

ارزیابی کارایی زیست‌محیطی نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی؛ مطالعه موردی استان مازندران

سعید یزدانی، محمدرضا رضانی، حامد رفیعی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳

چکیده

این بررسی به منظور ارزیابی کارایی زیست‌محیطی نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی و ارائه پیشنهادهایی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها به بوم نظام دریایی در سطح استان مازندران انجام شده است. در فصل پرورشی ۱۳۹۵-۹۶ تعداد ۹ مزرعه فعال پرورش ماهی در قفس در این استان وجود داشته است که میزان انتشار آلاینده‌ها به محیط آبی در هر یک از آن‌ها با روشی نامستقیم ارزیابی شد. بر پایه نتایج، به ازای هر تن ماهی قزل‌آلای تولید شده در قفس‌های پرورش ماهی به طور میانگین ۷۳.۹۷۹ کیلوگرم نیتروژن، ۱۳.۸۹۳ کیلوگرم فسفر و ۴۸۸.۳۵۳ کیلوگرم کربن به محیط آزاد شده است. نرخ تبدیل غذایی (نسبت غذای داده شده به ماهیان به میزان ماهی تولید شده) نیز بین ۰.۸۹۷-۰.۸۹۷ با میانگین ۱.۲۴۹ بود که گویای تغییر پذیری‌های شدید کارایی تغذیه است. در ادامه با استفاده از رهیافت SBM-DEA به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی هر یک از مزارع پرداخته شد. میانگین کارایی زیست‌محیطی مزارع ۰.۵۹۹ بود که نشان از وجود ظرفیت بالقوه بالا برای کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها و بهبود عملکرد زیست‌محیطی دارد. بنا بر یافته‌ها ضعف دانش فنی قفس‌داران به ویژه در انتخاب زمان مناسب آغاز و پایان دوره و مدیریت تغذیه، میزان آلاینده‌های آزاد شده به محیط را افزایش خواهد داد. لذا تاکید می‌شود که با اعمال سیاست‌های تشویقی، مزارع موفق تجربه‌های خود را به دیگر مزارع منتقل کنند. این امر می‌تواند با برگزاری دوره‌های آموزشی با به کارگیری مدرسان کارآموده و قفس‌داران موفق عملی شود.

طبقه‌بندی JEL: C14, Q12, Q10

واژگان کلیدی: پرورش ماهی در قفس، شمال ایران، آلودگی، کارایی زیست‌محیطی، SBM-DEA

^۱ به ترتیب استاد(نویسنده مسئول)، دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تهران

مقدمه

به رغم تلاش‌های به عمل آمده برای ریشه‌کن کردن گرسنگی در کشورهای جهان، جمعیت گرسنه جهان در سال ۲۰۱۶ به ۸۱۵ میلیون نفر (معادل ۱۱ درصد از جمعیت کل جهان) افزایش یافته است (سازمان خوار بار کشاورزی^۱، ۲۰۱۷ الف). این در حالی است که بنا بر برآوردهای به عمل آمده جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به حدود ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید و از سویی، افزایش درآمد در کشورهای با سطح درآمدی پایین و متوسط منجر به افزایش تقاضا برای گوشت و دیگر مواد غذایی خواهد شد که در صورت نبود زمینه مدیریت صحیح، تشدید گرسنگی و فقر در جهان را در پی خواهد داشت (سازمان خوار بار کشاورزی، ۲۰۱۷ ب). در حالی که تولید گوشت قرمز و دیگر محصولات کشاورزی با محدودیت‌هایی رو به رو است، در عوض دریاها که نزدیک به ۷۵ درصد سطح کره زمین را اشغال کرده‌اند یکی از ظرفیت‌های بالقوه برای تامین مواد غذایی بشر به شمار می‌روند (ایزدی و همکاران، ۲۰۱۶). پرورش آبزیان ضمن کمک به تامین غذا برای جمعیت رو به افزایش جهان، نقش مهمی در تامین پروتئین، مواد ریزمغذی و امگا ۳ مورد نیاز انسان‌ها دارد (کریم و همکاران^۲، ۲۰۱۲؛ سازمان خوار و بار جهانی، ۲۰۱۸). اهمیت بالای آبزیان و به ویژه ماهیان باعث شده است تا توجه جهانی به این بخش معطوف شود به گونه‌ای که تجارت جهانی ماهیان و فرآورده‌های آن در سال ۲۰۱۶ در مقایسه با سال ۱۹۷۶ حدود ۵۰۰ درصد رشد داشته (سازمان خوار بار کشاورزی، ۲۰۱۸). در کشورمان ایران نیز روند افزایش تقاضا برای آبزیان محسوس بوده به گونه‌ای که مصرف سرانه آبزیان از حدود ۵ کیلوگرم در دهه ۷۰ به بالغ بر ۱۰ کیلوگرم در سال ۱۳۹۵ رسیده است (سازمان شیلات ایران، ۲۰۱۷) که بیانگر ارتقای فرهنگ استفاده از آبزیان در سبد کالایی خانوارهای ایرانی است.

روند افزایشی تقاضا برای ماهیان و فرآورده‌های آن باعث شده تا پاسخ به تقاضای جهانی تنها با اتکا به ذخایر طبیعی ماهی امکان‌پذیر نباشد به گونه‌ای که سهم ماهیان پرورشی از کل ماهیان مصرفی در جهان از ۲۸ درصد در سال ۱۹۹۵ به بیش از ۵۰ درصد در سال ۲۰۱۶ افزایش یافته و به رقم ۸۰ میلیون تن در سال رسیده است (سازمان خوار بار کشاورزی، ۲۰۱۸). رشد تقاضا برای آبزیان موجب

^۱ Food and Agriculture Organization (FAO)

^۲ Kareem et al.

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۰۷

شده تا نظام‌های مختلف پرورشی به منظور پرورش آبزیان به کار گرفته شوند؛ لیکن کمیابی و افزایش قیمت زمین به دلیل استفاده‌های صنعتی باعث شده تا انسان‌ها به نظام‌های پرورش در قفس روی بیاورند (ایلیاسو و همکاران^۱، ۲۰۱۶). پرورش ماهی در قفس یک نظام پرورشی است که طی آن کشاورزان با استقرار قفس‌های به نسبت بزرگ در محیط‌های آبی مانند دریاها، دریاچه‌ها و پشت سدها اقدام به پرورش ماهی می‌کنند. برتری‌هایی همچون استفاده از منابع آبی موجود و حذف هزینه آب مصرفی، نیاز به سرمایه کمتر در مقایسه با دیگر نظام‌های پرورشی، برداشت آسان ماهی و ایجاد ظرفیت‌های شغلی موجب شده تا نظام پرورش ماهی در قفس به یکی از پر طرفدارترین نظام‌های پرورشی در دنیا تبدیل شود (چن و همکاران^۲، ۲۰۰۷؛ امبوا و همکاران^۳، ۲۰۱۷).

صنعت پرورش ماهی در قفس نیز با وجود جذابیت‌های زیاد آن، به این دلیل که یک نظام باز تلقی می‌شود در صورت نبود زمینه استفاده بهینه از نهاده‌ها به ویژه غذای ماهیان، می‌تواند منجر به انتشار حجم زیادی از آلاینده‌ها مانند نیتروژن، فسفر و کربن به محیط‌های دریایی شود (پرایس و همکاران^۴، ۲۰۱۵؛ بالستر-مولتو و همکاران^۵، ۲۰۱۷؛ ام‌سی‌ایور و همکاران^۶، ۲۰۱۸). انتشار بیش از حد نیتروژن به بوم نظام دریایی موجب پدیده یوتروفیکاسیون^۷ در بوم نظام شده که طی آن رشد بیش از حد جلبک‌ها و گیاهان آبی رخ می‌دهد و در پی آن، اکسیژن محلول موجود در آب‌های پذیرنده کاهش یافته و اکسیژن کافی برای گونه‌های مطلوب مانند ماهیان وجود نخواهد داشت و نرخ مرگ و میر آبزیان به صورت معنی‌داری افزایش خواهد یافت (کرومی و همکاران^۸، ۲۰۰۰؛ پیرسون و بلک^۹، ۲۰۰۱؛ پرایس و موریس^{۱۰}، ۲۰۱۳؛ لو و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۸). افزایش میزان فسفر در

¹ Iliyasu et al.

² Chen et al.

³ Mbow et al.

⁴ Price et al.

⁵ Ballester-Moltó et al.

⁶ McIver et al.

⁷ Eutrophication

⁸ Croomey et al.

⁹ Pearson & Black

¹⁰ Price & Morris

¹¹ Lue et al.

آب موجب تشدید پدیده یوتریفیکاسیون خواهد شد (کلورن^۱، ۲۰۰۱؛ اسلام و تاناکو^۲، ۲۰۰۴، وردگم^۳، ۲۰۱۳). انتشار کربن نیز با فرسایش میکروبی موجب کاهش اکسیژن در آب و برخی تغییر پذیری‌های شیمیایی دیگر می‌شود (اسلام^۴، ۲۰۰۵؛ پرایس و موریس، ۲۰۱۳). بنابراین ضرورت دارد تا در کنار برتری‌های نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی، به عملکرد و کارایی زیست‌محیطی آن نیز توجه ویژه‌ای شود.

بنا بر تعریف گردهمایی شورای جهانی کسب و کار برای توسعه پایدار^۵ (۱۹۹۶)، کارایی زیست‌محیطی افزون بر ارائه کالا و خدمات در راستای تأمین نیاز انسان‌ها و بالا بردن کیفیت زندگی افراد جامعه، تلاش در کاهش اثرگذاری‌های زیست‌محیطی داشته و از شدت استفاده از منابع می‌کاهد. به بیان دیگر، نظامی به لحاظ زیست‌محیطی کارتر خواهد بود که به منظور تولید سطح مشخصی از محصول، آلودگی کمتری ایجاد کند و یا از منظر دیگر، با ایجاد سطح مشخصی از آلودگی، میزان محصول بیشتری را نسبت به نظام‌های دیگر ایجاد کند (پیکازو-تادئو^۶، ۲۰۱۱). لذا بدیهی است که ارزیابی کارایی زیست‌محیطی فعالیت‌های اقتصادی از جمله نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی به همراه ارائه راهکارهایی برای بهبود آن، می‌تواند به عنوان ابزاری موثر برای کاهش پیامدهای جانبی و در عین حال، افزایش عملکرد اقتصادی این نظام به کار گرفته شود. اهمیت توجه به پیامدهای زیست‌محیطی فعالیت‌های اقتصادی باعث شده تا پیش از این بررسی‌های مختلفی به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی این فعالیت‌ها بپردازند. برخی از این بررسی‌ها برای برآورد کارایی زیست‌محیطی از رهیافت اقتصاد سنجی تابع تولید مرزی تصادفی^۷ استفاده کرده‌اند که از جمله آنان می‌توان به رینهارد و همکاران^۸ (۲۰۰۰) در برآورد کارایی زیست‌محیطی گاو‌داری‌های هلند، ژانگ و ژو^۹ (۲۰۰۵) در بررسی کارایی زیست‌محیطی کشت سبزی در چین، کوثر و همکاران^۱

^۱ Cloern

^۲ Islam & Tanako

^۳ Verdegem

^۴ Islam

^۵ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

^۶ Picazo-Tadeo et al.

^۷ Stochastic Frontier Approach (SFA)

^۸ Reinhard et al.

^۹ Zhang & Xue

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۰۹

همکاران^۱ (2010) در برآورد کارایی زیست محیطی تولید برنج باسماتی در پنجاب پاکستان و ژو و همکاران^۲ (2015) در برآورد کارایی زیست محیطی پرورش خوک در چین اشاره کرد. برخی دیگر از بررسی های انجام شده پیرامون این موضوع نیز با استفاده رهیافت برنامه ریزی ریاضی تحلیل پوششی داده ها^۳ به محاسبه کارایی زیست محیطی تولید محصولات مختلف پرداخته اند که از جمله آنان می توان به کوئلی^۴ (2006) در اندازه گیری کارایی زیست محیطی دامداری های بلژیک، محمدی و همکاران^۵ (2014) در ارزیابی کارایی زیست محیطی کشت برنج در گرگان، ماسودا^۶ (2016) در ارزیابی کارایی زیست محیطی تولید گندم در ژاپن، کوهن و همکاران^۷ (2018) در محاسبه کارایی زیست محیطی پرورش خوک در چین، سچینی و همکاران^۸ (2018) در ارزیابی کارایی زیست محیطی گله های گاو شیری در ایتالیا اشاره کرد. در زمینه ارزیابی کارایی زیست محیطی پرورش آبزیان نیز بررسی های پرشماری انجام شده است. به عنوان مثال ترنگ و همکاران^۹ (2018) با استفاده از رهیافت مرزی تصادفی و بر مبنای فرم تابعی ترنس لوگ به برآورد کارایی زیست محیطی مزارع پرورش میگو در دلتای مکونگ^{۱۰} واقع در کشور ویتنام پرداختند. بررسی های داده های 90 مزرعه در منطقه مورد بررسی نشان داد که میانگین کارایی زیست محیطی این مزارع 0.65 است. به عبارت دیگر مزارع مورد بررسی باید نهاده های زیان آور زیست محیطی را 35 درصد کاهش دهند و در عین حال میزان استفاده از نهاده های عادی و میزان تولید ثابت باشد تا از این راه به کارایی زیست محیطی دست یابند. از بررسی های داخلی نیز می توان به بررسی ناظرانی (2016) اشاره کرد که به بررسی کارایی زیست محیطی مزارع پرورش ماهیان گرمابی در استان خوزستان پرداخت. او با اندازه گیری غلظت سه آلاینده نیترات، آمونیوم و فسفات در پساب خروجی از استخرهای 90 مزرعه پرورش ماهی و استفاده از رهیافت مرزی تصادفی بیان کرد که میانگین کارایی زیست محیطی مزارع

¹ Kouser et al.

² Zhou et al.

³ Data Envelopment Analysis Approach (DEA)

⁴ Coelli

⁵ Mohammadi et al.

⁶ Masuda

⁷ Kuhn et al.

⁸ Cecchini et al.

⁹ Trang et al.

¹⁰ Mekong

پرورش ماهی 0.30 بوده است که بیانگر این واقعیت است که مزارع پرورش ماهی استان خوزستان دارای کارایی به نسبت پایینی هستند.

با وجود انجام بررسی‌های گسترده خارجی در زمینه ارزیابی کارایی زیست‌محیطی فعالیت‌های اقتصادی از جمله پرورش آبزیان، تا کنون هیچ بررسی خارجی به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی نپرداخته است و بررسی‌های موجود مانند (بورئو و همکاران^۱، 2003؛ اسلام، 2005؛ اسیر و پولاتسو^۲، 2008؛ گوندوی و همکاران^۳، 2011) به محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها ناشی از این نظام بسنده کرده‌اند. در داخل کشور نیز نه تنها هیچ بررسی‌ای به ارزیابی کارایی زیست‌محیطی نظام پرورش ماهی در قفس نپرداخته است، بلکه هیچ کدام به محاسبه حجم آلاینده‌های ناشی از این نظام نیز نپرداخته‌اند. از این‌رو، این بررسی با هدف محاسبه میزان‌های نیتروژن، فسفر و کربن به عنوان مهم‌ترین آلاینده‌های آزاد شده به محیط ناشی از نظام پرورش ماهی در قفس، ارزیابی کارایی زیست‌محیطی این نظام و ارائه راهکارهایی برای کاهش پیامدهای مخرب آن بر بوم نظام دریایی در سطح استان مازندران انجام شده است. استان مازندران با دارا بودن 350 کیلومتر نوار ساحلی و تولید بالقوه 3600 تن در سال یکی از استان‌هایی است که به دلیل وجود شرایط مناسب پرورش ماهی در قفس‌های دریایی به ویژه برای ماهی قزل‌آلا توجه زیادی را به خود جلب کرده است (ایزدی و همکاران، 2016). پرورش ماهی در قفس‌های دریایی در استان مازندران در فصل پرورشی 96-1395 توسط 9 مزرعه فعال و با استفاده از 57 قفس در حال انجام بوده است که همگی آنان به پرورش ماهی قزل‌آلا مشغول بوده‌اند (اداره شیلات استان مازندران، 2017). مشخصات هر یک از مزارع در جدول (1) ارائه شده است^۴. در ضمن همه قفس‌های مورد استفاده از نوع پلی‌اتیلنی گرد بوده و به طور عموم با قطر 20 متر و عمق 10 متر طراحی شده‌اند.

¹ Bureau et al.

² Aşır & Pulatsü

³ Gondwe et al.

^۴ بنا به درخواست قفس‌داران، از ارائه اطلاعات تکمیلی مزارع پرهیز شده و تنها به ذکر محل استقرار هر مجموعه اکتفا شده است.

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۱۱

جدول (۱) ویژگی‌های مزارع پرورش ماهی در قفس واقع در استان مازندران

Table 1- Specifications of fish cage farms located in Mazandaran province

شهرستان Township	شماره مزرعه Farm number
نوشهر (Nowshahr)	مزرعه شماره ۱ (Farm number 1)
بابلسر (Babolsar)	مزرعه شماره ۲ (Farm number 2)
نوشهر (Nowshahr)	مزرعه شماره ۳ (Farm number 3)
نوشهر (Nowshahr)	مزرعه شماره ۴ (Farm number 4)
جویبار (Juybar)	مزرعه شماره ۵ (Farm number 5)
عباس آباد (Abbasabad)	مزرعه شماره ۶ (Farm number 6)
عباس آباد (Abbasabad)	مزرعه شماره ۷ (Farm number 7)
تنکابن (Tonekabon)	مزرعه شماره ۸ (Farm number 8)
تنکابن (Tonekabon)	مزرعه شماره ۹ (Farm number 9)

Reference: Mazandaran fisheries organization

منبع: اداره شیلات استان مازندران

روش تحقیق

محاسبه کارایی زیست محیطی

رهیافت تحلیل پوششی داده‌های مرسوم (CDEA^۱) که به طور عمده با نام‌های CCR^۲ و BCC^۳ شناخته می‌شود تغییر پذیری‌های لازم در نهاده‌ها و یا محصولات برای دستیابی به کارایی زیست محیطی کامل را به صورت نسبتی از کل نهاده‌ها یا محصولات در نظر می‌گیرد. حال آنکه ممکن است در واقعیت، واحدهای تصمیم‌گیر^۴ یا همان بنگاه‌ها بتوانند با تغییر مقادیر هر یک نهاده‌ها و یا محصولات به نسبت‌های نابرابر به کارایی زیست محیطی کامل دست یابند (ماسودا، ۲۰۱۶). با این وجود می‌توان ضعف روش CDEA را با استفاده از رهیافت تحلیل فراگیر داده‌ها با تاکید بر متغیر Slack (SBM-DEA^۵)، رفع کرد. این رهیافت با لحاظ کردن متغیر Slack، بر خلاف مدل‌های CCR و BCC، مقدار تغییر پذیری‌های لازم در هر یک از نهاده‌ها یا محصولات به منظور

^۱ Conventional Data Envelopment Analysis Approach (CDEA)

^۲ Charnes-Cooper-Rhodes (CCR)

^۳ Banker-Charnes-Cooper (BCC)

^۴ Decision Making Units (DMUs)

^۵ Slack-Based Measure- Data Envelopment Analysis Approach (SBM-DEA)

دستیابی به کارایی زیست‌محیطی کامل را به صورت اختصاصی محاسبه می‌کند (تن^۱، ۲۰۰۱ و ۲۰۱۱). به منظور درک بهتر رهیافت SBM-DEA در ادامه بنا بر نتایج بررسی تن (۲۰۰۱) به بررسی ساختار این مدل پرداخته شده است. فرض کنید n واحد تصمیم‌گیر (DMUs) وجود دارد که ماتریس نهاده‌ها و ستاده‌های آن‌ها به ترتیب به صورت $X = (x_{ij}) \in R^{m \times n}$ و $Y = (y_{ij}) \in R^{s \times n}$ باشد. فرض شود که مجموعه داده‌ها مثبت باشد و یا به عبارت دیگر $X > 0$ و $Y > 0$ باشند. در این صورت مجموعه تولید ممکن^۲ که آن را P می‌نامیم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P = \{(x, y) | x \geq X \lambda, y \leq Y \lambda, \lambda \geq 0\} \quad (1)$$

که λ یک بردار نا منفی در R^n است (توجه شود که می‌توان برخی محدودیت‌ها را نیز بر λ اعمال کرد. به عنوان مثال می‌توان قید $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ را در نظر گرفت که در این صورت مقادیر کارایی در حالت بازده متغیر نسبت به مقیاس محاسبه خواهد شد). فرض شود عبارت‌های زیر برای تشریح یک واحد تصمیم‌گیر که به صورت $DMU(x_o, y_o)$ نشان داده می‌شود، استفاده شوند:

$$x_o = X \lambda + s^-, \quad (2)$$

$$y_o = Y \lambda - s^+, \quad (3)$$

که در آن‌ها s^- و s^+ مقادیر بزرگتر یا برابر صفر را اختیار می‌کنند. بردارهای $s^- \in R$ و $s^+ \in R$ در عبارت‌های بالا به ترتیب نشان‌دهنده‌ی مازاد نهاده^۳ و کمبود ستاده^۴ هستند و Slack نامیده می‌شوند. بنا بر شرایط $X > 0$ و $\lambda \geq 0$ می‌توان گفت که بنا به ضرورت:

$$x_o \geq s^- \quad (4)$$

با استفاده از s^- و s^+ می‌توان شاخص ρ را به صورت زیر تعریف کرد:

$$\rho = \frac{1 - \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \left(\frac{1}{s}\right) \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (5)$$

¹ Tone

² Production Possibility Set

³ Input Excess

⁴ Output Shortfall

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۱۳

که بنا بر عبارت (4)، مقدار ρ بین صفر و یک خواهد بود. به منظور ارزیابی کارایی (x_o, y_o) ، برنامه ریاضی کسری زیر بر مبنای λ ، s^- و s^+ ، در نظر گرفته می‌شود:

$$\min \quad \rho = \frac{1 - \left(\frac{1}{m}\right) \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \left(\frac{1}{s}\right) \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} s.t. \quad & x_o = X \lambda + s^-, \\ & y_o = Y \lambda - s^+, \\ & \lambda \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ \geq 0. \end{aligned}$$

چنانچه یک متغیر اسکالر بزرگتر از صفر مانند t در صورت و مخرج معادله (6) ضرب شود آشکار است که تغییری در ρ ایجاد نمی‌شود. اگر این مقدار t را به گونه‌ای اختیار کنیم که مخرج کسر برابر یک شود، این فرض به قسمت محدودیت‌های مدل اضافه شده و هدف مسئله برنامه‌ریزی به کمینه کردن صورت کسر یاد شده تبدیل خواهد شد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \min \quad & \tau = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{ts_i^-}{x_{io}} \\ s.t. \quad & 1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{ts_r^+}{y_{ro}}, \\ & x_o = X \lambda + s^-, \\ & y_o = Y \lambda - s^+, \\ & \lambda \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ \geq 0, \quad t > 0. \end{aligned} \quad (7)$$

مشکل مدل برنامه‌ریزی بالا این است که غیر خطی است چرا که این مدل عبارت غیر خطی $ts_r^+ (r=1, \dots, s)$ را در بر دارد. البته می‌توان با انجام تغییرهایی آن را به یک مدل خطی تبدیل کرد. بدین منظور فرض کنید: $S^+ = ts^+$ ، $S^- = ts^-$ و $\Lambda = t\lambda$. در این صورت مسئله برنامه‌ریزی (7) به صورت مسئله برنامه‌ریزی خطی شماره (8) در می‌آید:

$$\begin{aligned}
 \min \quad & \tau = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{io}} \\
 \text{s.t.} \quad & 1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{y_{ro}}, \\
 & tx_o = X \Lambda + S^-, \\
 & ty_o = Y \Lambda - S^+, \\
 & \Lambda \geq 0, \quad S^- \geq 0, \quad S^+ \geq 0, \quad t > 0.
 \end{aligned} \tag{8}$$

فرض کنید حل بهینه مسئله برنامه‌ریزی خطی بالا بدین صورت باشد: $(\tau^*, t^*, \Lambda^*, S^{-*}, S^{+*})$. در این صورت حل بهینه مسئله برنامه‌ریزی (6) به صورت زیر تعریف خواهد شد:

$$\rho^* = \tau^*, \quad \lambda^* = \Lambda^* / t^*, \quad s^{-*} = S^{-*} / t^*, \quad s^{+*} = S^{+*} / t^* \tag{9}$$

بر مبنای این مقادیر بهینه، یک واحد تصمیم‌گیر کارا^۱ به صورت زیر تعریف می‌شود: یک واحد تصمیم‌گیر، کارا خواهد بود، اگر $\rho^* = 1$. این وضعیت، معادل با $s^{-*} = 0$ و $s^{+*} = 0$ خواهد بود و یا به بیان دیگر، هیچ مازاد نهاده و یا کمبود محصولی وجود نخواهد داشت.^۲ تا به اینجا چگونگی محاسبه کارایی زیست‌محیطی بر مبنای رهیافت SBM-DEA در هر دو حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس و بازده متغیر نسبت به مقیاس شرح داده شد. محاسبه کارایی زیست‌محیطی در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس و بازده متغیر نسبت به مقیاس، به ترتیب مقادیر کارایی زیست‌محیطی خالص^۳ و کارایی زیست‌محیطی کلی^۴ را به دست می‌دهد (لی و همکاران^۵، 2013) و پژوهشگران بنا بر هدف‌های خود می‌توانند هر یک از این دو را محاسبه کنند. البته عمده بررسی‌های انجام شده پیرامون ارزیابی کارایی زیست‌محیطی پرورش آبزیان از جمله (لوزانو و

^۱ SBM-efficient unit

^۲ برای اطلاعات بیشتر به تن (2001) مراجعه شود.

کارایی زیست‌محیطی خالص (Pure Environmental Efficiency) نوعی کارایی زیست‌محیطی است که اثرگذاری‌های ناکارایی مقیاس از آن برداشته شده است.

^۴ Overall Environmental Efficiency

^۵ Lie et al.

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۱۵

همکاران^۱، 2009؛ لوزانو و همکاران، 2010؛ وزکوئز-رو و همکاران^۲، 2010) از رهیافت تحلیل فراگیر داده‌ها با فرض بازده ثابت نسبت به مقیاس استفاده کرده و آن را در مقایسه با فرض بازده متغیر نسبت به مقیاس، مناسب‌تر دانسته‌اند.

در این بررسی نیز با توجه به محدود بودن شمار واحدهای پرورش ماهی در قفس‌های دریایی واقع در استان مازندران، برای محاسبه کارایی زیست‌محیطی از رهیافت SBM-DEA در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس استفاده شد که در آن میزان ماهی تولید شده به عنوان ستاده در نظر گرفته شده است. لازم به بیان است که در محاسبه کارایی زیست‌محیطی، ستاده را می‌توان به صورت ارزش ماهی تولید شده نیز در نظر گرفت اما این امر می‌تواند نتایج گمراه‌کننده‌ای به دنبال داشته باشد چرا که افزایش قیمت بازاری به دلیل بازیابی محصول و غیره می‌تواند نتیجه عملکرد زیست‌محیطی تولید محصول را بهتر از آنچه که هست، نشان دهد (جن و همکاران^۳، 2012). مقادیر انتشار سه آلاینده نیتروژن، فسفر و کربن نیز به عنوان نهاده‌های زیان‌آور (یا همان اثرگذاری‌های زیست‌محیطی) وارد مدل شدند^۴. چنانکه پیش‌تر بیان شد، آلاینده‌های یاد شده مهم‌ترین آلاینده‌های آزاد شده به بوم نظام دریایی ناشی از پرورش ماهی در قفس‌های دریایی هستند که در ادامه چگونگی محاسبه میزان انتشار هر یک از آن‌ها شرح داده شده است.

محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها به بوم نظام دریایی

برای سنجش میزان انتشار نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به بوم نظام، دو روش وجود دارد. اول، روش مستقیم که بر مبنای انجام آزمایش‌های گسترده استوار است و دوم، روش نا مستقیم. روش اول بسیار پرهزینه و دشوار است و افزون بر این، می‌تواند با خطای بالایی همراه باشد (کلی و همکاران^۵، 1996؛ بورئو و همکاران، 2003؛ گوندوی و همکاران، 2011). لیکن با به کار بردن روشی نا مستقیم و به نسبت ساده، می‌توان میزان نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به محیط‌های دریایی را با دقت به نسبت بالایی محاسبه کرد. در روش نا مستقیم، اختلاف بین میزان نیتروژن، فسفر و

¹ Lozano et al.

² Vázquez-Rowe et al.

³ Jan et al.

^۴ در این رهیافت نیازی به وارد کردن نهاده‌های معمول تولید در مدل نیست و تنها نهاده‌های زیان‌آور یا همان اثرگذاری‌های زیست‌محیطی در نظر گرفته می‌شوند. برای اطلاعات بیشتر به ماسودا (2016) رجوع شود.

⁵ Kelly et al.

کربن موجود در نهاده‌های ورودی و محصول خروجی از قفس، به عنوان حجم عنصرهای آزاد شده به محیط در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه با استفاده از روش نا مستقیم به کار گرفته شده در مجموعه بررسی‌های هال و همکاران^۱ که طی سه سال پیاپی به چاپ رسیده است، به توضیح روش محاسبه آلاینده‌ها پرداخته شده و بر همین مبنا، میزان انتشار آلاینده‌های یاد شده برای مزرعه شماره یک (که در فصل پرورشی -1395 96 تنها دو قفس فعال داشته که در شهرستان نوشهر واقع است) ارزیابی شده است. لازم به بیان است که محاسبه میزان انتشار آلاینده‌ها برای دیگر مزارع نیز به روش مشابه انجام شده است. لذا به منظور کاهش حجم مقاله، جزئیات محاسبه‌ها تنها برای مزرعه شماره یک ارائه شده و در مورد دیگر مزارع تنها به بیان نتایج اکتفا شده است.

هال و همکاران با استفاده از روشی که در ادامه به تفصیل بیان شده است، به محاسبه میزان نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به محیط در یک مزرعه پرورش ماهی قزل‌آلا در قفس واقع در غرب سوئد پرداخته‌اند. نخستین بررسی آنان (هال و همکاران، 1990) به محاسبه میزان انتشار کربن اختصاص یافته است. دومین بررسی (هالبی و هال^۲، 1991) مربوط به محاسبه میزان انتشار فسفر بوده و در نهایت، سومین بررسی آنان (هال و همکاران، 1992) در رابطه با محاسبه میزان نیتروژن آزاد شده به محیط آبی بوده است. داده‌های مورد نیاز برای انجام محاسبه عبارت است از: (1) وزن و شمار بچه‌ماهی ریخته شده به قفس‌ها به علاوه میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در هر بچه‌ماهی (2) وزن و شمار ماهی برداشت شده از قفس‌ها به علاوه میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در ماهی برداشت شده (3) وزن و شمار ماهی هدر رفته (مجموع ماهی تلف شده و فرار کرده) به علاوه میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در ماهی هدر رفته (4) وزن کل غذای ریخته شده به قفس‌ها به علاوه میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در غذا. در زیر چگونگی محاسبه میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در بچه‌ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته به صورت مفصل مورد بحث قرار گرفته است.

¹ Hall et al.

² Holby & Hall

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۱۷

- نیتروژن موجود در بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته

برای برآورد میزان نیتروژن موجود در بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته (مجموع ماهیانی که تلف شده و یا فرار کرده اند) از رابطه‌ای که توسط پرسون^۱ (1986) توسعه یافته است، استفاده شد. پرسون میزان نیتروژن موجود در ماهی را به صورت تابعی از وزن ماهی و بر مبنای رابطه زیر ارائه کرد که در آن، W وزن ماهی تازه بر حسب گرم است.

$$\%N = 0.096 \times 17.4 \times W^{0.099} \quad (10)$$

لازم به بیان است که وزن کل ماهی هدر رفته (که مجموع ماهیان تلف شده و ماهیانی که فرار کرده اند، می باشد) بر مبنای محاسبه‌های ساده به دست می آید. به این ترتیب که وزن هر بچه ماهی و شمار بچه ماهی ریخته شده به قفس در آغاز دوره مشخص است. وزن هر عدد ماهی برداشت شده و وزن کل ماهیان برداشت شده در پایان دوره نیز مشخص است. لذا شمار ماهی در پایان دوره نیز به دست می آید و می توان شمار ماهیان هدر رفته را محاسبه کرد. وزن هر ماهی هدر رفته نیز بنا بر بررسی‌های هال و همکاران (1992)، برابر با وزن یک بچه ماهی به علاوه نصف میانگین وزن اضافه شده به هر یک از ماهیان در طی دوره در نظر گرفته شده است. سپس با ضرب شمار ماهی هدر رفته در میانگین وزن ماهی هدر رفته، وزن کل ماهیان هدر رفته به دست خواهد آمد.

- فسفر موجود در بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته

برای برآورد میزان فسفر موجود در بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته (مجموع ماهیانی که تلف شده و یا فرار کرده اند) از رابطه‌ای که توسط پرسون (1986) توسعه یافته است، استفاده شد. پرسون میزان فسفر موجود در ماهی را به صورت تابعی از وزن ماهی و معادل 0.406 درصد از وزن ماهی تازه می داند. بر همین مبنای و با انجام محاسبه‌های ساده، میزان فسفر موجود در بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته به دست خواهد آمد.

- کربن موجود در بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته

پرسون (1986) میزان کربن موجود در ماهی را به صورت تابعی از وزن ماهی و بر مبنای رابطه زیر ارائه کرد که در آن، W وزن ماهی تازه بر حسب گرم است.

$$\%C = 0.55 \times 17.4 \times W^{0.099} \quad (11)$$

¹ Persson

روشن است که در صورت مشخص بودن وزن هر عدد بچه ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته، میزان کربن موجود در آن‌ها به آسانی قابل محاسبه خواهد بود. داده‌های لازم برای محاسبه میزان نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به محیط آبی ناشی از پرورش ماهی در مزرعه شماره یک در جدول (۲) ارائه شده است. جدول (۲) میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در بچه‌ماهی، ماهی برداشت شده و ماهی هدر رفته برای مزرعه شماره یک

Table 2- Nitrogen, phosphorus and carbon contents of juveniles, harvested fish, and fish loss in the farm number one

کربن	فسفر	نیتروژن	اندازه	وزن کل	
(درصد از وزن تازه)	(درصد از وزن تازه)	(درصد از وزن تازه)	(گرم وزن تازه)	(کیلوگرم وزن تازه)	
Carbon concentration % (fresh w/w)	Phosphorus concentration % (fresh w/w)	Nitrogen concentration % (fresh w/w)	Size (g fresh wt)	Weight (kg fresh wt)	
16.170 ^b	0.406 ^b	2.822 ^b	200 ^a	8000 ^a	بچه‌ماهی Juveniles
18.963 ^b	0.406 ^b	3.310 ^b	1000 ^c	30000 ^a	ماهی برداشت شده Harvest
18.028 ^b	0.406 ^b	3.147 ^b	600 ^e	6000 ^d	ماهی هدر رفته Fish loss

a: داده‌ها توسط مدیر مزرعه ارائه شده است.

a: Data given by fish farmer

b: بر مبنای رابطه‌های ارائه شده توسط پرسون (1986) محاسبه شده است.

b: Calculated for whole rainbow trout according to Persson (1986)

c: معادل میانگین وزن هر ماهی برداشت شده در پایان دوره در نظر گرفته شده است.

c: Estimated as the average weight of fish harvested at the end of production cycle

d: در آغاز شمار ماهیان هدر رفته (که معادل با اختلاف بین شمار بچه‌ماهی در آغاز دوره و شمار ماهی برداشت شده از قفس‌ها است) محاسبه شده است. سپس با ضرب آن در میانگین وزن هر ماهی هدر رفته، کل وزن ماهیان هدر رفته محاسبه شده است.

d: First, the number of lost fish (which is equal to the difference between the number of juveniles at the beginning of the season and the number of fish harvested from the cages) has been calculated. Then, by multiplying it by the average weight of each lost fish, the total weight of the lost fish is calculated

e: معادل وزن یک بچه‌ماهی به علاوه نصف میانگین وزن اضافه شده به هر ماهی در طی دوره در نظر گرفته شده است.

e: Estimated as the weight of a juvenile plus the half of average weight gained by a fish during the season

Reference: Study findings

منبع: یافته‌های تحقیق

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۱۹

تا به اینجا میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در بچه‌ماهی، ماهی هدر رفته و ماهی برداشت شده از قفس‌ها، مشخص شد. کارکنان مزرعه شماره یک، طی دوره پرورشی 96-1395 در کل 26 تن غذای ماهی به قفس‌ها ریخته‌اند که میزان نیتروژن، فسفر و کربن موجود در غذا بر مبنای اظهار مدیر مزرعه به ترتیب برابر با 8، 1.35 و 51 درصد از وزن خشک غذا در نظر گرفته شده است. با وجود آمار و رقم‌های بالا، محاسبه میزان انتشار آلاینده‌های یاد شده به بوم نظام دریایی برای مزرعه شماره یک، به آسانی و بر مبنای رابطه (12) انجام می‌شود. در مورد میزان نیتروژن (فسفر/کربن) موجود در ماهی هدر رفته که در رابطه زیر لحاظ شده است، لازم به ذکر است که از 600 گرم وزن منظور شده برای هر یک از این ماهیان، 200 گرم آن مربوط به همان بچه‌ماهی اولیه بوده است که یک بار در میزان نیتروژن (فسفر/کربن) موجود در بچه‌ماهی به شمار آمده است. لذا برای جلوگیری از احتساب مضاعف نیاز است تا شمار ماهی هدر رفته (که به آسانی از تقسیم وزن کل ماهی هدر رفته بر وزن هر ماهی هدر رفته به دست می‌آید) در وزن هر بچه‌ماهی ضرب شده و میزان نیتروژن (فسفر/کربن) موجود در آن از کل نیتروژن (فسفر/کربن) وارد شده به مجموعه کسر شود.

$$T.A.P_i = Juv \times P_i \text{ContentOfJuv} + FishLose \times P_i \text{ContentOfLostFish} + Feed \times P_i \text{ContentOfFeed} - HarvestedFish \times P_i \text{ContentOfHarverstedFish} - \text{NumberOfLostFish} \times \text{WeightOfEachJuv} \times P_i \text{ContentOfJuv} \quad (12)$$

در این رابطه $T.A.P_i$ نشانگر کل آلاینده نام آزاده شده به محیط آبی بر حسب کیلوگرم، Juv نشانگر وزن کل بچه‌ماهی‌های ریخته شده به قفس‌ها بر حسب کیلوگرم، $P_i \text{ContentOfJuv}$ نشانگر درصد آلاینده نام از وزن هر بچه‌ماهی، $FishLose$ نشانگر وزن کل ماهیان هدر رفته بر حسب کیلوگرم، $P_i \text{ContentOfLostFish}$ نشانگر درصد آلاینده نام از وزن هر ماهی هدر رفته، $Feed$ نشانگر وزن کل غذای ریخته شده به قفس‌ها بر حسب کیلوگرم، $P_i \text{ContentOfFeed}$ نشانگر درصد آلاینده نام از وزن غذا، $HarvestedFish$ نشانگر وزن کل ماهیان برداشت شده از قفس‌ها، $P_i \text{ContentOfHarverstedFish}$ نشانگر درصد آلاینده نام از وزن هر ماهی برداشت شده، $NumberOfLostFish$ نشانگر شمار کل ماهیان هدر رفته و $WeightOfEachJuv$ نشانگر

وزن هر عدد بچه‌ماهی است. در ضمن در رابطه بالا i معرف آلاینده‌ها است که با توجه به اینکه سه آلاینده نیتروژن، فسفر و کربن وجود داشته است، $i = 1, 2, 3$ خواهد بود. پس از انجام محاسبه‌ها بر مبنای رابطه بالا مشخص شد که کل نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به محیط آبی طی دوره پرورشی 96-1395 در مزرعه شماره یک، به ترتیب برابر 1445.166، 277.920 و 9622.928 کیلوگرم بوده است. ضمن اینکه میزان ماهی تولید شده (که برابر با اختلاف بین میزان ماهی برداشت شده از قفس‌ها و میزان بچه‌ماهی ریخته شده به قفس‌ها است) برابر 22 تن بوده است و این بدان معناست که مزرعه یاد شده به ازای تولید هر تن ماهی، 65.689 کیلوگرم نیتروژن، 12.633 کیلوگرم فسفر و 437.406 کیلوگرم کربن به محیط آزاد کرده است. نرخ تبدیل غذایی (FCR^۱) نیز برابر 1.182 بوده است.

نتایج و بحث

با انجام محاسبه‌های مشابه برای دیگر مزارع، میزان کربن، نیتروژن و فسفر آزاد شده به محیط آبی به ازای هر تن ماهی تولید شده و همچنین نرخ تبدیل غذایی در مزارع مختلف، محاسبه شد که نتایج آن در جدول (3) ارائه شده است. بر پایه نتایج و با محاسبه یک میانگین وزنی که وزن‌ها در آن میزان تولید ماهی در هر مجموعه هستند مشخص شد که به ازای هر تن قزل‌آلای تولید شده در قفس‌های پرورش ماهی به طور میانگین 73.979 کیلوگرم نیتروژن، 13.893 کیلوگرم فسفر و 488.353 کیلوگرم کربن به محیط آزاد شده و میانگین نرخ تبدیل غذایی نیز 1.249 بوده است که این مقادیر برای مزرعه شماره سه، بیشینه و برای مزرعه شماره هشت، کمینه است. مقادیر میانگین انتشار آلاینده‌های یاد شده به ازای هر تن ماهی، کمتر از مقادیر محاسبه شده توسط هال و همکاران (1992) است که برای نیتروژن، فسفر و کربن به ترتیب برابر 102-95 کیلوگرم، 22.4-19.6 کیلوگرم و 952-878 کیلوگرم به ازای یک تن ماهی قزل‌آلای تولیدی، ارزیابی شده بود. البته در بررسی‌های آنان مقادیر نرخ تبدیل غذایی در دامنه 2.09-2.33 بود که به نسبت بالاتر از مقادیر محاسبه شده برای مزارع منطقه مورد بررسی این تحقیق است. در بررسی‌های بورئو و همکاران (2003) نیز نرخ تبدیل غذایی برای مزارع پرورش ماهی قزل‌آلا در قفس، کمتر و بین 1.29 تا 1.14

^۱ نرخ تبدیل غذایی (Feed Conversion Ratio) یا به اختصار، FCR، شاخصی از کارایی تغذیه است که عبارت است از نسبت کیلوگرم غذای مصرف شده برای تولید یک کیلوگرم ماهی.

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۲۱

بود و میزان نیتروژن و فسفر آزاد شده به محیط به ازای یک تن قزل‌آلای تولید شده به ترتیب در دامنه‌های 47-71 کیلوگرم و 7.5-15.2 کیلوگرم قرار داشت که در مجموع وضعیت بهتری را نسبت به مزارع مورد بررسی این تحقیق نشان می‌دهد. همچنین با بررسی انجام شده مشخص شد که نزدیک به همه نیتروژن (84.721-93.819 درصد)، فسفر (86.521-94.326 درصد) و کربن (86.053-94.410 درصد) ورودی به قفس‌ها از طریق غذای ماهی بوده و درصد اندک باقی‌مانده، مربوط به بچه‌ماهی بوده است. یافته اخیر همسو و هماهنگ با نتایج هال و همکاران (1992) است که بیان کردند نزدیک به همه‌ی نیتروژن (93-95 درصد)، فسفر (94-97 درصد) و کربن (94-96 درصد) ورودی به قفس از طریق غذای ماهی بوده است.

جدول (۳) نیتروژن، فسفر و کربن آزاد شده به محیط به ازای هر

تن ماهی تولید شده و نرخ تبدیل غذایی برای هر یک از مزارع پرورش قزل‌آلا در قفس

Table 3- Nitrogen, phosphorus and carbon loadings per ton of produced fish and feed conversion ratio (FCR) for rainbow trout cage farms

کربن (کیلوگرم بر تن ماهی تولیدی) Carbon (kg per ton of produced fish)	فسفر (کیلوگرم بر تن ماهی تولیدی) Phosphorus (kg per ton of produced fish)	نیتروژن (کیلوگرم بر تن ماهی تولیدی) Nitrogen (kg per ton of produced fish)	نرخ تبدیل غذایی Feed conversion ratio (FCR)	شماره مزرعه Farm number
437.406	12.633	65.689	1.182	مزرعه شماره 1 (Farm number 1)
609.985	16.794	94.938	1.279	مزرعه شماره 2 (Farm number 2)
2160.747	57.553	341.076	4	مزرعه شماره 3 (Farm number 3)
385.107	11.213	57.299	1.100	مزرعه شماره 4 (Farm number 4)
412.695	11.995	61.629	1.154	مزرعه شماره 5 (Farm number 5)
624.771	17.199	97.027	1.333	مزرعه شماره 6 (Farm number 6)
377.439	10.994	56.297	1.063	مزرعه شماره 7 (Farm number 7)
274.836	8.189	39.878	0.897	مزرعه شماره 8 (Farm number 8)
611.859	17.099	93.560	1.463	مزرعه شماره 9 (Farm number 9)
488.353	13.893	73.979	1.249	میانگین وزنی Weighted average

Reference: Study findings

منبع: یافته‌های تحقیق

نتایج محاسبه کارایی زیست‌محیطی با استفاده از رهیافت SBM-DEA در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس در جدول (۴) ارائه شده است. چنانکه مشخص است میانگین کارایی زیست‌محیطی محاسبه شده برای مزارع برابر 0.599 و اختلاف بین کمترین و بیشترین مقدار کارایی زیست‌محیطی محاسبه شده 0.858 است که نشان از اختلاف زیاد کارایی زیست‌محیطی بین مزارع مختلف دارد. بنا بر انتظار، مزرعه شماره سه که به ازای تولید یک تن ماهی بیشترین میزان آلاینده‌ها را به محیط منتشر کرده و بالاترین نرخ تبدیل غذایی را دارا بود، به لحاظ کارایی زیست‌محیطی، ناکاراترین مزرعه در منطقه مورد بررسی بوده است. در مقابل، مزرعه شماره هشت که نرخ تبدیل غذایی آن از همه مزارع منطقه مورد بررسی کمتر بوده و میزان کمتری آلاینده به محیط منتشر کرده بود، به کارایی زیست‌محیطی کامل دست یافته است.

جدول (۴) نتایج کارایی زیست‌محیطی برای مزارع در حالت بازده ثابت نسبت به مقیاس

Table 4- Environmental efficiency of farms under constant returns to scale

کارایی زیست‌محیطی Environmental efficiency	شماره مزرعه Farm number
0.648	مزرعه شماره 1 (Farm number 1)
0.488	مزرعه شماره 2 (Farm number 2)
0.142	مزرعه شماره 3 (Farm number 3)
0.730	مزرعه شماره 4 (Farm number 4)
0.683	مزرعه شماره 5 (Farm number 5)
0.476	مزرعه شماره 6 (Farm number 6)
0.745	مزرعه شماره 7 (Farm number 7)
1	مزرعه شماره 8 (Farm number 8)
0.479	مزرعه شماره 9 (Farm number 9)
0.599	میانگین Average

Reference: Study findings

منبع: یافته‌های تحقیق

نکته قابل توجه این است که دو حالت حدی در جدول‌های (۳) و (۴) مشهود است. اول، نرخ تبدیل غذایی، مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته و کارایی زیست‌محیطی محاسبه شده برای مزرعه شماره هشت و دوم، نرخ تبدیل غذایی، مقادیر آلاینده‌های انتشار یافته و کارایی زیست‌محیطی محاسبه

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۲۳

شده برای مزرعه شماره سه. بنا بر یافته‌ها، مزرعه شماره سه نرخ تبدیل غذایی بالایی داشته و به عبارت دیگر، برای تولید یک تن ماهی، غذای بیشتری استفاده کرده است. در مقابل، مزرعه شماره هشت توانسته است یک تن ماهی را با غذای بسیار کمتری نسبت به دیگر مزارع تولید کند و از این راه نه تنها میزان آلاینده‌های منتشر شده به بوم نظام را کاهش داده است، بلکه سود بیشتری نیز کسب کرده است چرا که تامین غذای ماهی یکی از هزینه‌های اصلی پرورش ماهی در قفس است. به دنبال بررسی علل موفقیت مزرعه شماره هشت مشخص شد که مدیریت مزرعه یاد شده به واسطه تجربه بالا در زمینه پرورش ماهی در قفس در کشوری دیگر و شرکت در دوره‌های آموزشی خارجی اطلاعات بسیار خوبی در مورد چگونگی مدیریت تغذیه، لنگربندی و چیدمان مناسب قفس‌ها دارد که متأسفانه بقیه قفس‌داران از آن بی‌اطلاع بوده و یا توجه اندکی به آن داشته‌اند. به عنوان مثال استفاده از غذای متناسب با شرایط جوی بسیار مهم است. مدیریت مزرعه شماره هشت بیان داشت که باید در شرایطی که دریا کمی موج است از غذای سنگین استفاده شود تا از هدر رفت آن جلوگیری شود. بدیهی است که توجه به این نکته افزون بر کاهش هزینه غذای ماهیان باعث خواهد شد تا نرخ تبدیل غذایی کاهش یافته و به دنبال آن، انتشار آلاینده‌ها نیز کاهش و کارایی زیست‌محیطی آن مجموعه بهبود یابد. عامل دیگر موفقیت مزرعه شماره هشت را می‌توان وجود استخر مجهز دانست که افزون بر پرورش توده اولیه، از آن برای نجات ماهیان از گرما در اواخر دوره برداشت و در نتیجه جلوگیری از هدر رفت زیاد استفاده شده است. از آنجا که ماهی قزل‌آلا یک ماهی سردابی است، حساسیت بالایی نسبت به تغییر پذیری‌های دما دارد به گونه‌ای که به گفته قفس‌داران دمای 20 درجه سلسیوس آستانه خطر تلقی شده و دمای بالاتر منجر به هدر رفت بالا می‌شود. اهمیت موضوع اخیر تا حدی است که یکی از قفس‌داران بیان داشته است که گرمای زیاد می‌تواند روزانه منجر به مرگ 4000 قطعه ماهی در هر قفس شود. کارکنان مزرعه شماره هشت در صورت بروز گرما در اواخر دوره پرورشی، اقدام به انتقال ماهیان از قفس‌ها به استخر کرده که این امر افزون بر جلوگیری از هدر رفت زیاد، منجر شده تا مدیریت مزرعه بتواند در زمان مناسب اقدام به فروش ماهیان تولیدی خود کند و از معامله با دلان که با آگاهی از شرایط به وجود آمده سعی در خرید ماهی با قیمت‌های اندک را دارند بی‌نیاز باشد.

حالت حدی دوم در میزان نرخ تبدیل غذایی و کارایی زیست‌محیطی، مربوط به مزرعه شماره سه بوده است که به طور مشخص دو عامل عمده منجر به ناکارایی تغذیه، افزایش نرخ تبدیل غذایی و ایجاد ناکارایی زیست‌محیطی در این مزرعه شده است. اول اینکه مدیریت مزرعه یاد شده بسیار دیر و در بهمن ماه اقدام به آغاز دوره کرده است در حالی که بیشتر قفس‌داران به محض رسیدن دمای آب به شرایط مطلوب (حدود 13-16 درجه سلسیوس) که به طور معمول در اواخر آبان رخ می‌دهد اقدام به آغاز دوره کرده‌اند. عامل دوم، برداشت دیر هنگام ماهی بوده است به گونه‌ای که کارکنان مزرعه در پایان خرداد ماه و پس از گرم شدن آب اقدام به برداشت ماهی کرده‌اند که در نتیجه آن حدود نصف ماهیان تلف شده و از هر قفس تنها 6 تن ماهی برداشت شده است که این میزان برابر با نصف میانگین ماهی برداشت شده و حدود 25 درصد از بیشترین ماهی برداشت شده توسط مزارع پرورش ماهی در قفس در استان مازندران است.

البته در کنار توجه به مدیریت تغذیه و استفاده از غذای مناسب، نباید به کیفیت توده اولیه بی توجه بود. اگر چه بیان شد نیتروژن، فسفر و کربن به طور عمده از طریق غذای ماهی به محیط آبی وارد می‌شود، اما استفاده از بچه‌ماهی کم کیفیت می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی زیادی به همراه داشته باشد. اهمیت موضوع اخیر به حدی بود که یکی از مزارع مورد بررسی به دلیل تهیه بچه‌ماهی از مرکزی نامعتبر در یکی از فصل‌های پرورشی قبلی، متحمل زیان مالی زیادی شده بود و ماهیان تولیدی مزرعه یاد شده افزایش وزن بسیار کمی در طول دوره داشتند. بدیهی است که با کاهش میزان تولید ماهی نرخ تبدیل غذایی افزایش خواهد یافت و در نتیجه آن، میزان انتشار آلاینده‌های یاد شده نیز زیاد شده و سبب ایجاد ناکارایی زیست‌محیطی خواهد شد.

در مواردی نیز ضعف مدیریتی و ناکافی بودن دانش قفس‌داران منجر به محدود شدن دستیابی آنان به عملکرد زیست‌محیطی مناسب‌تر شده است. به عنوان مثال به رغم وجود فناوری‌های مناسب برای جلوگیری از رشد جلبک‌ها و صدف‌ها در اطراف و روی توری قفس، هیچ فناوری خاصی توسط قفس‌داران به کار گرفته نشده است که این امر موجب ایجاد پدیده یوتریفیکاسیون و افزایش نرخ مرگ و میر ماهیان خواهد شد.

نظر به اهمیت توجه به پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از انتشار بیش از حد آلاینده‌ها، در ادامه با بررسی مقادیر مازاد نهاده‌ها که از مدل SBM-DEA به دست آمده است، به تعیین ظرفیت بالقوه

ارزیابی کارایی زیست محیطی... ۱۲۵

کاهش آلاینده‌ها در هر یک از مزارع پرداخته شد. بنا بر یافته‌ها این امکان وجود دارد که مزارع مورد بررسی مقادیر انتشار نیتروژن، فسفر و کربن را به طور میانگین و به ترتیب به اندازه 49.594 درصد، 45.110 درصد و 47.463 درصد کاهش دهند و در عین حال، به سطوح تولید کنونی خود دست یابند.

جدول (۵) ظرفیت بالقوه کاهش در میزان انتشار آلاینده‌ها (با فرض ثابت بودن سطح تولید و فناوری)
Table 5- Possible reduction in effluent loadings (assuming a constant level of production and technology)

کربن (درصد) % Carbon	فسفر (درصد) % Phosphorus	نیتروژن (درصد) % Nitrogen	شماره مزرعه Farm number
37.167	35.175	39.293	مزرعه شماره 1 (Farm number 1)
54.944	51.239	57.996	مزرعه شماره 2 (Farm number 2)
87.281	85.771	88.308	مزرعه شماره 3 (Farm number 3)
28.634	26.966	30.403	مزرعه شماره 4 (Farm number 4)
33.405	31.726	35.298	مزرعه شماره 5 (Farm number 5)
56.010	52.385	58.900	مزرعه شماره 6 (Farm number 6)
27.184	25.512	29.165	مزرعه شماره 7 (Farm number 7)
-	-	-	مزرعه شماره 8 (Farm number 8)
55.081	52.107	57.395	مزرعه شماره 9 (Farm number 9)
47.463	45.110	49.594	میانگین Average

Reference: Study findings

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با وجود برتری‌های فراوان نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی، این نظام می‌تواند تناقض بالایی با بوم نظام دریایی داشته و پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجهی به همراه داشته باشد. بنابراین توسعه این فعالیت همواره محل بحث بوده و نگرانی‌هایی را ایجاد کرده است. با این وجود، اندازه‌گیری اثرات جانبی و کارایی زیست‌محیطی پرورش ماهی در قفس به همراه ارائه راهکارهایی برای استفاده بهینه از نهاده‌ها و به ویژه غذای ماهیان، می‌تواند به عنوان ابزاری موثر برای کاهش پیامدهای جانبی این نظام به کار گرفته شود. از این رو این بررسی با هدف اندازه‌گیری کارایی

زیست‌محیطی نظام پرورش ماهی در قفس و ارائه پیشنهادهایی برای کاهش انتشار آلاینده‌ها ناشی از این نظام در سطح استان مازندران انجام شده است. به منظور دستیابی به هدف‌های تحقیق، پس از گردآوری داده‌های مورد نیاز، بر مبنای روشی نامستقیم به محاسبه میزان انتشار نیتروژن، فسفر و کربن به عنوان مهم‌ترین آلاینده‌های ناشی از نظام پرورش ماهی در قفس‌های دریایی پرداخته شد و آنگاه بر مبنای رهیافت SBM-DEA مقادیر کارایی زیست‌محیطی هر یک از مزارع، مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌های تحقیق گویای وجود ناکارایی زیست‌محیطی قابل توجه در برخی مزارع است به گونه‌ای که با بررسی مقادیر مازاد نهاده‌های زیان‌آور زیست‌محیطی مشخص شد که مزارع منطقه مورد بررسی قادر به کاهش قابل ملاحظه در میزان انتشار آلاینده‌ها و در عین حال، دستیابی به سطوح تولید کنونی خود هستند. در مجموع، شواهد در منطقه گویای آن است که موانعی همچون عدم توجه به انتخاب زمان مناسب آغاز و پایان دوره، در اختیار نداشتن استخر پشتیبان، عدم مدیریت صحیح تغذیه، استفاده از غذای کم کیفیت، استفاده از بچه‌ماهی کم کیفیت، لنگربندی و چیدمان نامناسب قفس‌ها، ضعف دانش فنی قفس‌داران و عدم استقبال آنان از شیوه‌های نوین پرورش ماهی در قفس‌های دریایی نرخ تبدیل غذایی را افزایش داده و موجب انتشار بیش از حد آلاینده‌ها به بوم نظام دریایی و کاهش کارایی زیست‌محیطی می‌شود که افزون بر افزایش هزینه عملیاتی تولید ماهی، بروز نارسایی‌ها و زیان‌های زیست‌محیطی را در پی خواهد داشت. بر این مبنا و با توجه به نو ظهور بودن پرورش ماهی در قفس در ایران، تاکید بر این است که با اعمال سیاست‌های تشویقی، مزارع موفق تجربیات خود را به دیگر مزارع منتقل کنند. این امر می‌تواند با برگزاری دوره‌های آموزشی با به کارگیری مدرسان کارآموده و قفس‌داران موفق عملی شود. در نهایت می‌توان بیان داشت که عامل‌های موفقیت و عدم موفقیت مزارع در دو دسته کلی زیرساخت و مدیریت قرار دارد. لذا ضرورت دارد سرمایه‌گذاری‌های لازم توسط دستگاه‌های ذیربط و مزرعه‌داران در هر دو زمینه یاد شده به منظور دستیابی به کارایی زیست‌محیطی بالاتر همگام با هم صورت گیرد.

منابع

- Aşır, U. and Pulatsü, S. (2008) Estimation of the Nitrogen-Phosphorus Load Caused by Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss Walbaum, 1792*) Cage-Culture Farms in Kesikköprü Dam Lake: A Comparison of Pelleted and Extruded Feed. Retrieved October, 25, 2018, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Available at www.fao.org.
- Ballester-Moltó, M., Sanchez-Jerez, P., Cerezo Valverde, J. and Aguado-Giménez, F. (2017) Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed?. *Marine Pollution Bulletin* 119(1): 23-30.
- Bureau, D.P., Gunther, S.J. and Cho, C.Y. (2003) Chemical Composition and Preliminary Theoretical Estimates of Waste Outputs of Rainbow Trout Reared in Commercial Cage Culture Operations in Ontario. *North American Journal of Aquaculture* 65: 33-38.
- Cecchini, L., Venanzi, S., Pierri, A. and Chiorri, M. (2018) Environmental efficiency analysis and estimation of CO2 abatement costs in dairy cattle farms in Umbria (Italy): A SBM-DEA model with undesirable output. *Journal of Cleaner Production* 197: 895-907.
- Chen, J., Guang, C., Xu, H., Chen, Z., Xu, P., Yan, X., Wang, Y., and Liu, J. (2007) A review of cage and pen aquaculture: China. In M. Halwart, D. Soto, and J.R. Arthur (eds). Cage aquaculture – regional reviews and global overview. *Fisheries technical paper* 498, FAO, Rome.
- Cloern, J.E. (2001) Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series* 210: 223–253.
- Coelli, T.J. (2006) Formulation of technical, economic and environmental efficiency measures that are consistent with the materials balance condition. *Institute for agricultural and fisheries research, social unit*, March, 2006.
- Croomey, C.J., Nickell, T.D. and Black, K.D. (2000) DEPOMOD— modeling the deposition and biological effects of waste solids from marine cage farms. *Aquaculture* 214: 211–239.
- Food and Agriculture Organization. (2017a) The state of food security and nutrition in the world. Available at www.fao.org/ag/ca/.
- Food and Agriculture Organization. (2017b) The future of food and agriculture; Trends and challenges. Available at www.fao.org/ag/ca/.
- Food and Agriculture Organization. (2018) FAO aquaculture newsletter. Available at www.fao.org/ag/ca/.

- Gondwe, J., Guildford, S.J. and Hecky, R.E. (2011) Carbon, nitrogen and phosphorus loadings from tilapia fish cages in Lake Malawi and factors influencing their magnitude. *Journal of Great Lakes Research* 37:93-101.
- Hall, P.O.J., Anderson, L.G., Holby, O., Kollberg, S. and Samuelsson, M.O. (1990) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. I. Carbon. *Marine Ecology Progress Series* 61: 61–73.
- Hall, P.O.J., Holby, O., Kollberg, S. and Samuelsson, M.O. (1992) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. IV. Nitrogen. *Marine Ecology Progress Series* 89: 81–91.
- Holby, O. and Hall, P.O.J. (1991) Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. Phosphorus. *Marine Ecology Progress Series* 70: 263–272.
- Iliyasu, A., Mohamed, Z.A. and Terano, R. (2016a) Comparative analysis of technical efficiency for different production culture systems and species of freshwater aquaculture in Peninsular Malaysia. *Aquaculture Reports* 3: 51-57.
- Iran fisheries organization. (2017) Statistical yearbook of Iran fisheries organization. Available at www.shilat.com.
- Islam, M.S. and Tanaka, M. (2004) Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin* 48 (7-8): 624–649.
- Islam, S.M. (2005) Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development. *Marine Pollution Bulletin* 50: 48-61.
- Izadi, A., Seyedi Ghomi, M.K. and Haghghi, S. (2016) Investment opportunities in marine fish cage culture. Iran Fisheries Organization.
- Jan, P., Dux, D., Lips, M., Alig, M. and Dumondel, M. (2012) On the link between economic and environmental performance of Swiss dairy farms of the alpine area. *International Journal of Life Cycle Assess.* 17: 706e719.
- Kareem, R. O., Idowu, E. O., Ayinde, I. A. and Badmus, M. A. (2012) Economic efficiency of fresh water artisanal fisheries in Ijebu Waterside of Ogun State, Nigeria. *Global Journal of Science Frontier Research* 12: 30-43.
- Kelly, L.A., Stellwagen, J. and Bergheim, A. (1996) Waste loadings from a freshwater Atlantic salmon farm in Scotland. *Water Resources Bulletin* 32: 1017–1025.
- Kouser, S., Mushtaq, K. and Abedullah. (2010) Environmental Efficiency Analysis of Basmati Rice Production in Punjab, Pakistan: Implications for Sustainable Agricultural Development. *The Pakistan Development Review* 49(1): 57-72.
- Kuhn, L., Balezentis, T., Hou, L. and Wang, D. (2018) Technical and environmental efficiency of livestock farms in China: A slacks-based DEA approach. *China Economic Review*, in press.

ارزیابی کارایی زیست محیطی...۱۲۹

- Lie, X.G., Yang, J. and Liu, X.J. (2013) Analysis of Beijing's environmental efficiency and related factors using a DEA model that considers undesirable outputs. *Mathematical and Computer Modeling* 58: 956–960.
- Lozano, S., Iribarren, D., Moreira, M.T. and Feijoo G. (2009) The link between operational efficiency and environmental impacts. A joint application of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Science of the Total Environment* 407:1744–1754.
- Lozano, S., Iribarren, D., Moreira, M.T. and Feijoo, G. (2010) Environmental impact efficiency in mussel cultivation. *Resources, Conservation and Recycling* 54: 1269-1277.
- Luo, Z., Hu, S. and Chen, D. (2018) The trends of aquacultural nitrogen budget and its environmental implications in China. *Scientific Reports* 8: 10877.
- Masuda, K. (2016) Measuring eco-efficiency of wheat production in Japan: a combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production* 126: 373-381.
- Mbowa, S., Odokonyero, T., and Munyaho, A.T. (2017) Harnessing floating cage technology to increase fish production in Uganda. Economy policy research centre.
- McIver, R., Milewski, I., Loucks, R. and Smith, R. (2018) Estimating nitrogen loading and far-field dispersal potential from background sources and coastal finfish aquaculture: A simple framework and case study in Atlantic Canada. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 205: 46-57.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Dalgaard, T., Knudsen, M.T., Nguyen, T.L.T., Borek, R. and Hermansen, J.E. (2015) Joint Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. *Journal of Cleaner Production* 106, 521-532.
- Nazerani, B. (2016) Investigation of technical and environmental efficiency of fish farms in Khuzestan province. Master's thesis of Agricultural Economics. Faculty of Economics and Agricultural Development, University of Tehran.
- Pearson, T.H. and Black, K.D. (2001) The environmental impacts of marine fish cage culture. In: Black, K.D. (Ed.), *Environmental Impacts of Aquaculture*. Sheffield Academic Press, pp. 1–30.
- Persson, G. (1986) Kassodling av regnbøge; Narsaltemissioner och miljö vid tre odlingslagen langs Smalandskusten. Report 3215. *Nat. Swed. Envlron Prot. Bd., Solna*, p. 1-42.
- Picazo-Tadeo, A. J., Gómez-Limón, J. A. and Reig-Martínez, E. (2011) Assessing farming eco-efficiency: a data envelopment analysis approach. *Journal of environmental management* 92(4): 1154-1164.

- Price, C., Black, K., Hargrave, B.T., A. and Morris Jr, J. (2015) Marine cage culture and the environment: effects on water quality and primary production. *Aquaculture Environment Interactions* 6:151-174.
- Price, S.C. and Morris, J. (2013) Marine Cage Culture and the Environment, first ed. *National oceanic and atmospheric administration*, United States.
- Reinhard, R., Lovell, C.A.K. and Thijssen, G.J. (2000) Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *European Journal of Operational Research* 121: 287-303.
- Tone, K. (2001) A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 130: 498e509.
- Tone, K. (2011) Slacks-based measure of efficiency. In: Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J. (Eds.), *Handbook on Data Envelopment Analysis*, second ed. *Springer*, New York, pp. 195e209.
- Trang, N.T., Khai, H.V., Tu, H., and Hong, N.B. (2018) Environmental efficiency of transformed farming systems: a case study of change from sugarcane to shrimp in the vietnamese mekong delta. *Forestry Research and Engineering: International Journal* 2(2): 54-60.
- Vázquez-Rowe, I., Iribarren, D., Moreira, M.T. and Feijoo, G. (2010) Combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis as a methodological approach for the assessment of fisheries. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 15: 272-283.
- Verdegem, M.C.J. (2013) Nutrient discharge from aquaculture operations in function of system design and production environment. *Reviews in Aquaculture* 5: 158–171.
- World Business Council for Sustainable Development. (1996) Available at www.wbcsd.org.
- Zhang, T. and Xue, B.D. (2005) Environmental Efficiency Analysis of China's Vegetable Production. *Biomedical and Environmental Sciences* 18: 21-30.
- Zhou, Y.-h., Zhang, X.-h., Tian, X., Geng, X.-h., Zhang, P., Yan, B.-j. (2015) Technical and environmental efficiency of hog production in China – A stochastic frontier production function analysis. *Journal of Integrative Agriculture* 14: 1069-1080.



Environmental Efficiency Analysis of Cage Culture Fish Farming System; the Case of Mazandaran Province
Saeed Yazdani ,Mohammadreza Ramezani ,Hamed Rafiee¹

Received: 15 Dec.2018

Accepted:23 April.2019

Abstract

The present study was conducted to assess the environmental efficiency of cage culture fish farming system and to make suggestions for reducing the pollutants emissions into the aquatic ecosystem in Mazandaran province. In the production cycle of 2017-18, there were 9 active fish cage farms which the pollutants loadings from each farm were calculated based on an indirect method. According to the results, per ton of produced fish, an average of 73.979 kg of nitrogen, 13.893 kg of phosphorus and 488.353 kg of carbon were released into the environment. Furthermore, feed conversion ratio (FCR = feed supplied/ body weight gained) varied between 0.897-4 with an average of 1.249 which indicates severe inefficiencies of feeding. Subsequently, the environmental efficiency scores of farms were evaluated based on an SBM-DEA model. The average environmental efficiency of farms was 0.599, indicating that there is a high potential for reducing pollutants emissions and improving environmental efficiency. Based on study findings, weak technical knowledge of farmers, especially in choosing the right time for start and the end of production cycles, and feeding mismanagements will lead to an increase in the amount of pollutants released into the aquatic environment. Thus, it is suggested that successful farms be encouraged by incentive policies to transfer their experiences to other farms in order to improve the environmental efficiency of cage culture system. This can be done through training courses using well trained instructors and successful farmers.

JEL Classification: Q10, Q12, C14

Keywords: Fish Cage Culture, North of Iran, Pollution, Environmental Efficiency, SBM-DEA

¹ Respectively: Professor, M.Sc. student &Assistant professor of agricultural economics, University of Tehran
Email: Syazdani@ut.ac.ir