یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

نقش مقادیر هوادهی بر شاخص‌های انرژی، اقتصادی و تولیدی در پرورش ماهیان گرمابی

سیدمحمدجواد افضلی[۱]، امیرحسین منتظرحجت[۲]، محمدجواد شیخداودی[۳]، جعفر حبیبی‌اصل[۴]

[۱] محقق مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، اهواز، ایران؛ آدرس پست الکترونیکی: moja_afzali@yahoo.com

[۲] استادیار دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران؛ آدرس پست الکترونیکی: a.mhojat@gmail.com

[۳] استاد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران؛ آدرس پست الکترونیکی: javad1950@yahoo.com

[۲] عضو هیأت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، اهواز، ایران آدرس پست الکترونیکی: n1584m@yahoo.com

چکیده

کاربرد هواده‌ها در پرورش ماهی در صورتی به صرفه خواهد بود که شاخص‌های انرژی، اقتصادی و تولیدی را بهبود دهد. این تحقیق در پژوهشکده آبزی‌پروری جنوب به روش بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید تیمارها مقادیر مختلف هوادهی شامل فعالیت هواده‌ها در محدوده ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام (A_8)، فعالیت هواده‌ها در دامنهٔ ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام (A_6)، فعالیت هواده‌ها در دامنهٔ ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام (A_4) و عدم استفاده از هواده (A_0) بودند و شاخص‌های انرژی شامل خالص انرژی، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی و شاخص درآمد به هزینه و میزان تولید بررسی شد. نتایج نشان داد تیمارهای A_0 و A_4 از نظر شاخص نسبت انرژی به ترتیب با مقادیر ۰/۰۳۹۵ و ۰/۰۳۶۱ و از نظر بهره‌وری انرژی با مقادیر ۰/۰۱۲۱ و ۰/۰۱۱۰ کیلوگرم بر مگاژول نسبت به تیمارهای دیگر برتری داشتند ولی با توجه به اینکه از نظر شاخص درآمد به هزینه و میزان تولید تیمار هوادهی A_6 به ترتیب با مقادیر ۱/۵۱۴ و ۷۷۵ کیلوگرم در هر استخر مناسب‌تر بودند مقدار هوادهی ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام توصیه گردید.

کلمات کلیدی: هوادهی، نسبت درآمد به هزینه، بهره‌وری انرژی، تولید ماهی

Effect of aeration rates on energy, Economic and production indices in warm water fishes culturing

Seied Mohammad Javad Afzali[1], Amir Hosein Montazerhojjat[2], Mohammad Javad Sheikhdavodi[3], Jaafar habibi asl[4]

[1]Researcher of Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran. Email: moja_afzali@yahoo.com

[2] Associate Professor of Department of economy, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran. Email: a.mhojat@gmail.com

[3] Professor of Department of Biosystem Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.Email: javad1950@yahoo.com

[4] Faculty member of Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran. Email: jhabibi139@yahoo.com

Abstract

The application of aerators in fish growing acceptable when Energy, Economy production indices be considered. This research was carried out at South of Iran Aquaculture Research Center in basis of randomly completed blocks in three replications. The treatment were aeration rates included without aeration (A_0), 2-4 ppm (A_4), 4-6 ppm (A_6) and 6-8 ppm (A_8) rates and energy indices included of Net Energy Gain (NEG), Energy Ratio (ER) and Energy Productivity (EP) and income/cost ratio index and production index were investigated. The results show that A_0 and A_4 treatments were the best treatment from view point of energy indices with 0.0395 and 0.0361 rates for ER and 0.0109 and 0.0118 $kg.MJ^{-1}$ rates for EP, respectively and were more than

the rest treatments ($p<0.05$) however from view point of income/cost and production rate indices A_6 treatment was the best with 1.514 and 775 kg per pool. Therefore A_6 treatment recommended as the best rate for aeration.
Keywords: Aeration, Income/cost, EP, Fish production

۱- مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت جهان، تقاضا برای مواد غذایی نیز در حال رشد است و این رشد به دلیل افزایش سطح رفاه، فزاینده‌تر از رشد جمعیت می باشد. این در حالی است که منابع طبیعی در دسترس از جمله آب و خاک به دلیل فرسایش و گسترش زیرساخت‌ها از لحاظ کیفیت و کمیت در حال کاهش می‌باشند (Steinfeld et al., 2006). جهت جبران کاهش در منابع آبی و خاکی و افزایش تولید نیاز به مصرف بیشتر انرژی می‌باشد. از طرف دیگر منابع انرژی‌های متداول نیز در حال کاهش بوده و قیمت آن در حال افزایش است. همچنین مسائل زیست‌محیطی مرتبط با مصرف انرژی‌های متداول فشار فزاینده‌ای برای کاهش مصرف انرژی وارد می‌کند. برای غلبه بر این چالش‌ها نیاز به ارزیابی و سپس تلاش برای افزایش بهره‌وری انرژی می‌باشد که ارتباط مستقیمی با کاهش آلودگی و تغییرات آب و هوایی دارد (Varone and Aebischer, 2001). کاربرد انرژی در فعالیت‌های آبزی‌پروری نیز از این امر مستثنی نمی‌باشد. با توجه به آنکه مصرف انرژی منجر به مصرف هزینه می‌گردد مدیریت انرژی نهاده‌ها در پرورش ماهی ارتباط نزدیکی با صرفه‌جویی در هزینه و در نتیجه افزایش درآمد بهره‌بردار دارد. یکی از نهاده‌های مهم که می‌تواند نقش مؤثری در افزایش اکسیژن محلول آب داشته و قادر است با تأثیرگذاری بر کیفیت آب منجر به افزایش تولید گردد هوادهی می‌باشد. کاهش اکسیژن محلول در استخرها سبب بالا رفتن سطح دی‌اکسیدکربن و آمونیاک می‌شود و هر دو مورد به عنوان مواد سمی برای ماهی به شمار می‌روند و افزایش آنها به طورهم‌زمان، قدرت دفاعی ماهیان را در مقابل بیماری‌ها به شدت کاهش می‌دهد (Mwegoha et al., 2010). کاربرد هواده انرژی‌بر بوده و در نتیجه بهره‌بردار متحمل هزینه می‌شود. درصورتی کاربرد هواده به صرفه خواهد بود که شاخص‌های انرژی آن مقادیر بالاتری داشته باشند. شاخص‌های مختلفی برای مقایسه مصرف انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی از شاخص‌های مهم در بررسی وضعیت انرژی، بررسی نسبت محصول خروجی به نهاده‌های ورودی از نظر محتوای انرژی مربوط به محصول و نهاده‌های به کار رفته در تولید آن می‌باشد. تجزیه و تحلیل فوق را اصطلاحاً تجزیه و تحلیل ورودی- خروجی انرژی می‌نامند (Hatirli et al., 2006). شاخص دیگر انرژی خالص می‌باشد که به صورت تفاضل بین انرژی خروجی و انرژی ورودی محاسبه می‌شود (Mohammadi, 2008) و در نهایت شاخص دیگر میزان عملکرد محصول به ازای انرژی مصرفی می‌باشد که به اصطلاح بهره‌وری انرژی نامیده می‌شود. در مناطق مختلف دنیا تحقیقات مختلفی در زمینه مصرف انرژی در پرورش ماهی که متناسب با روش پرورش و نوع ماهی آن منطقه بوده انجام گرفته است.

یک مطالعه موردی در پنجاب به منظور بررسی میزان انرژی مصرفی در پرورش ماهی صورت گرفت و نتایج نشان داد که کل انرژی ورودی ۱۲۱ گیگاژول بر هکتار، انرژی خروجی ۱۸ گیگاژول بر هکتار و میزان تولید در هکتار ۴/۳ کیلوگرم بر هکتار بود. درنتیجه شاخص نسبت انرژی ۰/۱۵ شد (Singh and Pannu, 1998).

در تحقیقی شاخص‌های انرژی در پرورش ماهی راهو در استخرهای گلخانه‌ای و روباز بررسی گردید. حجم استخرهای مورد مقایسه ۱۸ متر مکعب بود. نتایج نشان داد که میزان عملکرد آنها به ترتیب ۱۰/۳۸ و ۵/۰۱ کیلوگرم در هر استخر بود. انرژی مصرفی به دو روش شامل عملیات انجام شده (شامل آماده‌سازی استخر، خاکریزی کف استخر، آبگیری استخر، کوددهی، آهک‌پاشی، غذادهی، هوادهی، جایگزینی آب، تمیز کردن آب و صید ماهی) و منبع انرژی (شامل انسان، الکتریسیته، کود، غذا، آهک و ساخت گلخانه) مقایسه نمودند که مقادیر انرژی مصرفی در استخر روباز در دو روش به ترتیب ۵۰۵ و ۳۲۵ مگاژول و در استخر گلخانه‌ای به ترتیب ۵۴۲ و ۵۸۰ مگاژول در واحد حجم استخر بود. نسبت انرژی، انرژی ویژه و بهره‌وری انرژی به ترتیب ۰/۰۷۸، ۱۲/۸۸ مگاپول در واحد حجم استخر و ۰/۰۱۵۴ مگاژول در واحد حجم استخر در استخر روباز و ۰/۰۹، ۱۱/۰۹ مگاژول در واحد حجم استخر و ۰/۰۱۷۸ مگاژول در واحد حجم استخر در استخر گلخانه‌ای بودند. در استخر روباز رابطه بین عملکرد تولید ماهی در واحد سطح با افزایش مصرف انرژی به صورت خطی افزایش یافت ولی در روش گلخانه‌ای منحنی ابتدا نزولی و سپس افزایشی گردید. رابطه رگرسیونی بین عملکرد در واحد سطح و انرژی غذا در هر دو نمونه استخر به صورت توابع درجه دو بود (Tiwari and Sarkar, 2006).

در تحقیق دیگر به بررسی تعیین شاخص‌های کارایی انرژی در پرورش ماهی قزل‌آلا در استان البرز پرداختند. نتایج نشان داد انرژی الکتریسیته با ۵۰ درصد، غذای ماهی با ۲۹ درصد و سوخت با ۱۹ درصد به ترتیب بیشترین مقادیر مصرف انرژی را داشتند. مقادیر خالص انرژی، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی به ترتیب ۳۲۵۷ گیگاژول، ۰/۰۸ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر مگاژول بود (iunesi, 2013).

این تحقیق با هدف بررسی نقش هوادهی بر شاخص‌های انرژی، اقتصادی و تولید در پرورش ماهیان گرمابی انجام گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در پژوهشکده آبزی‌پروری جنوب واقع در استان خوزستان با مختصات جغرافیایی "۴۴/۲۷ ’۲۵ °۳۱ شمالی و "۱۷/۳۸ ’۴۹ °۴۸ شرقی اجرا گردید (شکل ۱).

در این تحقیق به منظور مشخص نمودن اینکه آیا مقادیر تنظیمی هواده بر میزان شاخص‌های انرژی مؤثر می‌باشد یا خیر، آزمایشی به روش کرت‌های کامل تصادفی و در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایش دامنه‌های مختلف روشن و خاموش کردن هواده‌ها بود. تیمارها زمان روشن و خاموش شدن هواده‌ها در میزان اکسیژن‌های مختلف محلول در آب شامل: فعالیت هواده‌ها در محدوده ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام (A_8)، فعالیت هواده‌ها در دامنهٔ ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام (A_6)، فعالیت هواده‌ها در دامنهٔ ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام (A_4) و عدم استفاده از هواده (A_0) بودند. بنابراین تعداد استخرها دوازده عدد (هر کدام به مساحت

Figure 1. A scheme of the experiment location

شکل ۲- نمایی از محل اجرای تحقیق

۱۷۰۰ متر مربع) بود. فاصله اندازه‌گیری میزان اکسیژن محلول تا هواده ۳۴ متر بود و مقادیر آن از عمق ۷۵ سانتی‌متری آب استخر قرائت می‌شدند. در طول دوره پرورش ماهی عمق آب نیز در حدود ۱/۵ متر حفظ گردید. همچنین در مسیر انتقال برق به هر هواده یک کنتور جهت اندازه‌گیری میزان برق مصرفی قرار داده شد (شکل ۲). هواده مورد استفاده از نوع عمودی[1] بود. جهت تعیین زمان روشن و خاموش نمودن هواده‌ها در ماه اول در هر هفته یک روز به عنوان شاخص هفته از روش اندازه‌گیری ساعتی میزان اکسیژن استخر استفاده شده و در ماه‌های بعد علاوه بر اندازه‌گیری ساعتی یک‌بار در هفته از یک مدل شبکه عصبی طراحی شده طبق داده‌های ماه‌های قبل برای تخمین میزان اکسیژن محلول آب استفاده گردید.

Figure 2. The counter used for measurement of energy consumption

شکل ۳- کنتور جهت اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی

[1] - Vertical

۲-۱- شاخص‌های انرژی

۲-۱-۱- تراکم ماهی

تعداد ماهی‌های ریخته شده در هر استخر در ارقام کپور، آمور، فیتوفاگ و بیگ‌هد به ترتیب ۳۹۵، ۶۰، ۱۴۰ و ۱۰ عدد بودند (جدول ۱). در تاریخ ۹۵/۴/۲۰ ماهی‌ها به استخرها رهاسازی شدند.

۲-۱-۲- میزان غذادهی

میزان غذادهی با افزایش ماده خشک ماهی‌ها اضافه شد و کل غذای هر استخر در کل دوره ۱۳۱۷ کیلوگرم بود (جدول ۲).

۲-۱-۳- کوددهی

به دلیل آنکه میزان فسفات موجود در آب به دلیل ته‌نشین شدن کاهش می‌یابد، در زمان آبگیری استخرها کودهای سوپرفسفات تریپل به میزان ۸ کیلوگرم، کود اوره به میزان ۱۲ کیلوگرم و کود حیوانی به میزان ۳۰۰ بیل (با ترکیب ۵۰ بیل کود حیوانی، سه لیتر ملاس، ۲۰ گرم خمیرمایه و ۷۰ لیتر آب) به صورت محلول به هر استخر وارد گردید. در دو مرحله به هر استخر ۱۸ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل و اوره و ۱۵۰ بیل کود حیوانی (با همان نسبت قبلی) اضافه گردید. بنابراین در طول دوره ۴۸ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل (با دارابودن ۱۱ درصد نیتروژن و ۴۸ درصد P_2O_5)، ۴۴ کیلوگرم کود اوره (با دارا بودن ۴۵ درصد نیتروژن) و ۶۰۰ بیل (با فرض هر بیل ۱ کیلوگرم) کود گاوی معادل ۶۰۰ کیلوگرم مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۱-۴- نیروی انسانی

به منظور تعیین تعداد کارگر فعال در هر استخر در ساعت، کل فعالیت‌های انجام شده در طول دوره پرورش جمع‌آوری گردید (جدول ۳). بنابراین تعداد ۱۸۷ کارگر ثابت و ۱۳۳ کارگر موقت (مجموعاً ۳۲۰ کارگر) در طول دوره برای کل استخرها استفاده گردید. با توجه به اینکه تعداد استخرها ۱۲ عدد بود بنابراین سهم هر استخر ۲۶/۶۶ کارگر بود. با فرض ۵ ساعت کار در روز، میزان فعالیت در هر استخر معادل با ۱۳۳/۳۳ ساعت در طول دوره بود.

۲-۱-۵- تراکتور و هواده

تراکتور عمدتاً برای حمل و نقل کودهای حیوانی و شیمیایی، سمپاشی، غذا، وان حمل ماهی وسایل صید و ... مورد استفاده قرار گرفت و میزان استفاده آن در طول دوره با متوسط روزی ۱۵ دقیقه فعالیت و با مصرف ۱ لیتر در ساعت از تاریخ ۹۵/۴/۱۰ تا تاریخ ۹۵/۸/۱۵ به مدت ۱۲۸ روز انجام گرفت. عمر مفید تراکتور مورد استفاده (مسی‌فرگوسن ۲۸۵) ۱۳ سال (معادل ۱۳۰۰۰ ساعت کار مفید) درنظر گرفته شد (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین وزن تراکتور ۲۵۴۰ کیلوگرم می‌باشد. این مقادیر برای هواده مورد نظر ۳ سال و ۱۱/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شد. با توجه به آنکه در کاتالوگ دستگاه اطلاع دقیقی در خصوص اینکه عمر مفید معادل چند ساعت فعالیت دستگاه می‌باشد ارائه نشده بود، فرض گردید که تعداد ساعات فعالیت سالانه شامل سه ماهه تابستان (هشت ساعت در شب) یعنی ۲۶۴ ساعت باشد.

جدول ۱- مشخصات انواع ماهی‌های کپور مورد استفاده در استخرها

Table 1. Characteristics of carp types used in pools

Fish type	Weight (gr)	Number	Total length (mm)	Standard length (mm)
Common carp	46.8 ±13.2	395	152.5±25.1	127.4 ±20.2
Grass carp	39.6 ±18.6	60	132.3±20.4	109.1 ±17.5
Silver carp	25.3 ±11.8	140	190.0±25.5	156.7 ±21.7
Big head carp	26.2 ±12.1	10	80.6±15.0	66 ±13.4

جدول ۲- میزان غذادهی استخرها در طول دوره پرورش

Table 2. Feeding rate of pools during growing period

Feed rate per pool (kg)	To date:	From date:	Feed rate per pool (kg)	To date:	From date:
12	95/6/31	98/6/8	5	95/5/3	95/4/20
14	95/7/24	95/7/1	6	95/5/10	95/5/4
10	95/8/15	95/7/25	8	95/5/20	95/5/11
7	95/8/27	95/8/16	10	95/6/7	95/5/22

جدول ۳- تعداد کارگرهای مورد استفاده در طول دوره پرورش ماهی برای کل استخرها

Table 3. Total used workers during growing period for all pools

Number of daily temporary works*	Number of Dates	Operation type	To date:	From date:
1	6	Pool preparation	95/4/14	95/4/10
3	5	Straw cutting	95/5/4	95/4/20
2	4	Spraying- fertilization	95/5/8	95/5/5
2	2	spraying	95/5/28	95/5/27
3	3	Fertilization- Straw cutting	95/6/3	95/6/1
3	2	Sealing of pools	95/6/9	95/6/8
2	4	Fertilization- Straw cutting	95/6/30	95/6/27
2	2	Straw cutting	95/6/17	95/6/16
2	5	Straw cutting	95/7/7	95/7/3
2	2	Straw cutting	95/7/11	95/7/10
2	3	Fertilization	95/7/14	95/7/12
3	3	Sealing of pools	95/7/26	95/7/24
3	1	Lime distribution and sealing	65/7/27	65/7/27
2	1	Straw cutting and sealing	95/7/28	95/7/28
3	4	Sealing of pools	95/8/5	95/8/2
2	1	Sealing of pools	95/8/15	95/8/15
37	48	Total sum		

* Regarding to feeding, sealing and control of water depth was adjusted on a daily basis, a fixed worker was considered separately for helping temporary workers in other work. Feeding finished at 95/8/27.

انرژی کاربرد ماشین‌آلات و ادوات براساس مطالعات قبلی (کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷) طبق رابطه ۱ محاسبه شد:

$$E_m = \left(\frac{E \times W}{L_t} \right) t \qquad (1)$$

که در آن: E_m انرژی کاربرد ماشین‌ها و ادوات جهت انجام عملیات زراعی (MJ)، E انرژی برای ساخت، تعمیر و نگهداری و حمل و نقل ماشین‌آلات و ادوات ($MJ.kg^{-1}$)، W وزن ادوات و ماشین‌آلات (kg)، L_t عمر مفید ادوات و ماشین‌ها (h) و t مدت زمان کاربرد ادوات و ماشین‌ها (h) است. E عدد ثابت و معادل ۱۴۲/۷ مگاژول بر کیلوگرم می‌باشد که شامل ۸۶/۳۸ مگاژول بر کیلوگرم برای ساخت، ۴۷/۵ مگاژول بر کیلوگرم برای تعمیر و نگهداری و ۸/۸ مگاژول بر کیلوگرم برای حمل و نقل ادوات و ماشین‌ها مورد استفاده می‌باشد (کالتساس و همکاران، ۲۰۰۷).

۲-۱-۶- آب آبیاری

با توجه به اینکه مساحت هر استخر ۱۷۰۰ مترمربع (به ابعاد ۲۵×۶۸ متر مربع) و عمق آب حدود ۱/۵ متر بود در نتیجه حجم آب ثابت استخر ۲۵۵۰ مترمکعب به دست آمد. میزان دبی ورودی آب به گونه‌ای تنظیم می‌شد که میزان سطح آب ثابت بماند. میزان تبخیر از سایت هواشناسی دریافت شده (جدول ۳-۶) و به منظور تعیین میزان آب ورودی به هر استخر در ماه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. به منظور جبران آب تلف شده به صورت نشت از استخر ۵ درصد به مقادیر آب ورودی مورد نیاز هر استخر اضافه گردید. حجم آب کل ورودی هر استخر ۷۰۱۱ مترمکعب به دست آمد. همان‌گونه که عنوان شد حجم آب ثابت هر استخر نیز برابر با ۲۵۵۰ متر مکعب بود. درنتیجه کل حجم آب مصرفی برای هر استخر ۹۵۶۱ مترمکعب بود.

جدول ۴- میانگین میزان تبخیر ماهانه و تعیین دبی الکتروپمپ

Table 4. Average monthly evaporation rate and determination of electropump discharge

average	azar	aban	mehr	shahrivar	mordad	Tir	
60.4	3.2	4.5	7.9	10.7	13.1	21.0	Mean of evaporation (mm)
26.97	8.57	12.05	21.16	28.65	35.08	56.22	Inlet water rate of each pool ($m^3.day^{-1}$)

با توجه به اینکه تعداد استخرها ۱۲ عدد بود کل آب ورودی استخرها در طول دوره ۱۱۴۷۳۲ متر مکعب به دست آمد. با توجه به آن‌که برای آبگیری استخرها از یک الکتروپمپ با دبی ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت و توان ۳۷ کیلووات استفاده شد مقدار انرژی مصرفی کل الکتروپمپ برابر شد با:

$T=V/Q=۱۱۴۷۳۲/۱۰۰=۱۱۴۷$ (h)

$W=PT=۳۷\times۱۱۴۷=۴۲۴۳۹$ (kWh)

در این روابط: T زمان خالص فعالیت الکتروپمپ (h)، V حجم کل آب ورودی استخرها (m^3)، Q دبی الکتروپمپ ($m^3.h^{-1}$)، W انرژی مصرفی الکتریسیته الکتروپمپ (kWh) و P توان الکتروپمپ (kW) می‌باشند.

از تقسیم این میزان بر دوازده استخر مقدار الکتریسیته مصرفی الکتروپمپ برای هر استخر برابر با ۳۵۳۶ کیلووات ساعت به دست آمد.

انرژی خروجی هر استخر به وسیله اندازه‌گیری وزن ماهیان صید شده به تفکیک گونه و ضرب نمودن آن در ضرایب انرژی معادل آنها محاسبه شد.

به منظور بررسی شاخص‌های انرژی در تیمارهای مختلف از شاخص‌های انرژی شامل خالص انرژی، نسبت انرژی و بهره‌وری انرژی استفاده شد که به ترتیب از روابط ۲ تا ۴ محاسبه شدند.

$$E_{ne} = E_{out} - E_{in} \quad (۲)$$

$$ER = \frac{E_{out}}{E_{in}} \quad (۳)$$

$$EP = \frac{Y}{E_{in}} \quad (۴)$$

که در آنها: E_{in}: انرژی ورودی (GJ)، E_{out}: انرژی خروجی (GJ)، Y: عملکرد (kg)، E_{ne}: افزوده خالص انرژی (GJ)، ER: نسبت انرژی و EP: بهره‌وری انرژی ($kg.GJ^{-1}$)

پس از اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی، تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین تیمارها به روش دانکن[2] در محیط MSTATC انجام شد.

۲-۲- شاخص‌های اقتصادی و تولیدی

به منظور اندازه‌گیری شاخص اقتصادی از نسبت درآمد به هزینه استفاده گردید. برای اندازه‌گیری میزان تولید نیز از شاخص میزان تولید هر استخر و همچنین وزن تک ماهی استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- شاخص‌های انرژی

نهاده‌های ورودی شامل انسان، ماشین‌آلات، برق، آب، غذا و کود و تنها محصول خروجی ماهی بودند. پس از محاسبه مقدار مصرفی هر یک از نهاده‌ها و محصول تولیدی و با در دست داشتن هم‌ارز انرژی واحد هر کدام، میزان انرژی ورودی و خروجی آنها به دست آمد (جدول ۵).

[2]- Duncan

جدول ۵- میزان مصرف انرژی نهاده‌ها در پرورش ماهی کپور در هر استخر

Table 5. Energy consumption rate of inputs in carp fish growing at each pool

Resource	Energy consumption per pool (MJ)	Equivalent of energy	Consumption rate	Input (unit)
Kaltsas et al., 2007	74	142.7	-	Tractor (kg)
Canakci and Akinci (2005)	261	1.96	133.33	Labour (h)
Yaldiz et al., 1993	182	303.1	0.6	Manure (Mg)
Erdal et al., 2007	388	145.6	2.67	Fuel (L)
Erdal et al., 2007	1316	57.12	23.04	Nitrogen (kg)
Erdal et al., 2007	308	13.97	22.08	Phosphor (kg)
Sifa, 1987	56.76	3.07	18.49	Common carp (kg)
Sifa, 1987	12.64	5.31	2.38	Grass carp (kg)
Sifa, 1987	11.22	3.17	3.54	Silver carp (kg)
Sifa, 1987	1.09	4.15	0.262	Big head carp (kg)
Erdal et al., 2007	6023	0.63	9561	Water (directly)(m^3)
Kitani, 1998	1084	0.63	1721	Water (indirectly)(m^3)
Canakci and Akinci (2005)	37446	10.59	3536	Pump electricity (kWh)
Sifa, 1987	14171	10.76	1317	Constantrated food (kg)
Canakci and Akinci (2005)	7200	120	60	Lime (kg)
	68535		Total sum	

به دلیل آن‌که بعضی از مقادیر نهاده‌ها به دلیل کاربرد مقادیر مختلف هوادهی دارای میزان متفاوتی بودند، جدولی جداگانه برای آنها اختصاص یافت (جدول ۶). سپس مقادیر این دو جدول به تفکیک نوع نهاده مصرفی و شماره استخر با یکدیگر ترکیب شدند (جدول ۷). نتایج نشان داد انرژی برق با متوسط ۳۶۰۵۳ مگاژول به ازای هر استخر نسبت به سایر نهاده‌های ورودی بالاترین میزان انرژی را دارا بود که از این مقدار ۲۷۴۸۰ مگاژول مربوط به پمپاژ آب به استخرها و بقیه آن مربوط به هوادهی بود. پس از برق، غذا و کود به ترتیب با مقادیر ۱۵۲۰۳ و ۹۱۸۸ در رتبه بعد قرار داشتند. البته در تیمار هوادهی با مقادیر ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام رتبه سوم مربوط به مصرف انرژی ماشین‌آلات با مقدار ۱۱۰۱۷ مگاژول بود زیرا زمان فعالیت هواده‌ها در این مقدار هوادهی نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته و طبق رابطه ۱ بر مقدار انرژی مصرفی آن‌ها افزوده شد.

جدول ۶- میزان انرژی مصرفی توسط هواده‌ها در هر استخر

Table 6. Consumption energy rate by aerators at each pool

Repair and maintenance energy (MJ)	Electricity Energy (MJ)	Electricity consumption (kWh)	Aerator activity (h)	Rep	Aeration rate
-	-	-	-	1	No aeration (A_0)
-	-	-	-	2	
-	-	-	-	3	
998	9193	868.08	160.5	1	2-4 ppm (A_4)
513	6243	589.61	82.5	2	
572	6613	624.43	92	3	
4218	12229	1154.74	678.5	1	4-6 ppm (A_6)
4472	13203	1246.70	719.5	2	
4264	12532	1183.42	686	3	
9523	17512	1653.68	1532	1	6-8 ppm (A_8)
8901	15181	1433.56	1432	2	
9075	15897	1501.15	1460	3	

جدول ۷– مجموع میزان انرژی ورودی به تفکیک استخر (مگاژول)

Table 7. sum of input energy for each pool (MJ)

sum	fertilizer	food	water	electricity	machines	fish	labour	Rep	Aeration rate
56674	9006	14171	5212	27480	462	82	261	1	
56674	9006	14171	5212	27480	462	82	261	2	No aeration (A_0)
56674	9006	14171	5212	27480	462	82	261	3	
66865	9006	14171	5212	36673	1460	82	261	1	
63430	9006	14171	5212	33723	975	82	261	2	2-4 ppm (A_4)
63859	9006	14171	5212	34093	1034	82	261	3	
73121	9006	14171	5212	39709	4680	82	261	1	
74349	9006	14171	5212	40683	4934	82	261	2	4-6 ppm (A_6)
73470	9006	14171	5212	40012	4726	82	261	3	
83709	9006	14171	5212	44992	9985	82	261	1	
80756	9006	14171	5212	42661	9363	82	261	2	6-8 ppm (A_8)
81646	9006	14171	5212	43377	9537	82	261	3	
9006	14171	5212	5212	36530	82	261	261		average

نتایج نشان داد که با افزایش میزان هوادهی درصد انرژی ماشین‌ها و برق از انرژی کل روند افزایشی داشته ولی روند غذا و کود و آب کاهشی بود (شکل ۳) علت آن اینست که مقادیر مصرفی این نهاده‌ها در تمامی تیمارها یکسان بود و با افزایش مقدار هوادهی سهم برق و ماشین‌ها افزایش یافت و در نتیجه درصد سهم سایر نهاده‌ها از کل انرژی کاهش یافت. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که با افزایش هوادهی مقادیر انرژی ورودی به طور معنی‌داری در سطح ۵ درصد افزایش یافت (جدول ۸ و شکل ۴). در عمل این افزایش معنی‌دار در مصرف برق و ماشین‌ها سبب عدم استقبال پرورش‌دهندگان از دستگاه‌های هواده شده است زیرا افزایش مصرف انرژی افزایش هزینه اقتصادی را به دنبال خواهد داشت و در صورتی افزایش انرژی توجیه‌پذیر خواهد بود که سبب افزایش انرژی محصول خروجی گردد. بنابراین در ادامه شاخص‌های انرژی در تیمارهای مختلف بررسی شدند. بدین منظور پس از صید، کل ماهیان هر استخر توزین شدند. میزان انرژی خروجی هر گونه از ماهی‌ها از حاصلضرب وزن هر گونه در میزان هم‌ارز انرژی آن به دست آمد و سپس از مجموع وزنی گونه‌های مختلف ماهی، میزان انرژی خروجی کل محاسبه گردید (جدول ۹).

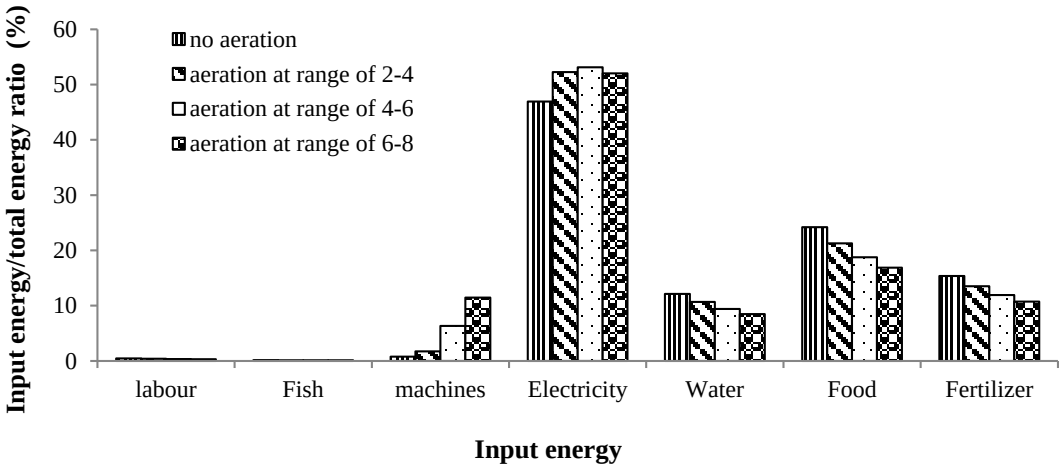

Figure 3. Input/total inputs ratio at various rates of aeration

شکل ۳– میزان انرژی ورودی هر نهاده از کل انرژی ورودی در اثر مقادیر مختلف هوادهی

جدول ۸- تجزیه واریانس تیمارهای هوادهی از نظراثر مقادیر هوادهی بر میزان انرژی ورودی در کل دوره پرورش

Table 8. Analysis of variance of aeration treatment from view point of aeration rates effect on input energy during growing period

F	MS	SS	df	
1.48 ns	2045733	4091466	2	block
261.2 **	361531415	1084594246	3	treatment
	1384200	8305202	6	error
		1096990915	11	total
				C.V.= 1.65%

**: significant at 1% level ns: no significant

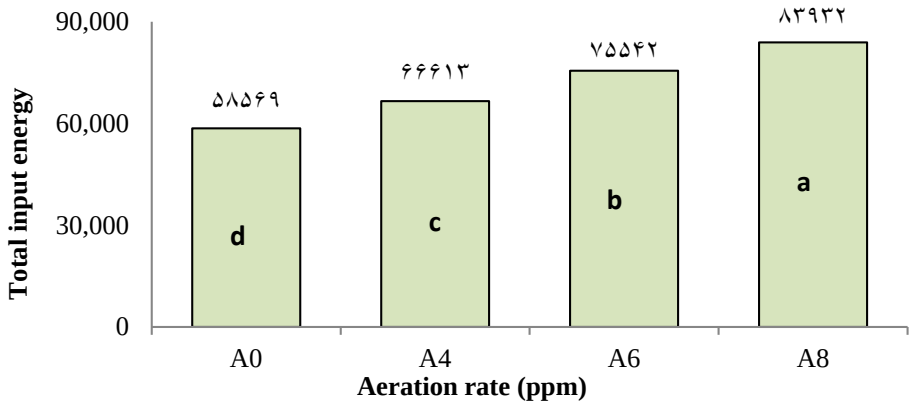

Figure 4. Total of input energy at various rates of aeration

شکل ۴- میزان انرژی کل ورودی در مقادیر مختلف هوادهی

جدول ۹- میزان انرژی محصول (ماهی) در هر استخر در مقادیر مختلف هوادهی

Table 9. Output energy (fish) rate per each pool at various rates of aeration

Output energy (MJ)	Silver carp & big head carp (kg)	Grass carp (kg)	Common carp (kg)	Rep	Aeration rate
2341	174	45	505	1	
2269	171	53	471	2	No aeration (A_0)
2331	169	56	488	3	
2379	182	52	497	1	
2457	196	63	489	2	2-4 ppm (A_4)
2380	180	58	489	3	
2580	177	72	533	1	
2515	187	66	512	2	4-6 ppm (A_6)
2569	182	74	521	3	
2667	215	75	517	1	
2631	205	80	507	2	6-8 ppm (A_8)
2600	۱۹۸	۷۶	۵۱۱	3	

میزان خالص انرژی در تیمارهای بدون هوادهی،۴ تا ۶ و ۶ تا ۸ پی پی‌ام به ترتیب ۵۶۲۵۵-، ۶۴۲۰۷-، ۷۲۹۸۷- و ۸۱۲۹۹- مگاژول بودند. همچنین نتایج نشان داد که افزایش انرژی ورودی (با کاربرد مقادیر مختلف هوادهی) قادر نبود انرژی خروجی را به گونه‌ای افزایش دهد که وضعیت نسبت انرژی را بهبود دهد. در نتیجه میزان نسبت انرژی با کاهش معنی‌دار در سطح ۱ درصد مواجه شد (جدول ۱۰ و شکل ۵). دلیل این امر را

می‌توان به مقدار هم‌ارز پایین اختصاص یافته به ماهی (محصول خروجی) نسبت داد. به عبارت بهتر می‌توان عنوان داشت فرآیند پرورش ماهی انرژی‌بر می‌باشد.

جدول ۱۰- تجزیه واریانس تیمارهای هوادهی از نظر اثر مقادیر هوادهی بر شاخص نسبت انرژی

Table 10. Analysis of variance from view point of aeration rates effect on ER index

F	MS	SS	df	
0.089 ns	0.000	0.000	2	block
32.48 **	0.000	0.000	3	treatment
	0.000	0.000	6	error
		0.000	11	total
				C.V.=2.99%

**: significant at 1% level ns: no significant

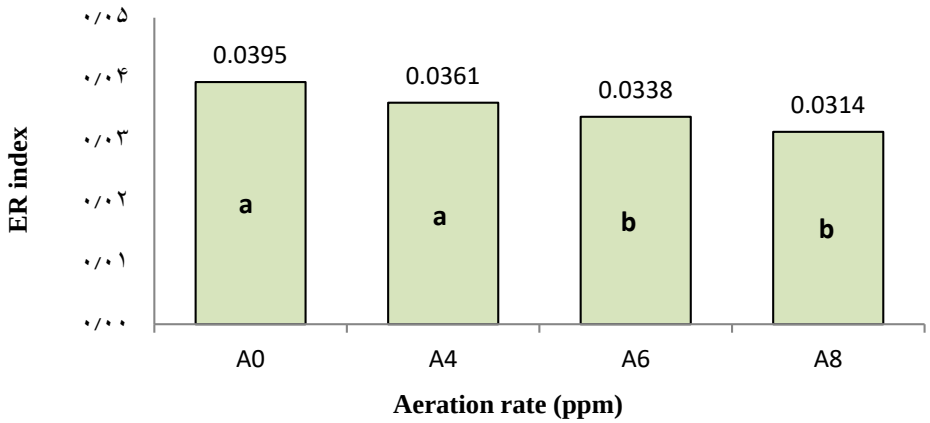

Figure 5. ER index rates at various rates of aeration

شکل ۵- میزان شاخص نسبت انرژی در مقادیر مختلف هوادهی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های بهره‌وری انرژی نشان داد تیمارهای هوادهی از نظر بهره‌وری انرژی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۱ و شکل ۶) و تیمارهای با هوادهی ۴ تا ۶ و ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام از نظر بهره‌وری انرژی مقادیر پایین‌تری داشته و توجیه‌پذیر نبودند. از نظر عملکرد نیز تیمارهای ۴ تا ۶ و ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام به میزان معنی‌داری دارای عملکرد تولید بالاتری نسبت به تیمارهای بدون هوادهی و میزان هوادهی ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام بودند (جدول ۱۳). بنابراین مقادیر بدون هوادهی به دلیل عملکرد تولید پایین و مقدار هوادهی ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام به دلیل کاهش بهره‌وری انرژی (۲۱ درصد کمتر از مقدار تیمار بدون هوادهی) گزینه‌های مناسبی برای تولید نمی‌باشند. بنابراین تیمارهای ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام از نظر شاخص‌های انرژی مناسب‌تر است. با تغییر مقدار هوادهی از ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام به ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام مقدار بهره‌وری انرژی ۶/۴ درصد کاهش ولی مقدار تولید ۵/۴ درصد افزوده می‌شود. بنابراین برای انتخاب مقدار هوادهی مناسب بهتر است شاخص‌های هزینه‌ای مربوط به مقادیر مختلف هوادهی محاسبه گردد تا بتوان با توجه به آن تصمیم‌گیری نمود.

جدول ۱۱- تجزیه واریانس تیمارهای هوادهی از نظر اثر مقادیر هوادهی بر شاخص بهره‌وری انرژی

Table 10. Analysis of variance from view point of aeration rates effect on EP index

F	MS	SS	df	
0.007 ns	0.000	0.000	2	block
41.64 **	0.000	0.000	3	treatment
	0.000	0.000	6	error
		0.000	11	total
				C.V.=2.85%

**: significant at 1% level ns: no significant

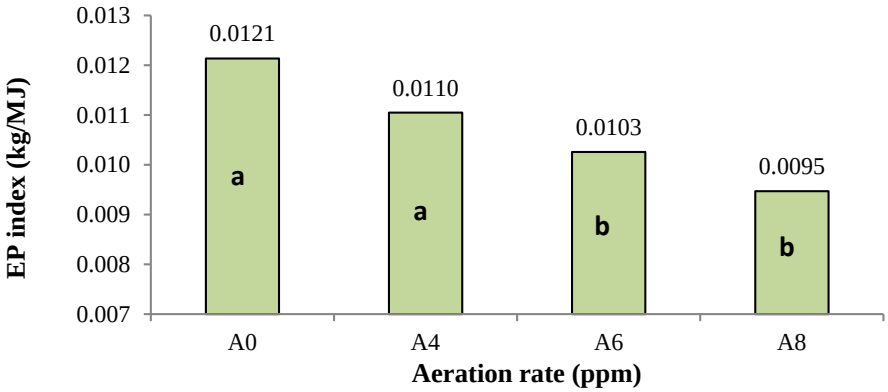

Figure 6. EP index rates at various rates of aeration

شکل ۶- میزان شاخص بهره‌وری انرژی در مقادیر مختلف هوادهی

۳-۲- شاخص اقتصادی و تولیدی

به منظور بررسی اقتصادی کاربرد مقادیر مختلف هوادهی از نسبت درآمد به هزینه استفاده گردید (جدول ۱۲). نتایج نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار این شاخص از مقدار هوادهی ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام نسبت به ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام بود (شکل ۷). بنابراین می‌توان با مقدار هوادهی ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام ضمن صرفه‌جویی در انرژی درآمد بالاتری نیز به دست آورد.

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن کل تولید در سطح ۱ درصد و وزن تک‌ماهی تولیدی در سطح ۵ درصد در بین تیمارهای مقادیر هوادهی اختلاف معنی‌داری داشتند (جداول ۴-۲۲ و ۴-۲۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تولید در تیمارهای ۴ تا ۶ و ۶ تا ۸ پی‌پی‌ام هوادهی حاصل شد که ۱۰ درصد نسبت به تیمار بدون هوادهی افزایش تولید را دربر داشت. با اینکه افزایش هوادهی از ۲ تا ۴ به ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام سبب کاهش معنی‌دار بهره‌وری انرژی شد ولی با توجه به اینکه این تغییر افزایش نسبت درآمد به هزینه و همچنین افزایش معنی‌دار تولید را دربرداشت بنابراین مقدار هوادهی ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام به عنوان مناسب‌ترین مقدار هوادهی انتخاب گردید.

جدول ۱۲- تجزیه واریانس تیمارهای هوادهی از نظر اثر مقادیر هوادهی بر نسبت درآمد به هزینه

Table 10. Analysis of variance from view point of aeration rates effect on income/cost ratio index

F	MS	SS	df	
0.681 ^{ns}	0.000	0.001	2	block
9.051 **	0.009	0.036	3	treatment
	0.001	0.004	6	error
		0.030	11	total
				C.V.=1.63%

**: significant at 1% level ^{ns}: no significant

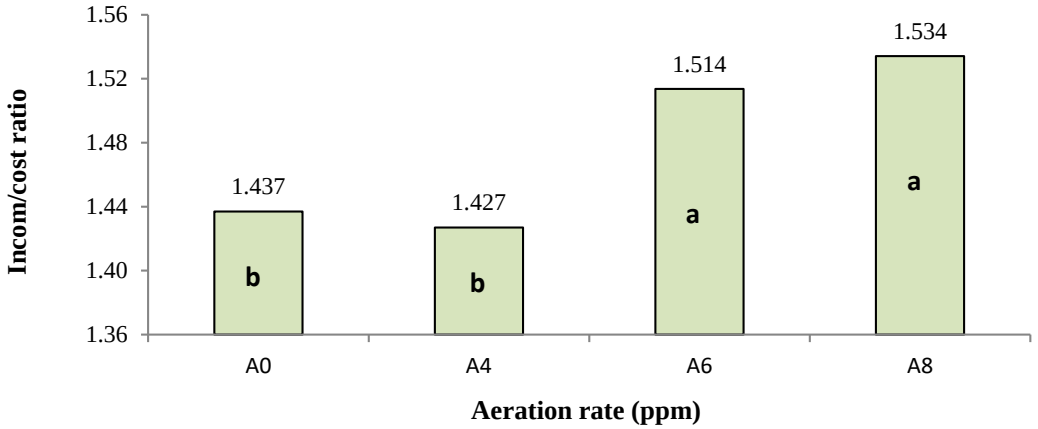

Figure 7. Income/cost rates at various rates of aeration

شکل ۷- میزان درآمد به هزینه در اثر کاربرد مقادیر مختلف هوادهی

جدول ۱۳- مقایسه میانگین‌های مقادیر مختلف هوادهی از نظر شاخص‌های میزان تولید و وزن تک‌ماهی

Table 13. Compare of means of various rates of aeration from view point of production rate and one-fish weight indices

Compare of means by duncan test method (p<0.05)*								Treatments
One-fish weight (kg)				Amount of production (kg)				
sum	Silver carp & big head carp	Grass carp	Common carp	sum	Silver carp & big head carp	Grass carp	Common carp	
1.303 ab	1.362 ab	1.156 bc	1.305 bc	679 b	189 a	52 b	438 b	A0
1.273 b	1.283 ab	0.933 c	1.265 c	689 b	169 a	52 b	441 b	A4
1.321 ab	1.253 b	1.416 ab	1.344 a	686 b	165 a	49 b	472 a	A6
1.376 a	1.488 a	1.500 a	1.324 ab	715 a	186 a	68 a	461 ab	A8

*: میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ براساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن هستند.

Means fallowed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level using Duncan's Multiple Range Test.

۴- نتیجه‌گیری

مقادیر مختلف هوادهی بر شاخص‌های انرژی، کیفیت آب و عملکرد تولیدی نشان داد شاخص‌های کیفی آب در تمامی مقادیر هوادهی در دامنه مطلوب قرار داشت. از نظر شاخص‌های انرژی مقدار هوادهی ۲ تا ۴ پی‌پی‌ام با میزان بهره‌وری انرژی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر مگاژول مناسب‌ترین تیمار بود ولی با توجه به اینکه از نظر شاخص درآمد به هزینه و میزان تولید تیمار هوادهی ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام به ترتیب با مقادیر ۱/۵۱۴ و ۷۷۵ کیلوگرم در هر استخر مناسب‌تر بودند مقدار هوادهی ۴ تا ۶ پی‌پی‌ام توصیه گردید.

۵- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از ریاست محترم پژوهشکده تحقیقات آبزی‌پروری جنوب و همکاران بخش آبزی‌پروری آن پژوهشکده به دلیل همکاری در اجرای این تحقیق کمال تشکر را دارم.

۶- مراجع

Bhuyar, S. J., & Deshmukh, S. J. (2008). Effect of Different Configurations of Mechanical Aerators on Oxygen Transfer and Aeration Efficiency with respect to Power Consumption. World Academy of Science, *Engineering and Technology*, *2*, 415-423.

Canakci, M., & Akinci, I. (2005). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Journal of Energy*, *20*, 1-14.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy, *32*: 35-41.

Hatirli, S., Ozkan, B., & Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production, *Renewable Energy*, *31*, 427-438.

Ionesi, S., Javadi, A., & Rahmati, M. (2013). *Determination of Energy Efficiency Indicators in Trout fish growing (Alborz province).* 3th internationall Conference on Emerging Trends in Energy Conservation, Tehran, Iran. (Persian).

Kaltsas, A. M., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Nanos, G. D., & Kalburtji, K. L. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystems and Environment Journal*, *122*, 243-251.

Karimi, Sh., Mesri Gundoshmian, T., & Khadem Alhossein, N. (2012). Determining and analyses Economic useful Life for Agricultural tractors in the West Azerbaijan province. *Journal of Agricultural science and sustainable production, 22*(4), 87-97. (Persian).

Kitani, O. (1998). CIGR. 1998. *ASAE publication*. Handbook of agricultural engineering, Energy and biomass Engineering. Volume 5.

Kitani, O. (1999). *CIGR Handbook of Agricultural Engineering*. Energy and Biomass Engineering. Thakre, S. B.,

Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Rafiee, Sh., & Keynami, A. (2008). *Energy use and economical analysis of potato production in Iran, a case study: Ardabil province*, Energy Conversion and Management (35).

Sifa, L. I. (1987). Energy structure and efficiency of a typical Chinese integrated fish farm. *Journal of* Aquaculture, *65*(2), 105-118.

Singh, S., & Pannu, C. J. S. (1998). Energy requirement in fish production in the state of Punjab. *Energy Conversion Managment*, *39*, 911-914.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & De Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. FAO publication, Rome.

Tiwari, G. N., & Sarker, B. (2006). Energy inputs and fish yield relationship for open and greenhouse pond. *Journal of Fishery Aquaculture Science, 1*, 171-180.

Varone, F., & Aebischer, B. (2001). Energy efficiency: the cjallenges of policy design, *Journal of Energy Policy*, *29*(8), 615-629.

Vinatea, L., & Carvalho, J. W. (2007). Influence of water salinity on the SOTR of paddlewheel and propeller-aspirator-pump aerators, its relation to the number of aerators per hectare and electricity costs. *Aquacultural Engineering, 37*, 73-78.

Yaldiz, O., Ozturk, H. H. zeren Y., & Bascetincelik, A. (1993). *Energy use in field crops of turkey*. 5th International congress of Agricultural Machinery and Energy, Kusadasi, Turkey, (Turkish).