انجام شده و پرورش‌دهندگان کاراتر هستند.

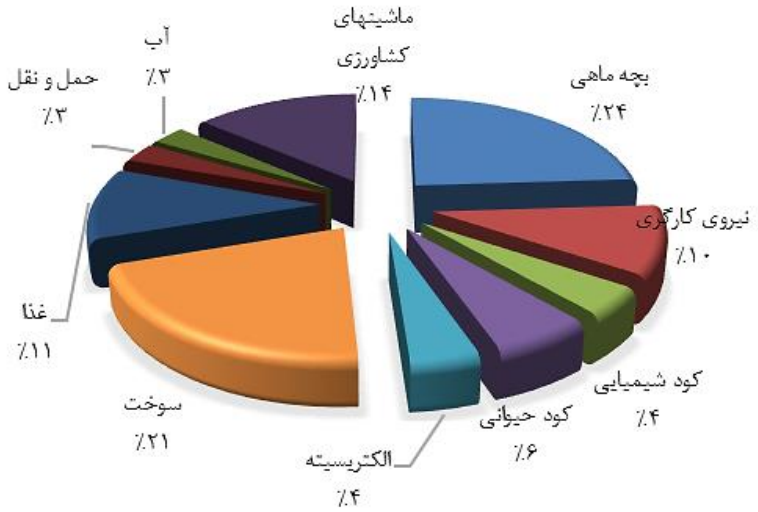
بنابراین می‌توان گفت که اکثر پرورش‌دهندگان از روش های صحیح تولید آگاهی نداشته‌اند و یا نهاده‌های مختلف را در زمان مناسب و به مقدار بهینه استفاده نکرده‌اند. به‌منظور رتبه بندی پرورش‌دهندگان کارا از روش تعداد دفعات ارجاع در مجموعه مرجع استفاده شد و به وسیله آن تعداد دفعاتی که هر یک از پرورش‌دهندگان کارا به‌عنوان مرجع برای پرورش‌دهندگان ناکارا انتخاب شده‌اند برآورد گردید.

با توجه به نتایج جدول ۳، پرورش‌دهندگان شماره ۴۴، ۷، ۲۱ و ۴۰ به‌ترتیب با ۱۱، ۹، ۸ و ۸ دفعه ارجاع به آن‌ها به عنوان کاراترین پرورش‌دهندگان منطقه مورد مطالعه در پرورش ماهی شناخته شدند. با الگو قرار دادن این پرورش‌دهندگان، واحدهای ناکارا می‌توانند تغییرات بهتری در الگوی مصرف انرژی لحاظ کنند تا به سطح مدیریت عملیات بهتری دست یابند و بتوانند کارایی مصرف انرژی را در تولید افزایش دهند. همچنین از لحاظ مصرف انرژی مقایسه ای بین ده پرورش دهنده کارا از بین تمامی واحدهای مورد مطالعه با پرورش‌دهندگان ناکارا صورت گرفت و نتایج آن در جدول ۴ گزارش شد.

با توجه به جدول ۳، کل انرژی ورودی توسط ده پرورش‌دهنده کارا و پرورش‌دهندگان ناکارای منطقه، به‌ترتیب برابر با ۱۱۰۳۰۴/۶ مگاژول در هکتار و ۱۴۱۱۴۰/۲ مگاژول در هکتار می‌باشد که پرورش‌دهندگان کارا حدود ۲۱ درصدی بیشتر انرژی مصرفی خود را ذخیره نموده‌اند یا به‌عبارت بهتر ۲۱ درصد

جدول ۵- مقادیر مصرف واقعی انرژی و مقدار بهینه مورد نیاز نهاده‌های مختلف در تولید ماهی ($MJ\ ha^{-1}$)

نهاده‌ها	مقدار واقعی	مقداربهینه	انرژی ذخیره شده	درصد ذخیره شده
بچه ماهی	۷۴۳۷/۴۸	۶۷۴۸/۲۲	۶۸۹/۲۶	۹۲/۷
نیروی انسانی	۱۳۳۶/۴۷	۱۲۸۳/۲۴	۲۳/۵۳	۹۸/۳
کود شیمیایی	۱۷۲۶۱/۸۹	۱۶۹۸۱/۱۲	۲۸۰/۷۶	۶۳/۱
کود حیوانی	۱۰۴۱/۶۴	۱۰۱۷/۰۳	۶۱/۲۴	۳۶/۲
الکتریسیته	۴۵۳۵۳/۶۸	۴۴۶۰۹/۴۶	۲۲/۷۴۴	۶۴/۱
سوخت	۸۸۵/۳۷	۸۱۳/۵۶	۸۰/۷۱	۱۱/۸
غذا	۷۷۰۰۸/۳۳	۷۳۸۲۲/۸۶	۳۱۸۵/۴۷	۱۴/۴
حمل و نقل	۱۰۹/۶۳	۱۰۸/۳۹	۲۴/۱	۱۳۵/۱
آب	۱۳۱۹۹/۰۸	۱۳۰۵۶/۳۲	۷۶/۱۴۲	۰۸۱/۱
ماشین‌های کشاورزی	۵۲/۷۹	۳۰/۷۵	۲۱/۴	۲۹۹/۵
کل انرژی	۱۶۳۷۱۳/۱	۱۵۸۵۱۵/۵	۵۱۹۵/۵۶	۱۷/۳
نسبت انرژی	۴۱/۰	۴۳/۰		



شکل ۲- سهم هر یک از نهاده‌ها در ذخیره سازی انرژی در تولید ماهی.

انرژی کمتر مصرف کرده‌اند. میزان مصرف نهاده‌های کود حیوانی و آب در پرورش‌دهندگان کارا نسبت به پرورش‌دهندگان ناکارا به‌ترتیب به میزان ٪۸۵/۲۹ و ٪۲۶/۶ بیشتر بوده است. انرژی نهاده‌های ماشین‌های کشاورزی، سوخت و غذا بین ده پرورش‌دهنده کارا و پرورش‌دهندگان ناکارا به‌ترتیب اختلافی برابر با ٪۶۵/۰۹، ٪۴۸/۸۸ و ٪۳۹/۹۵ داشته است. همچنین شاخص نسبت انرژی برای ده پرورش‌دهنده کارا به دلیل مصرف بهینه انرژی، به میزان ۰/۱۳ بیشتر از پرورش‌دهندگان ناکارا بوده است. مقادیر انرژی مورد نیاز در وضعیت مصرف بهینه انرژی، مقادیر انرژی قابل ذخیره و درصد انرژی ذخیره شده از هر نهاده نسبت به مصرف اولیه آن در جدول ۵ گزارش شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها برابر ۱۵۸۵۱۵/۵ مگاژول در هکتار به‌دست آمده که انرژی بچه ماهی با ۹/۲۷ درصد بیشترین مقدار ذخیره انرژی را در حالت بهینه به خود اختصاص داده است. همچنین امکان ذخیره سازی ۳/۱۷ درصد از کل نهاده‌های مصرفی بدون کاهش میزان عملکرد ماهی قابل دسترسی خواهد بود. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، از کل انرژی ذخیره شده، بیشترین سهم ذخیره به بچه ماهی با ۲۴ درصد و سوخت با ۲۱ درصد تعلق داشته است. فهیمی در پژوهشی بر روی ماهیان گرم‌آبی در استان مازندران میزان کل انرژی ورودی در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها را ۲۸۶۶۲۹/۹ مگاژول بر کیلوگرم به‌دست آورد که واحدهای ناکارا ۱۸۱۹۱۳/۱۴۹ مگاژول بر کیلوگرم

جدول ۶- مقادیر نرخ تورم واریانس و محدوده مصرف نهاده‌ها در توابع هدف ماهی

ورودی	عامل تورم واریانس		مینیمم مصرف نهاده	ماکزیمم مصرف نهاده
	تابع هدف اول	تابع هدف دوم		
بچه ماهی	۱/۴۲	۱/۴۲	۷۰	۱۰۹۸
کارگر	۵/۳۴	۵/۳۴	۱۳۰/۴	۲۸۶۳
کود شیمیایی	۳/۹۹	۳/۹۹	۱۶۶/۷	۳۶۳۶
کود حیوانی	۷/۰۸	۷/۰۸	۷۵۰	۴۸۱۸۱
الکتریسیته	۷/۸۲	۷/۸۲	۳۸۹/۳	۲۳۸۳۵
سوخت	۴/۹۴	۴/۹۴	۰	۷۵
غذا	۳/۸۷	۳/۸۷	۵۲۷/۸	۳۸۴۰۰
حمل و نقل	۴/۵۷	۴/۵۷	۱۸/۷۰	۳۷۵/۸۰
آب	۱/۵۴	۱/۵۴	۷۳۳۳/۳	۲۳۲۷۵
ماشین‌های کشاورزی	۷/۹۳	۷/۹۳	۰	۴/۴۳

بیشتر از این مقدار مصرف می‌کنند. بیشترین انرژی مازاد مصرفی مربوط به نیروی کارگری با ۴۵/۷ درصد مصرف مازاد و پس از آن به‌ترتیب به سوخت، ماشین و غذای ماهی تعلق داشت (Fahimi, 2012).

مصرف نهاده‌های انرژی از یک سو در ارتباط مستقیم با عملکرد محصول و میزان انرژی حاصل از تولیدات است و از سوی دیگر مصرف این نهاده‌ها باعث ایجاد آلایندگی‌های زیست محیطی شده و سلامت اکوسیستم های آبی، خاکی، انسان‌ها و همه موجودات را به مخاطره می‌اندازد. از این رو نگرش استفاده بهینه از این نهاده‌ها با دو هدف می‌تواند دنبال گردد. از میان شاخص‌های زیست‌محیطی محاسبه شده، پتانسیل گرمایش جهانی یکی از شناخته شده ترین و مورد توجه ترین می‌باشد. لذا دو تابع هدف برای این پژوهش تعریف شده است، که در این مطالعه عملکرد ماهی به‌عنوان عاملی که بایستی افزایش یابد، تابع هدف اول و پتانسیل گرمایش جهانی به‌عنوان عاملی که بایستی کاهش یابد، تابع هدف دوم در واحدهای مورد بررسی انتخاب شد. سپس مقدار مصرف نهاده‌ها در توابع هدف تعیین شد و معادله رگرسیون خطی توابع هدف به کمک نرم‌افزار SPSS محاسبه و توابع هدف در نرم‌افزار متلب کدنویسی و اجرا گردید. ایجاد جمعیت اولیه از روش اعداد تصادفی یکنواخت، بین حدود بالا و پایین متغیرهای تصمیم‌گیری، استفاده شد. در جدول ۶ مقادیر عامل تورم واریانس و همچنین میزان حداقل و حداکثر مصرف هر یک از نهاده‌ها جهت شکل گیری توابع هدف نشان داده شده است.

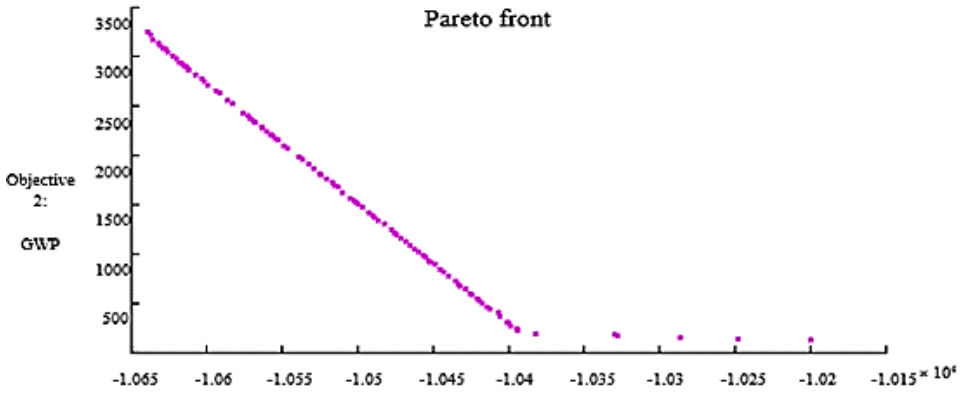
عامل تورم واریانس، شدت هم‌خطی چندگانه را در تحلیل رگرسیون ارزیابی می‌کند. در واقع بیان می‌کند چه مقدار از تغییرات مربوط به ضرایب برآورد شده بابت هم‌خطی افزایش یافته است. شدت هم‌خطی چندگانه را با بررسی بزرگی مقدار عامل تورم واریانس می‌توان تحلیل نمود. به عنوان یک قاعده تجربی اگر مقدار عامل تورم واریانس بزرگتر از ۵ باشد هم‌خطی چندگانه بالا می‌باشد. از آن‌جا که اولین گام برای حل مسائل بهینه‌یابی تعریف روابط بین ورودی‌ها و خروجی و بیان محدودیت ها و قیود مسئله می‌باشد، برای این منظور توابع و قیود به‌صورت زیر تعریف شده است. از آن جا که اولین هدف بیشینه کردن تابع تولید (عملکرد) بوده است تابع اول $f(1)$ بدین صورت تعریف شده است. در این رابطه متغیرهای ۱ تا ۱۰ به‌ترتیب عبارتند از بچه ماهی، نیروی کارگری، کود شیمیایی، کود حیوانی، الکتریسیته، سوخت، غذا، حمل و نقل، آب و ماشین‌های کشاورزی. قابل ذکر است که چون در متلب مقادیر کمینه محاسبه می شوند، این تابع در ۱- ضرب شده است. هدف دوم در مسئلهٔ بهینه‌یابی چندهدفه، کمینه کردن گرمایش جهانی است. لذا این هدف $f(2)$ نیز به‌صورت زیر تعریف شده است:

$$f(1)= 0.41 \times x(1) - 0.18 \times x(2) - 0.59 \times x(3) + 0.03 \times x(4) + 0.16 \times x(5) - 0.55 \times x(6) - 0.03 \times x(7) + 11.12 \times x(8) + 0.08 \times x(9) - 467.66 \times x(10)$$

$$f(2)= 2.59 \times x(1) + 1.61 \times x(2) + 0.35 \times x(3) - 0.16 \times x(4) + 0.05 \times x(5) + 1.04 \times x(6) + 0.03 \times x(7) + 136.43 \times x(8)$$

جدول ۷- مقدار بهینه انرژی مصرفی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

نهاده‌ها	مقدار واقعی مصرف	مقدار بهینه مصرف
بچه ماهی	۷۴۳۷/۴۸	۵۶۷۴/۳۳
نیروی کارگری	۱۳۳۶/۴۷	۹۹۴/۷۷
کودشیمیایی	۱۷۲۶۱/۸۹	۷۲۸۶/۷۹
کودحیوانی	۱۰۴۱/۶۴	۸۶۸/۰۳
الکتریسیته	۴۵۳۵۳/۶۸	۳۲۰۱۱/۴۳
سوخت	۸۸۵/۳۷	۷۲۴/۷۰
غذا	۷۷۰۰۸/۳۳	۵۲۹۴۳/۳۳
حمل و نقل	۱۰۹/۶۳	۹۸/۷۶
آب	۱۳۱۹۹/۰۸	۱۲۲۸۹/۹۶
ماشین‌های کشاورزی	۵۲/۷۹	۴۶/۵۴
کل انرژی نهاده	۱۶۳۷۱۳/۱	۴۳۷۶۶/۵۱



شکل ۳- جبهه بهینه- پارتو در بخش تصمیم گیری کلان در شرایط ایده‌آل برای تولید ماهی

توزیع جبهه بهینه- پارتو حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب، در شرایط ایده‌آل، برای تصمیم گیری کلان در تولید ماهی در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ آمده است.

به‌منظور معرفی بهترین ترکیب از نهاده‌های بهینه، میزان انرژی مصرفی برای هر سری از نتایج حاصل شده از الگوریتم ژنتیک به‌طور جداگانه محاسبه و ترکیبی که کمترین میزان انرژی ورودی را به خود اختصاص داده است به عنوان ترکیب بهینه انتخاب گردید. میزان بهینه انرژی مصرفی در حالت ایده‌آل در جدول ۷ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود چنان‌چه تمامی نهاده‌ها به‌صورت کاملاً بهینه مصرف شوند انرژی نهاده کل برابر با ۴۳۷۶۶/۵۱ مگاژول بر هکتار می شود (٪۲۶ ذخیره انرژی در حالت ایده‌آل).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد مقادیر بهینه انرژی که توسط الگوریتم ژنتیک چندهدفه به‌دست آمد از مقادیر بهینه محاسبه شده توسط تحلیل پوششی داده‌ها کمتر بود، بنابراین میزان انرژی ورودی کل کمتری نیز برآورد شد. بدیهی است که شاخص‌های زیست محیطی نیز کاهش محسوس تری خواهند داشت. نتایج این پژوهش نشان داد که میزان کل انرژی مورد نیاز در حالت مصرف بهینه نهاده‌ها با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها برابر ۱۵۸۵۱۵/۵ مگاژول در هکتار می‌باشد که انرژی بچه ماهی با ۹/۲۷ درصد بیشترین مقدار ذخیره انرژی را در حالت بهینه به خود اختصاص داده است. همچنین امکان ذخیره سازی ۳/۱۷ درصد از کل نهاده‌های مصرفی بدون کاهش میزان عملکرد ماهی قابل دسترسی خواهد بود. با استفاده از الگوریتم ژنتیک

چند هدفه نیز این نتایج به‌دست آمد که چنان چه تمامی نهاده‌ها یه‌صورت کاملاً بهینه مصرف شوند انرژی نهاده کل برابر با ۴۳۷۶۶/۵۱ مگاژول بر هکتار می شود. می‌توان بچه ماهی‌ها را در زمانی که وزن دو تا پنج گرم دارند خریداری و در استخرهای کوچکتر پرورش داد تا به وزن مورد نیاز برای استخر بزرگتر برسند. با این‌کار هم می‌توان درصد تلفات، هزینه خرید بچه ماهی و انرژی آن را کاهش داد .بهتر است از خوراک پلت برای تغذیه ماهیان استفاده شود زیرا پلت مزایایی چون کاهش ضایعات، افزایش راندمان مصرف خوراک و اضافه وزن، کاهش تغذیه انتخابی، از بین رفتن عوامل میکروبی بیماری زا، بهبود خوش خوراکی و کاهش حجم خوراک و حمل و نقل آسان تر را دارا است. استفاده از دستگاه‌های هواده با راندمان بیشتر و همچنین در زمان مورد نیاز می‌تواند باعث کاهش مصرف انرژی الکتریسیته شود.

References

Abedi, M., Mohammadi, H., Ghaffari, M., 2011. Efficiency and profitability of trout breeding units in Fars province. *Agricultural Economics* 5, 93-123.

Alireza, M., 2006. Introduction to Genetic Algorithm and its Applications. Nighus Andisheh Publications, Tehran.

Asgharipour, M.R., Mondani, F., Riahinia, S., 2012. Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. *Energy* 44, 1078-1084.

Askari Sari, A., Mohammadi, M., 2015. Evaluation and comparison of arsenic metal in muscle and liver of farmed fish of silver carp, common carp, grass carp, carp and rainbow trout in Ahvaz and Shahrekord. *Wetland Ecology* 6, 69-76.

Bani Asad, M., Salami H, Shiri N, M., Y., 2010. Investigation of Production structure rainbow trout farms in the Province of Tehran. *Journal of New Research in Agriculture Economics* 1, 115-130.

Cochran, W.G., 1977. The estimation of sample size. *Sampling Techniques* 3, 72-90.

Demircan, V., Ekinci, K., Keener, H.M., Akbolat, D., 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.

Elhendy, A.M., Alzoom, A.A., 2001. Economics of fish farming in Saudi Arabia: analysis of costs of tilapia production. *Aquaculture Economics and Management* 5, 229-238.

Fahimi, F., 2012. Investigation of Energy Efficiency and Determination of Energy Indicators of Chinese Pike-Breeding Pools Using Data Envelopment Analysis Method in Mazandaran Province. Agricultural Mechanization Engineering, Agricultural Mechanization Engineering, University of Tehran.

FAO, 2014. The state of world fisheries and aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 243 p.

FAO, 2004. The State of World Fisheries and Aquaculture, FAO Fisheries Department, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Islami, B., 2011. Measurement of the efficiency of trout farms in Chaharmahal and Bakhtiari province using data envelopment analysis, case study of Koohrang city. Master, Faculty of Agriculture, Payame Noor University of Tehran Province.

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., 2013. Developing an artificial neural networks model for predicting output energy and GHG emission of strawberry production. International Journal of Applied 3, 43-54.

Kitani, O., 1999. CIGR Handbook of Agricultural Engineering: Plant production engineering. American Society of Agricultural & Biological Engineers.

Mathew, P., 1989. Role of Exotic Carps in Composite Fish Culture. Exotic Aquatic Species in India, 85.

Nabavi-Pelesaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S., Mobtaker, H.G., 2014. Optimization of energy required and greenhouse gas emissions analysis for orange producers using data envelopment analysis approach. *Journal of Cleaner Production* 65, 311-317.

Peyman, S., Nabavi Pelesaraei, A., 2015. Study of Energy Consumption and Environmental Indicators of a Modern Shalykobi Unit in Guilan Province. In: (Eds.), Proceeding of 9th National Congress on Agricultural Machinery and Mechanization, University of Tehran.

Pimentel, D., 1992. Energy inputs in production agriculture. *Energy in Farm Production* 6, 13-29.

Yaghobi, M., 2011. Application of Data Envelopment Analysis Model to Assess Technical Efficiency and Ranking of Shrimp Farms in Chabahar. In: (Eds.), Proceeding of Third National Conference on Data Envelopment Analysis, Islamic Azad University, Firoozkooh Branch.

Yilmaz, I., Akcaoz, H., Ozkan, B., 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy* 30, 145-155.

Yousefei, R., Kiani Rad, A., Bahar, A., 2014. Measurement of technical and economic efficiency of trout farms, case study of the city of Mianeh. In: (Eds.), Proceeding of Second National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran.