

Investigating and Predicting the Amount of Environmental Impact in Breeding Warm Water Fish in Guilan Province using Comparative Neuro-Fuzzy Inductive Inference System

ASADOLLAH AKRAM^{1*}, BEHZAD ELHAMI², MAJID KHANALI³

1. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj
2. Ph.D. Student of Agricultural Mechanization, Department of Agricultural Machinery Engineering, Ramin Agriculture and Natural Resources University of Ahvaz
3. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran, Karaj

(Received: Apr. 23, 2018- Revised: Feb. 29, 2019- Accepted: Apr. 29, 2019)

ABSTRACT

In recent years, life cycle assessment (LCA) approach is turned to be a useful tool for investigating and determining the environmental impacts of agricultural products and food industry, so that in most countries, it is used as a tool for decision-making in agricultural production planning. Considering the fish as an important part of the human protein required, an investigation was carried out on the environmental indicators (impact categories) in the system of warm water production in Guilan province. Data related to the production value of inputs (indirect emissions) and their's consumption (direct emissions) in ponds were collected using sampled questionnaire and Ecoinvent database. The results of normalization showed that marine aquatic ecotoxicity (MAET), acidification (AC) and Freshwater Aquatic Ecotoxicity (FAET) have the highest amount of environmental pollutants as 5.17×10^{-7} , 1.95×10^{-7} and 0.98×10^{-7} , respectively. Emissions resulting from the production of electricity (direct emissions) and pollutants released from the use of electricity, chemical fertilizers and manure (indirect emissions) have the highest share of pollution on these indicators. Also, the comparison of the results of ANFIS design methods showed that the fuzzy C-means method with 8 clusters, with higher accuracy and less error, was able to predict the values of environmental impact categories.

Keywords: Life Cycle Assessment, fuzzy C-means, Final Environmental Index, Marine Aquatic Ecotoxicity.

بررسی و پیش‌بینی میزان بخش‌های اثر زیست‌محیطی در پرورش ماهیان گرم‌آبی استان گیلان با استفاده از روش سامانه‌ی استنتاج عصبی-فازی تطبیقی

اسداله اکرم^{۱*}، بهزاد الهامی^۲، مجید خانعلی^۳

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

^۲دانشجوی دکتری مکانیزاسیون کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز.

^۳دانشیار گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۲/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۲/۹)

چکیده

در سال‌های اخیر ارزیابی چرخه حیات به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان اثرات زیست‌محیطی در تولیدات کشاورزی و صنایع غذایی تبدیل گردیده است؛ به طوری که در بسیاری از کشورها از آن به عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی تولیدات کشاورزی استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن ماهی به عنوان تأمین‌کننده‌ی بخش مهمی از پروتئین مورد نیاز بشر، پژوهشی بر روی بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی (بخش‌های اثر) در سامانه‌ی تولید ماهیان گرم‌آبی در استان گیلان انجام گرفت. اطلاعات مربوط به میزان تولید نهاده‌های مصرفی (انتشارات غیر مستقیم) و مصرف آن‌ها در استخرها (انتشارات مستقیم) از طریق ۵۷ پرسش‌نامه‌ی نمونه‌گیری شده و پایگاه داده‌ای اکواینونت جمع‌آوری گردید. نتایج نرمال‌سازی بخش‌های اثر نشان داد که شاخص‌های مسمومیت آب‌های آزاد، اسیدی شدن و مسمومیت آب‌های سطحی بیشترین مقادیر آلاینده‌های زیست‌محیطی را به ترتیب با مقادیر $5/17 \times 10^{-7}$ ، $1/95 \times 10^{-7}$ ، $0/98 \times 10^{-7}$ به خود اختصاص داده‌اند. انتشارات ناشی از تولید نهاده‌ی الکتریسیته (انتشارات غیر مستقیم) و آلاینده‌های منتشر شده از مصرف سه نهاده‌ی الکتریسیته، کودهای شیمیایی و کود دامی (انتشارات مستقیم) بیشترین سهم از میزان آلاینده‌ی را بر روی شاخص‌های مذکور داشتند. همچنین مقایسه‌ی نتایج روش‌های طراحی انفیس نشان داد که روش خوشه‌بندی فازی ۸ خوشه‌ای نسبت به روش‌های جداسازی شبکه‌ای و خوشه‌بندی کاهشی، با دقت بالاتر و خطای کمتری قادر به پیش‌بینی مقادیر بخش‌های اثر زیست‌محیطی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه‌ی حیات، خوشه‌بندی فازی، شاخص نهایی زیست‌محیطی، مسمومیت آب‌های آزاد.

مقدمه

نقش آبزیان در تغذیه‌ی انسان از گذشته‌های دور کاملاً مورد توجه بوده است و این نیاز با توجه به افزایش روز افزون جمعیت جهان و روز به روز چشمگیرتر می‌گردد. ماهی که حدود ۲۰ درصد مجموع پروتئین حیوانی مورد نیاز بشر را تأمین می‌کند، کیفیت بالایی از لحاظ دارا بودن پروتئین، چربی، فراوانی انواع مواد معدنی و ویتامین‌ها دارد (Salehi, 1999). پروتئین موجود در ماهی بر خلاف پروتئین‌های گیاهی سرشار از تمامی اسیدآمین‌های لازم به مقدار و نسبت کافی می‌باشد (Ahmed et al., 2014). بر اساس آمار منتشر شده از فائو کل تولید آبی‌پروری در سال ۲۰۱۴، برابر با ۷۵/۸ میلیون تن بوده که از این مقدار، ۲۸/۷ میلیون تن

(۳۸ درصد) در آب‌های دریایی (شور) و ۴۷/۱ میلیون تن (۶۲ درصد) در آب‌های داخلی (شیرین) پرورش داده شده است (FAO, 2014). در ایران و در سال ۱۳۹۶ بیش از ۱۹۸۶۲۳ تن ماهی گرم‌آبی و ۱۶۷۸۳۰ تن ماهی سردآبی در کشور تولید شده است که از میان ماهیان گرم‌آبی، ۹۰ درصد از میزان تولید در چهار استان خوزستان (۶۱۸۵۶ تن)، مازندران (۶۰۱۱ تن)، گیلان (۴۳۰۱۵ تن) و گلستان (۱۲۸۵۲ تن) بوده است (Anonymous, 2017).

در دهه‌های اخیر، آگاهی زیست‌محیطی افراد و تقاضا برای کالاهای دوستدار محیط زیست باعث شده است تا دانشمندان حوزه‌ی کشاورزی توجه بیشتری به تولید پاک باشند

پرخاکنند. بر اساس نتایج به‌دست آمده به ازای یک تن از پرورش ماهیان مورد مطالعه، میزان آلاینده‌های مربوط به گرمایش جهانی و اسیدی شدن برای پهن ماهیان دم دراز (به ترتیب ۶۰۱۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن و ۴۸ کیلوگرم معادل سولفات)، و میزان آلاینده‌های مربوط به شاخص اختناق دریاچه‌ای^۶ (EU) برای ماهیان خاردار (۱۰۹ کیلوگرم معادل فسفات) به میزان بیشتری گزارش گردید. همچنین در برزیل به ارزیابی چرخه حیات ماهی تامباکو^۷ (*Colossoma macropomum*) و میگوی آمازونی (*Macrobrachium amazonicum*) در چهار روش پرورشی شامل؛ ماهی در آکواریوم، میگو در حوضچه، ترکیب ماهی - میگو در حوضچه و ترکیب ماهی - میگو در آکواریوم پرداخته شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از مطالعه مذکور، سامانه‌های پرورش میگو در حوضچه و ترکیب ماهی - میگو در آکواریوم بیشترین بار زیست‌محیطی را بر روی شاخص‌های مورد مطالعه اعمال نمودند. همچنین بیشترین آلاینده‌ی منتشر شده در همه‌ی سامانه‌ها، مربوط به انتشارات مستقیم ناشی از مصرف نهاده‌ها (الکتریسیته، آب، سوخت، غذا و تجهیزات) گزارش گردید (Medeiros et al., 2017). در مطالعه‌ی دیگری که توسط Ewoukem et al., (2011) به منظور مقایسه‌ی اثرات زیست‌محیطی چهار روش مختلف تغذیه‌ای در پرورش ماهیان قزل رنگین کمان، شامل؛ سبوس گندم، کود خاکی، سبوس گندم - کود خاکی و کود خاکی - بقایای گیاهی صورت گرفت، در سامانه‌ی تغذیه‌ای سبوس گندم - کود خاکی بیشترین بار محیطی به ازای یک تن ماهی پرورشی بر روی شاخص‌های پتانسیل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای به ترتیب با مقادیر ۵۱۰۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، ۲۲ کیلوگرم معادل سولفات و ۹۰۸ کیلوگرم معادل فسفات اعمال گردید. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین آلاینده‌های منتشر شده در شاخص اختناق دریاچه‌ای ناشی از انتشارات مستقیم شکل گرفته از مصرف نهاده‌ها، و در شاخص‌های پتانسیل گرمایش جهانی و اسیدی شدن ناشی از میزان تولید کود خاکی می‌باشد.

سامانه استنتاج عصبی - فازی تطبیقی^۸ (ANFIS)، از کارآمدترین روش‌های محاسباتی نسبت به سایر تکنیک‌های تحلیلی و آماری می‌باشند (Naderloo et al., 2012). این روش ترکیبی از دو سیستم شبکه‌ی عصبی مصنوعی^۹ (ANN) و منطق

(Khoshnevisan et al., 2015a). در حال حاضر محیط زیست یکی از مؤلفه‌های اصلی در سیاست‌های کلان جهانی بوده و بسیاری از مؤلفه‌های دیگر را تحت تأثیر قرار داده است. به همین دلیل مهم‌ترین عامل و پیشنهادی از فعالیت‌ها در سطح کلان، سازگاری با محیط زیست است. همچنین بررسی اثرات زیست‌محیطی سامانه‌های تولیدی سبب دستیابی به اهداف توسعه‌ی پایدار می‌گردد که در واقع این امر از طریق ارزیابی چرخه حیات^۱ (LCA) محقق می‌شود. ارزیابی چرخه حیات، امروزه به عنوان روشی استاندارد و بین‌المللی که قادر است ورودی‌ها و انتشارات خروجی از یک سامانه‌ی تولیدی را متناسب با چرخه حیات محصولات یا فرآیندها مورد تجزیه و تحلیل قرار دهد، در کانون توجه متخصصان زیست‌محیطی قرار گرفته است (Khoshnevisan et al., 2013a). بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، ارزیابی چرخه حیات روشی است که در آن کلیه‌ی اثرات زیست-محیطی مرتبط با یک محصول، در کل چرخه‌ی حیات آن از مرحله‌ی استخراج و یا جمع‌آوری مواد خام تا تولید، مصرف، بازیافت، ضایعات حاصل و در نهایت دفع آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرند (ISO, 2006).

علیرغم عدم انجام مطالعه‌ای در رابطه با بررسی بخش‌های اثرات زیست‌محیطی در پرورش آبزیان در ایران، مطالعات زیادی بر روی میزان انتشارات زیست‌محیطی ناشی از پرورش آبزیان در جهان صورت گرفته است (Forchino et al., 2017; D' Obrcastel et al., 2009; Chen et al., 2015; Phong et al., 2011).

Thrane (2006) به بررسی اثرات زیست‌محیطی ماهیان دانمارکی پرداخت. در این مطالعه که برای ۹۶ بهره‌بردار صورت گرفت، مقادیر بخش‌های اثر^۲ شامل؛ پتانسیل گرمایش جهانی^۳ (GWP)، نقصان لایه‌ی اوزون^۴ (OLD)، و اسیدی شدن^۵ (AC) به ازای یک تن ماهی پرورشی به ترتیب برابر با ۸۵۶/۲۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن، ۰/۰۰۰۰۱ کیلوگرم معادل کلرو فلئوئورو کربن و ۰/۱۵۶ کیلوگرم معادل سولفور دی‌اکسید محاسبه گردید که انتشارات ناشی از مصرف نهاده‌ها در تولید بچه ماهی در هر سه شاخص بیشترین آلاینده‌ی را داشته‌است. Aubin et al., (2009) به مقایسه‌ی میزان انتشارات ناشی از پرورش سه نوع ماهی شامل؛ قزل رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) موجود در استخرهای آب شیرین در فرانسه، پهن دم دراز (*Dicentrarchus labrax*) در سواحل فرانسه و نوع خاردار

7. Tambaqui

8. Adaptive neuro-fuzzy inference system

9. Artificial Neural Networks

1. Life Cycle Assessment

2. Impact categories

3. Global Warming Potential

4. Ozone Layer Depletion

5. Acidification

6. Eutrophication

بر هکتار حاصل گردید؛ در حالی که در بهترین مدل ANN، مدلی با آرایش ۱-۶-۸ دارای مقادیر R^2 و RMSE به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۱۹۷/۵۲ واحد بر هکتار گزارش گردید. همچنین *Khoshnevisan et al.*, (2013b) در مدل‌سازی شاخص-های زیست‌محیطی توت فرنگی گلخانه‌ای و مزرعه‌ای با استفاده از دو تکنیک ANN و ANFIS گزارش نمودند که مدل ANFIS با بهره‌گیری از قوانین فازی قادر به پیش‌بینی بهتر با حداکثر دقت و حداقل خطا می‌باشد.

مرور منابع مرتبط نشان داد که با وجود گستردگی تحقیقات در زمینه‌ی بخش‌های اثر زیست‌محیطی و مدل‌سازی آن‌ها در کشاورزی و واحدهای بهره‌برداری ایران، مطالعه‌ای در مورد اثرات زیست‌محیطی و مدل‌سازی انتشار آلاینده‌های مرتبط با پرورش ماهیان گرم‌آبی، انجام نگردیده است. از طرف دیگر با توجه به این مهم که استان گیلان سومین تولیدکننده‌ی ماهیان گرم‌آبی در سطح کشوری بوده و اقتصاد عمده‌ی شهرهای مورد مطالعه به پرورش این محصول وابسته می‌باشد، انجام این مطالعه ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه، بررسی و پیش‌بینی شاخص‌های زیست‌محیطی در مزارع پرورش ماهی استان گیلان با بهره‌گیری از روش ANFIS، به منظور ارائه‌ی مدلی به تولیدکنندگان جهت تخمین اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها و همچنین ارائه مدلی به مدیران برای برنامه‌ریزی‌های کلان در راستای کاهش اثرات زیست‌محیطی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آماده‌سازی استخرهای پرورش ماهیان گرم‌آبی

آماده‌سازی استخرهای پرورش ماهیان گرم‌آبی را می‌توان به چهار مرحله‌ی خشک کردن استخر، آهک زدن، شخم زدن و کشت گیاهان سبز تقسیم نمود. عملیات خشک کردن و آهک زدن باعث می‌شود که تخم اغلب حشرات و انگل‌ها از بین بروند. پس از خشک شدن و آهک‌پاشی استخر، جهت باروری بیشتر آن در دوره‌ی پرورش بعدی و جهت زیر و رو کردن خاک و تهویه‌ی آن، کف استخر باید شخم زده شود. در برخی از استخرها، گیاهان خانواده‌ی گندمیان، یونجه و شبدر کاشته می‌شوند که قبل از آبیاری باید بریده شوند. این کار سبب باروری استخر و کاهش نفوذپذیری کف آن‌ها می‌شوند.

فازی^۱ می‌باشد و توانایی بسیار زیادی در رفع ابهامات داده‌ها دارد (*Khoshnevisan et al.*, 2014). تنها تفاوت ANFIS با سامانه‌ی فازی، کاربرد یکی از سه الگوریتم پس انتشار^۲ خطا (BP)، حداقل مربعات خطا^۳ و یا الگوریتم هیبریدی (آمیزی از الگوریتم پس انتشار خطا و حداقل مربعات خطا) جهت حداقل‌سازی خطاهای موجود در این شبکه می‌باشد (*Shamshirband et al.*, 2015). روش ANFIS بدون لحاظ نمودن دانش قبلی و فرضیه‌های اولیه، از روابط بین پارامترهای مورد مطالعه، قادر به مدل‌سازی رابطه‌ی بین مجموعه‌ی ورودی‌ها و خروجی‌ها برای پیش‌بینی خروجی متناظر با ورودی دلخواه می‌باشد (*Pahlavan et al.*, 2012). این سامانه مقادیر مناسبی از داده‌ها را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و با توجه به مشخصات این داده‌ها، آن‌ها را بر توابع عضویت^۴ (MF) تعیین شده ورودی می‌نگارد. سپس با توجه به خروجی این توابع مجموعه‌ای از قواعد اگر-آنگاه به صورت فازی ایجاد می‌نماید. این قواعد مجموعه‌ای از مشخصات خروجی را با توجه به توابع عضویت خروجی تعیین شده برای آن‌ها ارائه می‌دهند (*Rezaei et al.*, 2012).

مطالعه‌ای بر روی مدل‌سازی بخش‌های اثر زیست‌محیطی در پرورش آبیان صورت نگرفته است؛ *Khoshnevisan et al.*, (2014) به مدل‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی در کشت محصولات گلخانه‌ای خیار و گوجه فرنگی با استفاده از تکنیک ANFIS در استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد که تمامی بخش‌های اثر محاسبه شده در کشت خیار نسبت به گوجه فرنگی مقادیر بالاتری را به خود اختصاص دادند. همچنین در بهترین توپولوژی ارائه شده، ANFIS می‌تواند اثرات زیست‌محیطی در محصول خیار را با خطای کمتری نسبت به اثرات زیست‌محیطی گوجه فرنگی پیش‌بینی کند. (*Mousavi-Avval et al.*, 2017) به مدل‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی در کشت محصول کلزا در استان مازندران با استفاده از دو تکنیک ANN و ANFIS پرداختند. ورودی‌های مدل ANFIS جهت مدل‌سازی شاخص‌های زیست‌محیطی شامل نهاده‌های نیروی کارگری، تجهیزات و ماشین‌ها، سوخت دیزل، کود نیتروژن، سایر کودهای شیمیایی، کود حیوانی، سموم شیمیایی و بذر بودند. نتایج نشان داد که تکنیک ANFIS نسبت به تکنیک ANN با دقت بالاتری شاخص نهایی زیست‌محیطی^۵ را مدل می‌کند. در بهترین توپولوژی ارائه شده با هفت ANFIS، مقادیر ضریب تبیین^۶ (R^2) و جذر میانگین مربعات خطا^۷ (RMSE) به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۱۵۲/۶۳ واحد

5. Final Environmental Index
6. Coefficient of determination
7. Root Mean Square Error

1. Fuzzy Logic
2. Back Propagation
3. Least square error
4. Membership Function

نمونه‌برداری و جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات مورد استفاده در این پژوهش به روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، توسط پرسش‌نامه در سال ۱۳۹۳ از شهرستان‌های رشت، صومعه‌سرا، شفت و فومن که قطب‌های پرورش‌دهنده‌ی ماهیان گرم‌آبی در استان گیلان می‌باشند، جمع‌آوری گردید. پرسش‌نامه‌ها شامل اطلاعاتی مربوط به پرورش‌دهنده (منطقه، سواد، تجربه، مساحت استخر پرورش ماهی و غیره)، نوع، میزان و روش مصرف نهاده‌ها، دوره‌ی غذایی به ماهی، نوع و ماشین حمل و نقل نهاده‌ها و ستانده، تعداد کارگران مورد استفاده در هر بخش (غذایی، کوددهی، ریختن بچه ماهی و غیره) و غیره را در بر می‌گرفت. برای تکمیل اطلاعات پرسش‌نامه‌ها بر این اساس، از رابطه‌ی آماری پیشنهاد شده توسط رابطه‌ی کوکران برای تعیین حجم نمونه استفاده شد (Cochran, 1997):

$$n = \frac{N \times S^2 \times t^2}{(N-1)d^2 + (S^2 \times t^2)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه N مربوط به تعداد کل پرورش دهندگان مناطق مورد مطالعه، t ضریب اطمینان قابل قبول (با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول تی-استیودنت^۱) در سطح پنج درصد؛ d^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان موجود)، و n حجم نمونه مورد نظر بوده که برابر با ۵۷ محاسبه گردید. اطلاعات پرسش‌نامه به ازای یک هکتار مساحت کف استخر، شامل میزان تولید و مصرف نهاده‌هایی از قبیل بچه ماهی، کودهای شیمیایی (اوره و فسفر و آهک)، کود حیوانی، الکتریسیته، سوخت دیزل، غذا (گندم، ذرت، علف سورگوم و پلت)، آب و ماشین شخم

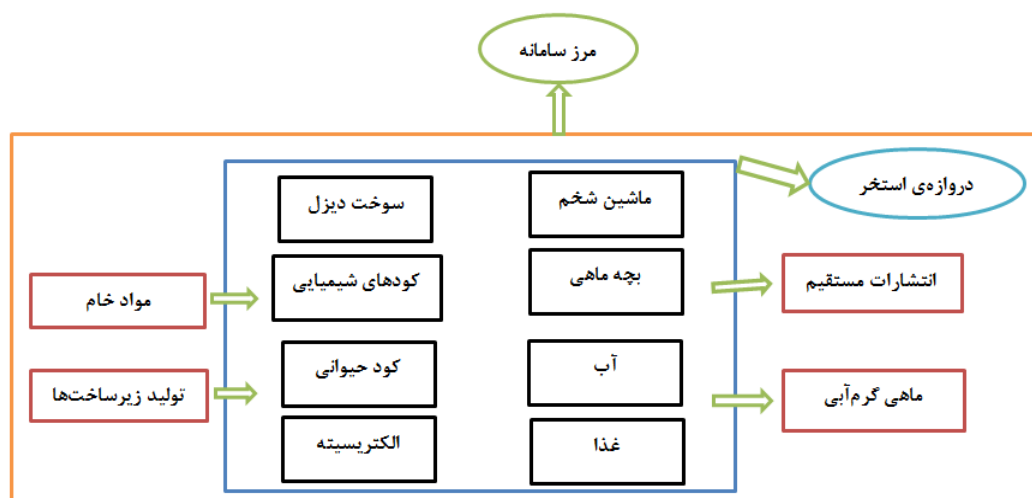
(تراکتور و گاوآهن برگردان‌دار) معرفی گردید.

مراحل مطالعاتی چرخه حیات

ارزیابی چرخه حیات از روندی که در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ آورده شده پیروی کرده و از چهار مرحله تشکیل شده است: تعیین هدف و دامنه^۲، ممیزی چرخه حیات^۳ (LCI)، ارزیابی اثرات زیست-محیطی^۴ (LCIA) و تفسیر نتایج^۵ (ISO, 2006).

تعیین هدف و دامنه

در این مرحله از مطالعه؛ اهداف، محصول نهایی مورد انتظار، مرزهای سامانه‌ی^۶ مورد مطالعه، واحد کارکردی^۷ (FU) و در نهایت پیش‌فرض‌ها مشخص می‌گردد (Guinée *et al.*, 2011). در این مطالعه، هدف بررسی اثرات زیست‌محیطی بخش‌های اثر مختلف در پرورش ماهیان گرم‌آبی است. دامنه‌ی ارزیابی یک چرخه حیات باید به وضوح ویژگی‌های عملکردی سامانه‌ی مورد مطالعه را مشخص کند. FU باید با هدف و دامنه‌ی مطالعه سازگار باشد (ISO, 2006). در واقع FU یک توصیف کمی از سیستم خدمات یا محصول فرآیند مورد بررسی می‌باشد (Rebitzer *et al.*, 2004). در این تحقیق FU برای یک تن ماهی پرورش یافته در نظر گرفته شده است. همچنین انتخاب مرز سامانه باید با هدف مطالعه سازگاری داشته باشد و معیارهای مورد استفاده در برقراری مرز سامانه باید شناسایی و تشریح گردد. تمرکز این مطالعه بر روی مرحله‌ی تولید نهاده‌ها و فرایندهای صورت گرفته درون استخر گذاشته شده و اصطلاحاً از مرحله‌ی گهواره تا دروازه‌ی استخر^۸ به عنوان مرز سامانه تعیین شده است (شکل ۱).



شکل ۱. مرز سامانه‌ی تولیدی در پرورش ماهیان گرم‌آبی در منطقه‌ی مورد مطالعه

تحلیل ممیزی چرخه‌ی حیات

نتیجه‌ی اصلی در این مرحله، ارائه‌ی جدولی از فهرست ورودی‌ها شامل انتشارات مستقیم (انتشارات ناشی از مصرف نهاده به آب و هوا) و انتشارات غیرمستقیم (انتشارات ناشی از تولید نهاده) (جدول ۱) به ازای FU می‌باشد که هر دو به عنوان ورودی برای مرحله‌ی ارزیابی بخش‌های اثر (خروجی‌های سامانه) محسوب می‌گردد. اندازه‌گیری در خروجی‌های سامانه، با در نظر گرفتن مسائل مالی، زمانی و همبستگی در نتایج، عملی نخواهد بود و متناسب با اهداف ارزیابی چرخه حیات تعیین می‌گردد. میزان انتشارات مستقیم زیست‌محیطی ناشی از مصرف نهاده‌ها بسته به نوع آب و هوا و مدیریت انسانی متفاوت است. بنابراین به جای اندازه‌گیری مستقیم از استخرهای مورد مطالعه، از پایگاه داده‌ای اکواینونت^۱ و روش‌های معینی همچون معادلات جدول (۲) برای برآورد انتشارات ناشی از مصرف کودهای شیمیایی و دامی استفاده گردید (IPCC, 2006; Mousavi-Avval *et al.*, 2017; Nguyen & Hermansen, 2012). این پایگاه شامل انتشارات ناشی از مصرف نهاده‌ها (به آب، هوا و خاک) از مراحل مختلف تولید محصولات مختلف است که برای اکثر کشورهای جهان تعریف شده است. همچنین این پایگاه داده برای مطالعات LCA صورت گرفته در ایران نیز کاربرد دارد (Khoshnevisan *et al.*, 2017; Mousavi Avval *et al.*, 2014). همچنین استفاده از سوخت دیزل باعث انتشار آلاینده‌هایی به هوا می‌شود. در این مطالعه برای محاسبه‌ی میزان انتشارات مربوط به استحصال یک مگاژول از سوخت دیزل از داده‌های ممیزی چرخه حیات موجود در پایگاه داده‌ای اکواینونت استفاده شد (Nemecek & Kagi, 2007). انتشارات مستقیم ناشی از الکتریسیته مصرفی به هوا شامل دی‌اکسید سولفور (SO₂)، آمونیاک (NH₃)، دی‌اکسید کربن (CO₂) و اکسیدهای نیتروژن (NO_x) به ترتیب دارای ضرایبی برابر با ۰/۰۰۰۲۷، ۰/۰۰۰۰۱، ۰/۵۸ و ۰/۰۰۱۲۱ کیلوگرم بر کیلو وات ساعت می‌باشند که با ضرب این مقادیر در میانگین الکتریسیته مصرفی در هکتار، محاسبه می‌گردند (Anonymous, 2010).

ارزیابی اثرات چرخه‌ی حیات

هدف از اجرای این بخش، تجزیه و تحلیل کمی نتایج بخش ممیزی چرخه حیات می‌باشد. روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بر اساس روش CML 2 baseline 2000 V2.05 / Netherlands / characterization / انتخاب گردیده است (Anonymous, 2003).

با استفاده از این روش، ۱۰ بخش اثر شامل پتانسیل گرمایش جهانی، اختناق دریاچه‌ای، اسیدی شدن، نقصان لایه اوزون، مسمومیت انسانی^۲ (HT)، تقلیل منابع غیرآلی^۳ (AD)، مسمومیت آب‌های آزاد^۴ (MAET)، مسمومیت آب‌های سطحی^۵ (FAET)، مسمومیت خاک^۶ (TE) و اکسیداسیون فتوشیمیایی^۷ (PhO) مورد ارزیابی قرار گرفته است. به دلیل گستردگی بحث و عدم امکان ارائه‌ی کامل آن، برای دریافت اطلاعات بیشتر در رابطه با تعاریف و ویژگی‌های بخش‌های اثر، به منابع معتبر مراجعه شود (Guinée *et al.*, 2002). در این مرحله، داده‌های ممیزی، در عوامل توصیف (ضرایب تبدیل) مربوطه ضرب می‌شود تا شاخص‌های مربوط به بخش‌های اثر مختلف به دست آید. این مرحله از ارزیابی اثرات، طبقه‌بندی^۸ یا گروه‌بندی نامیده شده و با استفاده از رابطه‌ی (۱۰) محاسبه می‌گردد (Brentrop *et al.*, 2004):

$$ICI_i = \sum_j R_i \times CF_{i,j} \quad (\text{رابطه } 10)$$

که در آن ICI_i مقدار شاخص برای بخش اثر i به ازای واحد عملکردی، R_i میزان مصرف منبع j به ازای واحد عملکردی و $CF_{i,j}$ عامل توصیف برای تعیین نقش منبع j در بخش اثر i می‌باشد.

از آن‌جا که در مرحله‌ی گروه‌بندی ارزیابی چرخه حیات نمی‌توان به اهمیت مقادیر به‌دست آمده پی برد، لذا با استفاده از روش نرمال‌سازی^۹ سهم اثرات زیست‌محیطی سامانه‌ی مورد مطالعه در کل اثرات زیست‌محیطی یک منطقه تعیین می‌گردد. در این مرحله، مقادیر به‌دست آمده از شاخص‌های طبقه‌بندی گروه‌های تأثیر، بی‌بعد می‌شوند. اهمیت یا بزرگی شاخص‌های محاسبه شده توسط ضرایب مرجع موجود در نرم افزار سیمپرو^{۱۰} به ازای یک تن محصول تولیدی استخراج گردیده و از طریق رابطه‌ی (۱۱) محاسبه می‌گردد (Brentrop *et al.*, 2004):

$$N_i = \frac{ICI_i}{ICI_{i,ref}} \quad (\text{رابطه } 11)$$

که در این رابطه، N_i مقدار نرمال‌شده‌ی شاخص مربوط به گروه اثر i به ازای واحد عملکردی، ICI_i مقدار محاسبه شده‌ی (غیرنرمال) شاخص مربوط به هر گروه اثر i و $ICI_{i,ref}$ مقدار شاخص مربوط به هر گروه اثر در شرایط مرجع می‌باشد. برای درک بهتر میزان آسیب هر گروه تأثیر به محیط زیست، بخش‌های اثر وزن‌دهی^{۱۱} شدند؛ به طوری که بزرگتر بودن این فاکتور نشان‌دهنده‌ی این است که این گروه اثر، پتانسیل بیشتری برای آسیب رساندن به محیط‌زیست دارد. ضرایب مربوط به مقادیر

7. Photochemical Oxidation

8. characterization

9. Normalization

10. Simapro V8.2

11. Weighting

1. EcoInvent

2. Human Toxicity

3. Abiotic Depletion

4. Marine Aquatic Ecotoxicity

5. Freshwater Aquatic Ecotoxicity

6. Terrestrial Ecotoxicity

وزن دار شده نیز همانند ضرایب نرمال شده از نرم افزار سیماپرو استخراج گردید.

جدول ۱. ممیزی چرخه‌ی حیات برای انتشارات مستقیم و غیر مستقیم در تولید ماهیان گرم‌آبی

عنوان (واحد)	کمترین میزان در هکتار	میانگین در هکتار	بیشترین میزان در هکتار
- عملکرد ماهی (kg)	۱۷۰۰/۰۰	۳۲۹۶	۶۰۰۰/۰۰
- انتشارات غیرمستقیم	۷۰/۰۰	۳۶۲/۶۳	۱۰۹۸/۰۴
۱- بچه ماهی (kg)	۰/۰۰	۲۰۱/۷۳	۱۰۵۹/۰۹
۲- کودهای شیمیایی (kg)	۰/۰۰	۲۲۸/۳۴	۲۳۰/۰۰
الف) آمونیوم نیترات	۰/۰۰	۲۶۱/۷۶	۱۲۲۷/۲۸
ب) سوپر فسفر	۰/۰۰	۴۱۸۹/۸۱	۴۸۱۸۱/۷۲
پ) آهک	۲۸۹/۳۳	۳۸۰۱/۶۵	۲۳۸۳۵/۵۲
۳- کود حیوانی (kg)	۷۳۳۳/۳۳	۱۲۹۴۰/۲۷	۲۳۲۷۵/۲۹
۴- الکتریسیته (kWh)	۰/۰۰	۵۳۴/۸۲	۱۲۰۰۰/۰۰
۵- آب (m ³)	۰/۰۰	۱۵۷/۸۲	۳۶۰۰/۰۰
۶- غذا (kg)	۰/۰۰	۱۳۱/۵۱	۳۰۰۰/۰۰
الف) پلت	۰/۰۰	۱۰۵/۲۱	۲۴۰۰/۰۰
آرد گندم	۰/۰۰	۷۸/۹۱	۱۸۰۰/۰۰
جو	۰/۰۰	۵۲/۶۱	۱۲۰۰/۰۰
کنجاله‌ی سویا	۰/۰۰	۱۴۳۱/۶۵	۲۴۰۰۰/۰۰
روغن گیاهی	۰/۰۰	۲۲۲/۲۴	۱۶۶۶/۶۷
مواد معدنی	۱۹۰/۰۰	۱۹۱۰/۳۰	۱۶۶۶۶/۶۷
ب) گندم	۰/۰۰	۹/۸۶	۳۱/۲۵
پ) ذرت	۰/۰۰	۰/۴۹	۲/۵۰
ت) علف سورگوم	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۷- سوخت دیزل (L)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۸- ماشین شخم	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
(گاواهن برگردان‌دار) (kg)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
- انتشارات مستقیم	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱- منتشر شده به هوا از سوخت دیزل (g)	۰/۰۰	۳۵/۱۱۲	۱۱۱/۲۸۴
الف) دی‌اکسید کربن	۰/۰۰	۰/۰۱۱	۰/۰۳۵
ب) دی‌اکسید سولفور	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
پ) متان	۰/۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴
ت) دی نیتروژن مونو اکسید	۰/۰۰	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۷
ث) آمونیاک	۰/۰۰	۰/۰۳۲	۰/۱۰۱
ج) هیدروکربن	۰/۰۰	۰/۴۹۹	۱/۵۶۴
چ) اکسیدهای نیتروژن	۰/۰۰	۰/۰۷۰	۰/۲۲۴
ح) مونو اکسید کربن	۰/۰۰	۰/۰۴۷	۰/۱۴۹
خ) ذرات ریز معلق	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۲) منتشر شده به هوا از کودها (kg)	۰/۰۰	۳/۱۷۰	۱۶/۶۴
الف) دی نیتروژن مونو اکسید از کاربرد کودهای شیمیایی و دامی	۰/۱۱۵	۰/۴۹۰	۲/۴۴۳
ب) دی نیتروژن مونو اکسید از کاربرد کودهای شیمیایی	۰/۰۰	۳/۱۷۰	۱۶/۶۴۱
پ- دی‌اکسید کربن از کود اوره	۱۸/۲۱۴	۱۰۱/۷۳۲	۱۱۷۰/۱۱۰
ت- آمونیاک از کاربرد کود دامی	۰/۰۰	۴۸/۹۲	۲۵۷/۱۸۵
ث- آمونیاک از کاربرد کودهای شیمیایی	۲۴/۱۵۰	۱۰۲/۹۰۰	۵۱۳/۰۳۰
ج- نیتروژن اکساید از کودهای شیمیایی	۱/۰۷۴	۱/۰۴۹	۶۵/۷۸
۳) منتشر شده به هوا از الکتریسیته (kg)	۰/۰۳۸	۰/۳۸۰	۲/۳۸۰
الف) دی‌اکسید سولفور از مصرف الکتریسیته	۲۲۵/۸۱۱	۲۲۰۴۷/۹۵۷	۱۳۷۳۶۴/۶۰۱
ب) آمونیاک از مصرف الکتریسیته	۰/۴۷۱	۴/۵۹۹	۲۸/۸۴۰
پ) دی‌اکسید کربن از مصرف الکتریسیته	۰/۰۰	۲۶/۸۰۱	۱۴۰/۶۹۵
ث) نیتروژن اکساید از مصرف الکتریسیته	۰/۰۰	۴/۸۸۳	۲۳/۱۱
۴) منتشر شده به آب از کودهای شیمیایی (kg)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
الف) نیترات	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
ب) فسفات	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰

جدول ۲. تحلیل ممیزی آلاینده‌های منتشر شده از مصرف کودهای شیمیایی و دامی و ضرایب تبدیل آن‌ها به مقادیر کاربردی (IPCC, 2006; Mousavi-Avval *et al.*, 2017; Nguyen & Hermansen, 2012)

شماره‌ی رابطه	ضریب انتشار	محل انتشار	رابطه	ضریب تبدیل آلاینده‌ها به مقدار کاربردی
(رابطه ۲)	۰/۰۱	هوا	$\frac{kg N_2O - N}{kg N_{in fertilizer and manure applied}}$	$\left(\frac{44}{28}\right)$
(رابطه ۳)	۰/۲	هوا	$\frac{kg CO_2 - C}{kg Urea}$	$\left(\frac{44}{12}\right)$
(رابطه ۴)	۰/۲	هوا	$\frac{kg NH_3 - N}{kg N_{in manure applied}}$	$\left(\frac{17}{14}\right)$
(رابطه ۵)	۰/۱	هوا	$\frac{kg NH_3 - N}{kg N_{in fertilizer applied}}$	$\left(\frac{17}{14}\right)$
(رابطه ۶)	۰/۰۳	آب	$\frac{kg NO_3^- - N}{kg N_{in fertilizer and manure applied}}$	$\left(\frac{62}{14}\right)$
(رابطه ۷)	۰/۰۵	آب	$\frac{kg phosphorous emission}{kg phosphorus_{in fertilizer and manure applied}}$	$\left(\frac{62}{142}\right)$
(رابطه ۸)	۰/۰ × ۰/۱/۱	هوا	$\frac{kg N_2O - N}{kg N_{in chemical ferti applied}}$	1
(رابطه ۹)	۰/۲۱	هوا	$\frac{kg NO_x}{kg N_2O_{from fertilizer}}$	1

تحلیل نتایج

نرم افزار سیمپرو ضرایب نرمال سازی و وزن دهی اختصاص داده شد و نتایج به صورت نرمال شده و وزن دار شده ارائه و شاخص نهایی زیست‌محیطی از آن‌ها استخراج گردید.

سامانه‌ی استنتاج فازی - عصبی تطبیقی

سامانه‌های ANFIS با استفاده از دو روش سامانه‌های فازی تاکاگی-سوگنو-کانگو^۲ (TSK) به صورت ساختار شبکه‌ای پیش-رونده و روش ممدانی^۳ طراحی شده است. مزیت سیستم TSK نسبت به روش ممدانی در ساده‌تر بودن و استفاده از تکنیک‌های خطی برای حل مسئله و پیروی از قواعد ریاضیاتی است؛ در حالی که عدم توانایی مدل‌سازی چند خروجی به صورت همزمان از بارزترین عیوب این روش نسبت به روش ممدانی است (Khoshnevisan *et al.*, 2013a). از ۵۷ واحد نمونه‌گیری شده در پرورش ماهیان گرم‌آبی، ۳۷ واحد برای آموزش (۶۵ درصد) و ۲۰ واحد برای آزمون (۳۵ درصد) انتخاب گردید

در این مطالعه از سه روش جداسازی شبکه‌ای^۴ (GP)، خوشه‌بندی کاهشی^۵ (SC) و خوشه‌بندی فازی^۶ (FCM) به منظور طراحی سامانه‌ی ANFIS استفاده گردید. روش GP به کمک الگوریتم یادگیری هیبرید، به شناسایی پارامترهای سامانه‌های استنتاج می‌پردازد. GP با ترکیب نمودن دو روش حداقل مربعات خطا و گرادینان نزولی پس انتشار^۷ به آموزش پارامترهای توابع

چهارمین مرحله از ارزیابی چرخه حیات یک محصول، تحلیل نتایج می‌باشد. در این مرحله تمام نتایج به‌منظور نتیجه‌گیری و ارائه‌ی راهکارها مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این مرحله به‌منظور بررسی تصمیم نهایی مربوط به مقادیر بخش‌های اثر، از شاخص نهایی زیست‌محیطی (شاخص اکوسیستم) که برابر با مجموع حاصلضرب مقادیر نرمال شده‌ی بخش‌های اثر در مقادیر وزن دار شده‌ی آن‌ها می‌باشد، طبق رابطه‌ی (۱۲) استفاده گردید (Brentrop *et al.*, 2004):

$$EcoX = \sum N_i \times W_i \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

در این رابطه، $EcoX$ شاخص زیست‌محیطی نهایی (شاخص اکوسیستم) به ازای واحد عملکردی، N_i مقدار نرمال شده‌ی هر گروه تأثیر و W_i وزن مربوط به هر یک از مقادیر نرمال شده در بخش‌های اثر می‌باشد.

به منظور انجام محاسبات ارزیابی چرخه حیات، داده‌های خام استخراج شده از پرسش‌نامه‌ها به همراه انتشارات ناشی از تولید و مصرف نهاده‌ها وارد نرم افزار اکسل^۱ گردید و سپس در نرم‌افزار سیمپرو به ارزیابی آن‌ها پرداخته شد. یکی از نقاط ضعف مدل CML2 baseline، عدم ارائه‌ی نتایج به صورت نرمال شده و وزن دار شده می‌باشد. بنابراین برای مدل CML2 baseline در

5. sub-clustering
6. fuzzy c-means
7. Back propagation gradient descent

1. Excel 2013
2. Takagi-Sugeno-Kango
3. Mandani method
4. grid partitioning

نهایت دستیابی به بهترین مدل ANFIS در هر روش، از تکنیک آنالیز حساسیت برای شناسایی مدل برتر استفاده گردید. بر این اساس در روش GP، تعداد MF از ۲ تا ۵ تابع و نوع توابع عضویت ورودی شامل توابع گوسی، زنگوله‌ای و مثلثی در نظر گرفته شده و بر اساس میزان خطای کمتر و دقت بالاتر، بهترین مدل انفیس پیشنهادی بر اساس این روش پیشنهاد می‌گردد. در روش SC بازه‌ی تأثیر از ۰/۲ تا ۰/۳، عامل گسترش (۱/۲۵)، نسبت پذیرش (۰/۵) و نسبت رد (۰/۱۵) و در روش FCM نیز تعداد خوشه‌ها از ۴ تا ۸ تغییر داده شد و بهترین مدل در هر روش پیشنهاد می‌گردد.

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های ANFIS زمانی است که تعداد پارامترهای ورودی بیش از پنج عدد باشند. علت این امر در افزایش زمان محاسبات و افزایش تعداد قوانین فازی می‌باشد که معمولاً انجام محاسبات ناتمام باقی می‌ماند. از آنجا که تعداد متغیرهای ورودی برای پیش‌بینی میزان بخش‌های اثر زیست محیطی در محصول مورد مطالعه ۱۳ عدد و شامل بچه ماهی، کود اوره، کود فسفات، کود آهک، کود دامی، الکتروسیته، گندم، ذرت، علف سورگوم، پلت (آرد گندم، جو، کنجاله‌ی سویا، روغن گیاهی و مواد معدنی)، ماشین شخم (گاواهن برگردان‌دار)، آب و سوخت دیزل بوده است؛ لذا از آرایش‌های مختلف ANFIS چند لایه به منظور دستیابی به بهترین ترکیب در بهترین روش (GP، SC و FCM) برای عمل پیش‌بینی بخش‌های اثر زیست‌محیطی استفاده شده است. بر این اساس بهترین آرایش از ساختار چندین ANFIS مختلف برای مدل‌سازی هر یک از بخش‌های اثر مورد مطالعه توسط شاخص‌های آماری R^2 ، RMSE و میانگین درصد خطای مطلق^۲ (MAPE) شناسایی و معرفی گردید (Safa and Samarasinghe, 2011; Pahlavan et al., 2012).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^n t_i^2} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - z_i)^2} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

$$MAPE (\%) = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{(t_i - z_i)}{t_i} \right| \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

که t_i و z_i به ترتیب مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده برای بردارهای آموزش و n تعداد کل بردارهای آموزش می‌باشد. کدنویسی مربوط به عملیات مدل‌سازی بخش‌های اثر زیست‌محیطی برای هر سه روش طراحی ANFIS، توسط نرم افزار متلب^۳ انجام گرفت.

عضویت (MF) در ANFIS می‌پردازد. این روش فضای داده‌ای را به زیر بخش‌های مستطیلی تقسیم می‌کند، که این اقدام بر اساس تعداد MF از پیش تعیین شده و نوع این توابع در هر بخش صورت می‌پذیرد. تعداد این قواعد بسته به تعداد متغیرهای ورودی و تعداد MF مورد استفاده برای هر متغیر، تغییر می‌کند. تعداد MF برای هر ورودی در روش GP باید اندک باشد (Jang and Sun 1997).

در عملیات خوشه‌بندی مجموعه‌ای از داده‌ها به زیر شاخه‌هایی به نام خوشه اختصاص داده می‌شود تا ساختارها و الگوهای موجود در آن‌ها کشف گردد. بازه‌ی تأثیر^۱ (شعاع دایره‌ی شناسایی خوشه‌ها)، حداکثر فاصله‌ی بین تمامی نقاط با مرکز خوشه می‌باشد. خوشه‌بندی دارای دو روش فازی و کلاسیک می‌باشد. خوشه‌بندی کلاسیک، بر اساس طبقه‌بندی مجموعه‌ی داده به تنها یک خوشه می‌باشد؛ در حالی که در خوشه‌بندی فازی داده‌ها در مرز بین چند خوشه مجبور نیستند به طور کامل متعلق به یکی از آنها باشند. روش SC یکی از روش‌های خوشه‌بندی کلاسیک می‌باشد (Chiu, 1994). در این روش فرض بر این است که هر مجموعه داده، یک مرکز خوشه بالقوه است و بر اساس تراکم نقاط داده‌های اطراف محاسبه می‌شود. گفتنی است که شعاع نفوذ خوشه برای تعیین تعداد خوشه‌ها ضروری بوده است و نقاط خارج از شعاع، پتانسیل کمتری برای تعیین تعداد خوشه‌ها دارد (Chiu 1994). یکی دیگر از روش‌های طراحی سامانه‌ی ANFIS، روش FCM بوده که برای اولین بار توسط Dunn (1973) گزارش گردید. در این روش هر مجموعه‌ی داده دارای درجه عضویت صفر یا یک متعلق به زیر مجموعه فازی می‌باشد؛ به عبارت دیگر هر داده در FCM می‌تواند به هر گروهی با درجه عضویت متفاوت تعلق داشته باشد. این الگوریتم یک گروه بهینه C را با به حداقل رساندن وزن تابع مربع خطای آن گروه تولید می‌کند (Dunn 1973):

$$J_m = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^c u_{ji}^m d^2(x_i, v_j) \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

که $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\} \subseteq IR^m$ مجموعه داده در فضای بردار m بعدی، N تعداد داده‌ها، c تعداد خوشه‌ها ($2 \leq c \leq N$)، u_{ji} درجه عضویت x_i در خوشه‌ی j ام، m شاخص وزن در هر عضویت فازی، v_j شکل اصلی مرکز خوشه j ام، $d^2(x_i, v_j)$ اندازه-ی فاصله‌ی بین x_i و مرکز خوشه v_j می‌باشد.

به علت استفاده از روش TSK، در هر سه روش GP، SC و FCM، بخش‌های اثر به صورت یک به یک با نهاده‌های مصرفی مدل گردید. به منظور افزایش دقت شبکه و کاهش خطاها و در

نتایج و بحث

تحلیل شاخص‌های زیست‌محیطی در پرورش ماهیان گرم‌آبی میزان انتشار در هر بخش اثر به ازای یک تن ماهی تولیدی در جدول ۳ نشان داده شده است. یکی از مهم‌ترین بخش‌های اثر مورد بررسی در این مطالعه، پتانسیل گرمایش جهانی می‌باشد. از پتانسیل گرمایش جهانی به منظور بیان سهم گازهای منتشرشده از سامانه‌های زراعی استفاده می‌شود. در این مطالعه میزان پتانسیل گرمایش جهانی به ازای یک تن محصول پرورش‌یافته، برابر با ۵۵۹۴/۹۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن برآورد شده است. مقادیر مربوط به این شاخص در تولید و پرورش یک تن از

محصولات مشابه مانند؛ ماهی خاردار در یونان (Aubin *et al.*, 2009)، خوک در هلند (Vander Werf *et al.*, 2005)، مرغ خانگی در فرانسه (Thévenot *et al.*, 2013) و گوشت مرغ در مکزیک (Lopez-Andres *et al.*, 2018) به ترتیب برابر با ۳۶۰۱، ۵۲۸، ۲۴۸۹، ۲۷۷۷ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن برآورد گردید. در ایران نیز، شاخص مذکور برای محصولات مختلفی مانند گندم (Elhami *et al.*, 2016)، نخود (Khoshnevisan *et al.*, 2015b)، بادام زمینی (Nikkhah *et al.*, 2015) و شیر خوراکی (Rafiee *et al.*, 2016) به ترتیب برابر با ۳۱۸۵، ۳۰۳۳، ۳۱۱ و ۶۸۰ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن به ازای یک تن محصول تولیدی گزارش گردید.

جدول ۳. میزان شاخص‌های زیست‌محیطی به ازای یک تن ماهی پرورش‌یافته

بخش‌های اثر	واحد	درون استخر (انتشارات مستقیم)	بیرون استخر (انتشارات غیرمستقیم)	کل
۱- تقلیل منابع غیر آلی	kg Sb eq.	۰/۰۰	۳۹/۳۷	۳۹/۳۷
۲- اسیدی شدن	kg SO ₂ eq.	۸۸/۷۴	۴۱/۹۴	۱۳۰/۶۸
۳- اختناق دریاچه‌ای	kg PO ₄ ³⁻ eq.	۲۵/۴۰	۶/۵۸	۳۱/۹۸
۴- پتانسیل گرمایش جهانی	kg CO ₂ eq.	۳۲۹/۶۶	۵۲۶۵/۲۷	۵۵۹۴/۹۳
۵- نقصان لایه ازن	kg CFC-11 eq.	۰/۰۰	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۲
۶- مسمومیت انسان‌ها	kg 1,4-DCB eq.	۴۲/۰۳	۱۶۳۷/۸۳	۱۶۷۹/۸۶
۷- مسمومیت آب‌های سطحی	kg 1,4-DCB eq.	۰/۰۰	۷۴۳/۱۷	۷۴۳/۱۷
۸- مسمومیت آب‌های آزاد	kg 1,4-DCB eq.	۰/۰۰	۱۶۴۵۴۰۳/۰۰	۱۶۴۵۴۰۳/۰۰
۹- مسمومیت خاک	kg 1,4-DCB eq.	۰/۰۰	۳۷/۹۵	۳۷/۹۵
۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی	kg C ₂ H ₄ eq.	۰/۰۰۱	۲/۰۸۹	۲/۰۹

شکل (۲) میزان انتشارات ناشی از تولید و مصرف نهاده‌ها را در بخش‌های اثر مرتبط به یک تن ماهی پرورش‌یافته نشان می‌دهد. میزان الکتريسيته‌ی تولیدی که جهت راه‌اندازی پمپ‌های آبیاری (۸۶ درصد)، پمپ هواده (۱۲ درصد) و دستگاه تشکیل دهنده‌ی پلت (۲ درصد) به استخرهای پرورش ماهی می‌رسد، در هر کدام از بخش‌های اثر، شامل؛ تقلیل منابع غیر آلی، پتانسیل گرمایش جهانی، مسمومیت انسانی، مسمومیت آب‌های آزاد و اکسیداسیون فتوشیمیایی سهمی بیش از ۴۰ درصد از میزان آلاینده‌های منتشر شده را به خود اختصاص داده‌است. نامناسب بودن سیستم‌های آبیاری، استفاده از الکتروموتورهای فرسوده و با کارایی پایین و عدم آگاهی بهره‌برداران از نیاز واقعی آب در مراحل مختلف پرورش محصول، از دلایل افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی این نهاده می‌باشد. Forchino *et al.*, (2016) در مطالعه‌ی خود بر روی چرخه حیات ماهیان قزل‌آلا در ایتالیا گزارش نمود که انتشارات ناشی از تولید الکتريسيته برای راه‌اندازی پمپ‌های آبیاری و هواده بیش‌ترین تأثیر را بر روی تمامی بخش‌های اثر مطالعه شده به همراه داشته است. کودهای

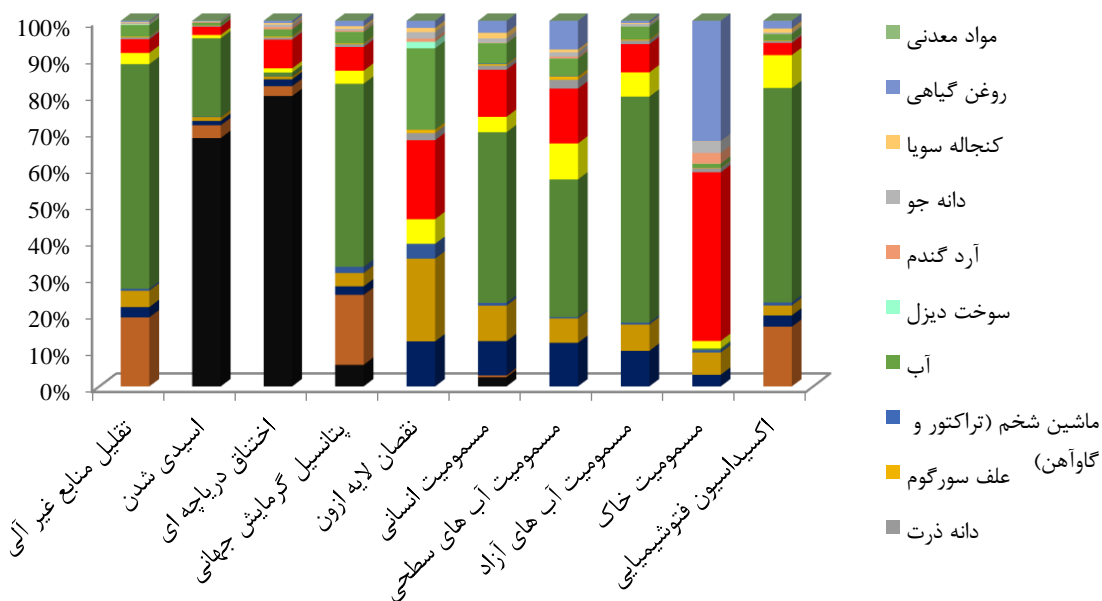
شیمیایی (آمونیم نیترات، سوپر فسفر و آهک) نیز در بخش‌های اثر نقصان لایه‌ی ازن و مسمومیت آب‌های سطحی به ترتیب ۱۹ و ۱۸ درصد از کل سهم آلاینده‌های منتشر شده در این بخش‌ها را به خود اختصاص دادند. در مطالعه‌ای که بر روی چرخه حیات گندم و ذرت در ایتالیا صورت گرفت، کودهای شیمیایی بیشترین سهم را بر آلاینده‌های منتشر شده در تمامی بخش‌های اثر به‌جای گذاشتند (Fantin *et al.*, 2016). در برخی شرایط میزان مصرف کود عامل بالا بودن سطح آلاینده‌ی نیست و نوع ترکیبات به کار رفته سبب انتشار بارهای محیطی می‌گردد. لذا تعیین مقدار مناسب کود و همچنین ترویج و آموزش بهره‌برداران پرورش ماهی جهت خرید کود با ترکیباتی که آلاینده‌ی کمتری دارند توصیه می‌شود. در کنار انتشارات غیرمستقیم که مربوط به میزان تولید نهاده‌ها در پرورش ماهیان گرم‌آبی می‌باشد، انتشارات مستقیم ناشی از مصرف نهاده‌هایی مانند الکتريسيته، کودهای شیمیایی و کود دامی و سوخت دیزل که در زمان مصرف آن‌ها منتشر می‌شود، به ترتیب ۶۸ و ۸۰ درصد از سهم انتشارات مربوط به بخش‌های اثر اسیدی شدن و اختناق دریاچه‌ای را به خود اختصاص

خاصی از نرم‌افزار سیماپرو استخراج گردید و سپس با استفاده از رابطه (۱۱)، مقادیر نرمال شده محاسبه گردید. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود بعد از بی‌بعد شدن بخش‌های اثر، نقش اثرات مسمومیت آب‌های آزاد، اسیدی شدن، مسمومیت آب‌های سطحی و اختناق دریاچه‌ای به ترتیب با مقادیر $۱۰^{-۷} \times ۵/۱۷$ ، $۱۰^{-۷} \times ۰/۹۸$ و $۱۰^{-۷} \times ۰/۶۳$ از بقیه اثرات بیشتر می‌باشد.

دادند. در مطالعه‌ی دیگری که در کشور سوئیس انجام گرفته گزارش شده است که دی‌نیتروژن مونو اکسید و دی‌اکسید کربن منتشر شده از کودهای شیمیایی بیشترین تأثیر را بر روی شاخص گرمایش جهانی به همراه داشته‌اند (Nemecek et al., 2011).

نرمال‌سازی و وزن‌دهی بخش‌های تأثیر

در مدل CML2 baseline برای تبدیل مقادیر واقعی اثرات زیست-محیطی به مقادیر نرمال‌شده‌ی مربوط به هر بخش اثر، ضرایب



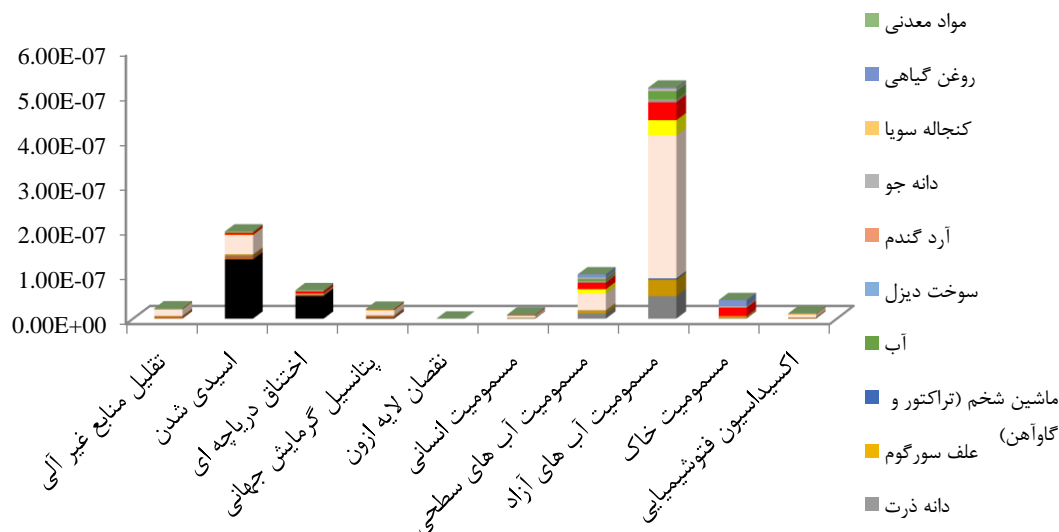
شکل ۲. سهم انتشارات مستقیم و غیر مستقیم در بخش‌های اثر به ازای یک تن ماهی گرم‌آبی

تولید تا مصرف بر روی پرورش گل رز در اتیوپی (Sahle & Potting, 2013) بیشترین میزان آلاینده‌ی را حاصل نموده‌اند. همچنین در رابطه با شاخص‌های اسیدی شدن و اختناق دریاچه-ای، انتشارات مستقیم ناشی از مصرف نهاده‌های مذکور سهم چشمگیری از آلاینده‌های زیست‌محیطی را به خود اختصاص داده‌اند. تناسب بین توان پمپ‌های آبیاری با استخرهای پرورش ماهی، تسطیح کف استخرها و ایجاد شیب یکنواخت در آن‌ها می‌تواند به طور قابل توجهی میزان آبیاری مصرفی را کاهش داده و به دنبال آن سبب کاهش الکتریسیته مصرفی گردد. به علاوه افزایش آگاهی بهره‌برداران در مورد شیوه‌های پرورشی محصول، مصرف کودها با توجه به نیاز و نه بر حسب تجربه، می‌تواند کاهش دهنده‌ی انتشارات مستقیم ناشی از مصرف این نهاده‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه گردد.

در بخش آخر محاسبات مربوط به بخش‌های اثر، با استفاده از حاصلضرب ضرایب وزن‌دهی استخراج شده از نرم‌افزار سیماپرو

در رابطه با تولید توت فرنگی در استان گیلان نیز نشان داده شد که شاخص مسمومیت آب‌های آزاد بیشترین میزان آلاینده‌ی را در هر دو نوع کشت گلخانه‌ای و مزرعه‌ای به خود اختصاص داده است (Khoshnevisan et al., 2013b). مشابه این نتیجه برای واحدهای شالی کوبی و تولید برنج در استان گیلان (Nabavi-pelesaraei et al., 2018) نیز گزارش گردید. در نتایج مربوط به بخش نرمال‌سازی نیز، تولید الکتریسیته، کودهای شیمیایی و کود دامی به ترتیب بیشترین سهم از میزان آلاینده‌ی در شاخص مسمومیت آب‌های آزاد را به خود اختصاص می‌دهند. انتشارات مربوط به تولید الکتریسیته تمامی فعالیت‌های مرتبط با انسان و محیط زیست را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و باعث مسمومیت لایه‌ی استراتوسفر، تشکیل اوزون‌های فتوشیمیایی و گرم شدن کره‌ی زمین می‌گردد (Abeliotis et al., 2013). در مطالعات مشابه صورت گرفته، انتشارات ناشی از تولید الکتریسیته بر روی تمامی بخش‌های اثر تولید محصول سیب‌زمینی در ایران (Khoshnevisan et al., 2013a) و کودهای شیمیایی از مرحله‌ی

شاخص های زیست محیطی به غیر از شاخص های مسمومیت آب های سطحی، مسمومیت آب های آزاد و مسمومیت خاک یکسان است. بنابراین برای تبدیل ضرایب نرمال شده به وزن- دار شده در مورد سه شاخص مذکور، به هر کدام ضریب یک سوم تعلق می گیرد تا مجموع آن ها برابر با یک گردد (Mousavi-Avval *et al.*, 2017).



شکل ۳. مقدار آلاینده های زیست محیطی برای پرورش یک تن ماهی گرم آبی با روش **CML2 baseline** به صورت نرمال شده

مزارع ایتالیا بین 300×10^9 تا 480×10^9 پیکو پوینت محاسبه شد که نشان می دهد ماهی پرورش یافته نسبت به تولید شیر گوسفند آسیب زیست محیطی بسیار کمتری را به محیط زیست وارد می نماید (Vagnoni *et al.*, 2014).

مدل پیش بینی بخش های اثر به کمک ANFIS

برای یافتن بهترین پیش بینی بر اساس روش های GP، SC و FCM، ساختارهای و آرایش های گوناگونی ایجاد گردید و پس از اعمال آنالیز حساسیت بین ساختارهای متفاوت، نتایج بهترین مدل ها در هر روش برای انفیس های نهایی در جداول ۵ تا ۱۲ درج گردید. بر این اساس در روش GP، با تغییر در نوع و تعداد MF بهترین نتیجه در جدول ۶ (دومین انفیس پیشنهادی در روش GP) مشخص شده است. در این جدول با تابع عضویت ورودی از نوع مثلثی، تابع عضویت خروجی از نوع خطی، الگوریتم بهینه سازی هیبرید و تعداد ۱۰۰ اپوک، میزان شاخص آماری R^2 (دقت مدل) در تمامی بخش های اثر به جز شاخص اختناق دریاچه ای برابر با ۰/۹۹ برآورد گردید.

در روش SC، بازه ی تأثیر (شعاع دایره ی شناسایی خوشه ها) باید تعریف شود. شعاع کوچکتر باعث ایجاد پارامترهای مجهول شده و پیچیدگی مدل را افزایش و دقت مدل را کاهش می دهد. در جدول های ۹، ۱۰ و ۱۱، بهترین نتایج حاصل از روش SC با

(جدول ۴) در مقدار مصرف نهاده ها به ازای هر تن ماهی پرورش یافته، میزان انتشار آلاینده ها برای هر یک از بخش های اثر زیست محیطی را بر حسب واحد پیکوپوینت (pPt¹) محاسبه و در نهایت از حاصل جمع میزان این آلاینده ها، یک شاخص نهایی با نام شاخص اکوسیستم معرفی نمود (Mousavi-Avval *et al.*, 2017). ضرایب وزندهی نسبت به ضرایب نرمال سازی برای کلیه ی

بر اساس نتایج جدول شماره ی ۴، شاخص نهایی زیست محیطی برای یک تن ماهی پرورش یافته برابر با $5409/10$ پیکو پوینت محاسبه گردید که از این مقدار ۳۴ درصد از سهم کل مربوط به آلاینده های ناشی از مصرف نهاده ها (انتشارات مستقیم) و ۶۶ درصد مربوط به آلاینده های ناشی از تولید نهاده ها (انتشارات غیر مستقیم) می باشد. از میان شاخص های وزن دهی شده به ازای یک تن ماهی پرورش یافته، شاخص های اسیدی شدن و مسمومیت آب های آزاد به ترتیب با ۱۹۴۷ و ۱۷۰۵ پیکوپوینت بیشترین سهم از میزان آلاینده ی کل (در مجموع ۶۷/۵۰٪ از سهم کل) را به خود اختصاص می دهند. برای هر دو شاخص زیست محیطی، انتشارات ناشی از تولید الکتریسیته به مانند روش نرمال سازی بیشترین آلاینده ی را اعمال نموده است. در نهایت می توان گفت که در پرورش ماهیان گرم آبی استان گیلان، الکتریسیته ی مصرفی در مرحله ی تولید و مصرف (انتشارات مستقیم و غیر مستقیم) به عنوان نقطه ی داغ زیست محیطی شناخته می شود. پیشنهادات لازم برای مهار بیش از حد این نهاده در هر دو مرحله ی تولید و مصرف در قسمت های قبلی توضیح داده شده است. میزان شاخص نهایی زیست محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه ای در فعالیت های کشاورزی و دامپروری برای تولید هر کیلوگرم شیر گوسفند (با احتساب کاشت علوفه) در

impact in a specific category caused by a person during one year.

1. This new unit is called "point" (person.year), and represents the average

تغییر در میزان بازه‌ی تأثیر برای مرحله آزمون ارائه شده است. مدل برای تمامی بخش‌های اثر، میزان R^2 بالاتر از ۰/۹۷ و میزان سومین انفیسی پیشنهادی در روش SC، به عنوان بهترین مدل ANFIS با بازه‌ی تأثیر ۰/۳ (جدول ۱۱) برآورد گردید. در این

جدول ۴- ضرایب و مقادیر وزن‌دار شده به‌ازای یک تن ماهی پرورش یافته

بخش‌های اثر	ضریب وزن‌دار شده (pPt)	درون استخر (انتشارات مستقیم)	بیرون استخر (انتشارات غیرمستقیم)	کل
۱- تقلیل منابع غیر آلی	۵۸۵	۰/۰۰	۲۳۰/۳۴	۲۳۰/۳۴
۲- اسیدی شدن	۱۴۹۰	۱۳۲۲/۲۴	۶۲۴/۹۶	۱۹۴۷/۲۰
۳- اختناق دریاچه‌ای	۱۹۹۰	۵۰۵/۵۰	۱۳۱/۰۶	۶۳۶/۵۷
۴- پتانسیل گرمایش جهانی	۳/۹۶	۱۳/۰۵	۲۰۸/۵۰	۲۲۱/۵۵
۵- نقصان لایه ازن	۱۰۲۰۰۰۰	۰/۰۰	۱/۳۱	۱/۳۱
۶- مسمومیت انسان‌ها	۵/۳۲	۲/۲۳	۸۷/۱۳	۸۹/۳۶
۷- مسمومیت آب‌های سطحی	۴۴/۳۳	۰/۰۰	۳۲۶/۱۷	۳۲۶/۱۷
۸- مسمومیت آب‌های آزاد	۰/۱۰	۰/۰۰	۱۷۰۴/۹۶	۱۷۰۴/۹۶
۹- مسمومیت خاک	۱۰۹۰	۰/۰۰	۱۳۶/۵۳	۱۳۶/۵۳
۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی	۵۴۹۰	۰/۰۰۰۰۴	۱۱۵/۰۵	۱۱۵/۰۵
شاخص نهایی زیست‌محیطی	-	۱۸۴۳/۰۴	۳۵۶۶/۰۶	۵۴۰۹/۱۰

جدول ۵. مشخصات اولین انفیسی پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش GP

بخش‌های اثر	نوع تابع عضویت		تعداد توابع عضویت		آزمون		
	ورودی	خروجی	اپوک	الگوریتم یادگیری	MAPE	RMSE	R^2
تقلیل منابع غیر آلی	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۷	۰/۰۱	۰/۹۷
اسیدی شدن	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۱۴	۰/۰۱	۰/۹۹
اختناق دریاچه ای	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۵۲	۰/۰۱	۰/۹۹
پتانسیل گرمایش جهانی	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۹۹
نقصان لایه اوزون	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت انسان	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت آب‌های سطحی	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت آب‌های آزاد	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت خاک	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۳
اکسیداسیون فتوشیمیایی	مثلی	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۹۴	۰/۰۱	۰/۹۸

جدول ۶. مشخصات دومین انفیسی پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش GP

بخش‌های اثر	نوع تابع عضویت		تعداد توابع عضویت		آزمون		
	ورودی	خروجی	اپوک	الگوریتم یادگیری	MAPE	RMSE	R^2
تقلیل منابع غیر آلی	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۱۲	۰/۰۱	۰/۹۹
اسیدی شدن	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۹۹
اختناق دریاچه ای	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۷۴	۰/۰۶	۰/۹۴
پتانسیل گرمایش جهانی	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۹۹
نقصان لایه اوزون	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت انسان	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت آب‌های سطحی	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت آب‌های آزاد	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت خاک	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۹۹
اکسیداسیون فتوشیمیایی	زنگوله‌ای	خطی	۲،۲	هیبرید	۰/۹۸	۰/۰۱	۰/۹۹

جدول ۷. مشخصات سومین انفیس پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش GP

بخش‌های اثر	نوع تابع عضویت			تعداد توابع عضویت		آزمون		
	ورودی	خروجی	ورودی	اپوک	الگوریتم یادگیری	MAPE	RMSE	R ²
تقلیل منابع غیرآلی	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۶	۰/۰۳۶	۰/۹۸۶
اسیدی شدن	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۳۴	۰/۰۲۹	۰/۹۷۴
اختناق دریاچه ای	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۶	۰/۰۲۸	۰/۹۸۹
پتانسیل گرمایش جهانی	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۶	۰/۰۶۱	۰/۹۵۲
نقصان لایه اوزون	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۱۴	۰/۰۱۱	۰/۹۶۷
مسمومیت انسان	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۴	۰/۰۸۸	۰/۸۹
مسمومیت آبهای سطحی	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۹	۰/۰۵	۰/۹۶۷
مسمومیت آبهای آزاد	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۷	۰/۰۲۴	۰/۹۹۴
مسمومیت خاک	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۱۷	۰/۰۱۴	۰/۹۵۲
اکسیداسیون فتوشیمیایی	گوسی	خطی	۵،۴	۱۰۰	هیبرید	۰/۵۲	۰/۰۱۹	۰/۹۸۸

جدول ۸. مشخصات چهارمین انفیس پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش GP

بخش‌های اثر	نوع تابع عضویت			تعداد توابع عضویت		آزمون		
	ورودی	خروجی	ورودی	اپوک	الگوریتم یادگیری	MAPE	RMSE	R ²
تقلیل منابع غیرآلی	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۱۸	۰/۰۲۷	۰/۹۷
اسیدی شدن	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۹	۰/۰۳۲	۰/۷۱
اختناق دریاچه ای	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۶۶	۰/۰۳۹	۰/۹۲
پتانسیل گرمایش جهانی	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۳	۰/۰۵۴	۰/۸۹
نقصان لایه اوزون	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۱۱	۰/۰۱۲	۰/۸۶
مسمومیت انسان	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۳۶	۰/۰۷۵	۰/۷۱
مسمومیت آبهای سطحی	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۲۱	۰/۰۴	۰/۹۴
مسمومیت آبهای آزاد	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۱	۰/۰۲۹	۰/۹۸
مسمومیت خاک	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۰۵	۰/۰۰۵	۰/۹۷
اکسیداسیون فتوشیمیایی	گوسی	خطی	۳،۳	۱۰۰	هیبرید	۰/۵۳	۰/۰۲۲	۰/۸۹

جدول ۹. مشخصات اولین انفیس پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش SC

بخش‌های اثر	بازه‌ی تأثیر	عامل گسترش	نسبت پذیرش	نسبت رد	الگوریتم یادگیری	آزمون		
						MAPE	RMSE	R ²
تقلیل منابع غیرآلی	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۹۹
اسیدی شدن	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۹۹
اختناق دریاچه ای	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۱۸	۰/۹۹
پتانسیل گرمایش جهانی	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۹۹
نقصان لایه اوزون	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۹۱
مسمومیت انسان	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۹۹
مسمومیت آبهای سطحی	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۹۸
مسمومیت آبهای آزاد	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۹۹
مسمومیت خاک	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۹۸
اکسیداسیون فتوشیمیایی	۰/۲	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۹۹

جدول ۱۰. مشخصات دومین انفیس پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش SC

بخش‌های اثر	بازه‌ی تأثیر	عامل گسترش	نسبت پذیرش	نسبت رد	الگوریتم یادگیری	آزمون		
						MAPE	RMSE	R ²
تقلیل منابع غیرآلی	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۷	۰/۰۰	۰/۹۹
اسیدی شدن	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۱	۰/۰۰	۰/۹۹
اختناق دریاچه ای	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۷	۰/۰۸	۰/۹۲
پتانسیل گرمایش جهانی	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۹۹
نقصان لایه اوزون	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۹۶
مسمومیت انسان	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۹۹
مسمومیت آبهای سطحی	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت آبهای آزاد	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت خاک	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۹۸
اکسیداسیون فتوشیمیایی	۰/۲۵	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۱/۱	۰/۰۰	۰/۹۹

جدول ۱۱. مشخصات سومین انفیس پیشنهادی برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش SC

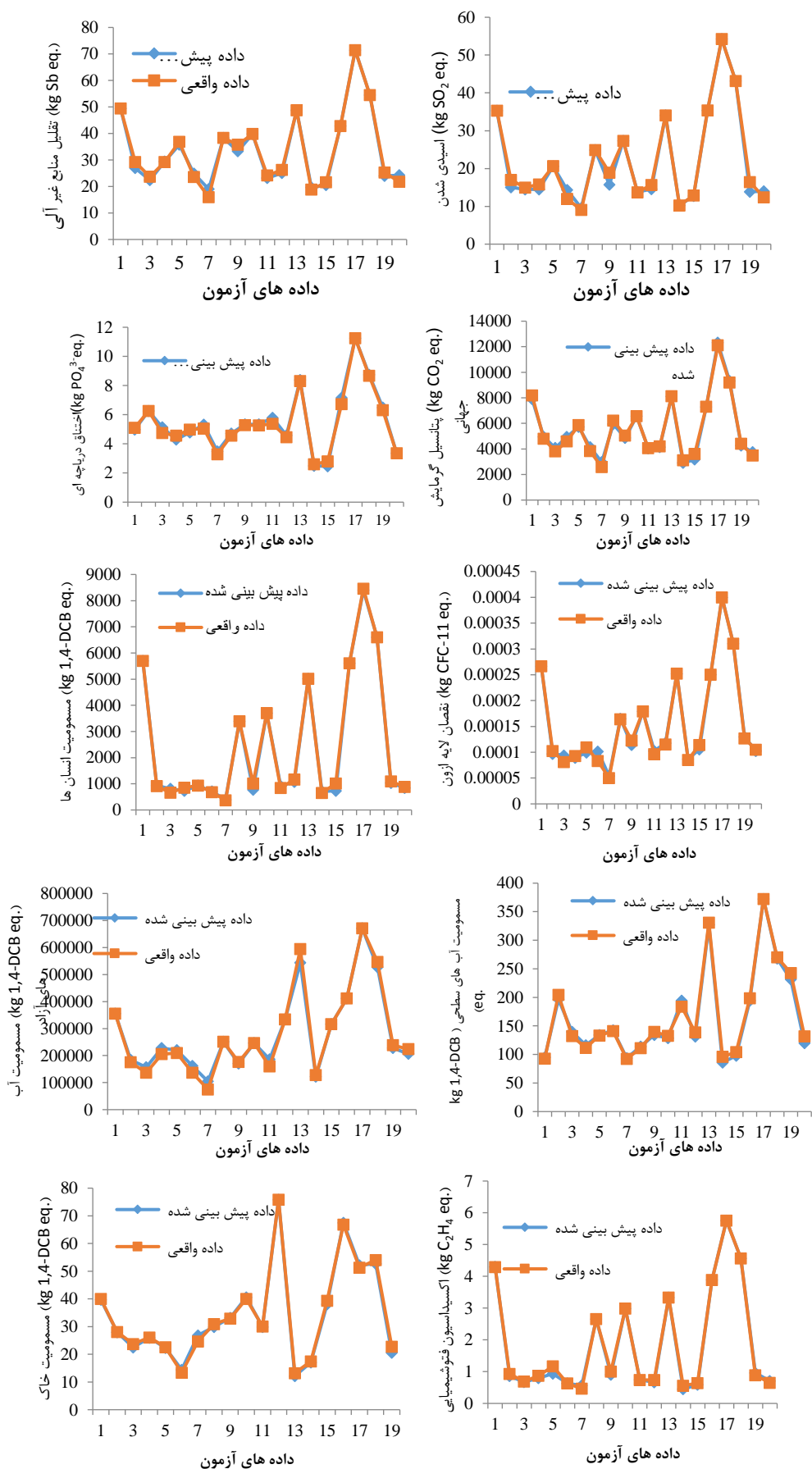
بخش‌های اثر	بازه‌ی تأثیر	عامل گسترش	نسبت پذیرش	نسبت رد	الگوریتم یادگیری	آزمون		
						MAPE	RMSE	R ²
تقلیل منابع غیرآلی	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۹۸
اسیدی شدن	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۹۹
اختناق دریاچه ای	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۱۶	۰/۰۱	۰/۹۸
پتانسیل گرمایش جهانی	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۹۹
نقصان لایه اوزون	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت انسان	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۹۹
مسمومیت آبهای سطحی	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۴	۰/۰۱	۰/۹۸
مسمومیت آبهای آزاد	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۹۹
مسمومیت خاک	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۹۸
اکسیداسیون فتوشیمیایی	۰/۳	۱/۲۵	۰/۵	۰/۱۵	هیبرید	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۹۷

جدول ۱۲. مقادیر آماری سه خوشه‌ی متفاوت برای پیش بینی شاخص‌های زیست‌محیطی بر اساس روش FCM

بخش‌های اثر	الگوریتم یادگیری	آزمون (۴ خوشه)			آزمون (۶ خوشه)			آزمون (۸ خوشه)		
		MAPE	RMSE	R ²	MAPE	RMSE	R ²	MAPE	RMSE	R ²
۱- تقلیل منابع غیرآلی	هیبرید	۰/۴۸۳	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۱
۲- اسیدی شدن	هیبرید	۰/۵۸۴	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۱
۳- اختناق دریاچه ای	هیبرید	۰/۵۰۱	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۱
۴- پتانسیل گرمایش جهانی	هیبرید	۰/۶۸۸	۰/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۱
۵- نقصان لایه اوزون	هیبرید	۰/۴۷۸	۰/۰۵	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۹۵	۰/۰۰	۰/۰۱
۶- مسمومیت انسان	هیبرید	۰/۵۶۸	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰
۷- مسمومیت آبهای سطحی	هیبرید	۰/۳۸۸	۰/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۱
۸- مسمومیت آبهای آزاد	هیبرید	۱/۲۷۴	۰/۰۷	۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۹۷	۰/۰۰	۰/۰۰
۹- مسمومیت خاک	هیبرید	۰/۱۳۵	۰/۰۵	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۹۶	۰/۰۰	۰/۰۱
۱۰- اکسیداسیون فتوشیمیایی	هیبرید	۰/۰۷۲	۰/۰۰	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۱

پیشنهادی)، مشخص شد که مدل ارائه شده در روش GP دارای خطای کمتر و دقت بالاتری می‌باشد.

در یک مقایسه کلی بین بهترین مدل ارائه شده در روش GP (دومین انفیس پیشنهادی) و روش SC (سومین انفیس



شکل ۴. تغییرات بخش های اثر زیست محیطی برای داده های واقعی و پیش بینی شده در داده های آزمون

به تشکیل ممیزی چرخه حیات از طریق پرسش‌نامه، مصاحبه‌ی رو در رو با بهره‌برداران، پایگاه داده‌ای اکوایونت و ضرایب انتشار موجود در مطالعات صورت گرفته استخراج گردید. نتایج نرمال‌سازی نشان داد که بعد از بی‌بعد شدن بخش‌های اثر، نقش مسمومیت آب‌های آزاد از بقیه اثرات بیشتر می‌باشد که این امر ناشی از انتشارات مربوط به تولید الکتروسیسته، کودهای شیمیایی و کود دامی می‌باشد. همچنین شاخص نهایی زیست‌محیطی برای یک تن ماهی پرورش یافته برابر با $5409/10$ پیکو پوینت محاسبه گردید که از این مقدار $7/34$ از سهم کل مربوط به آلاینده‌ها ناشی از مصرف نهاده‌ها (انتشارات مستقیم) و 66 درصد مربوط به آلاینده‌های ناشی از تولید نهاده‌ها (انتشارات غیر مستقیم) می‌باشد. مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و آگاهی دقیق از میزان مصرف این نهاده نقش به‌سزایی در کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. عدم کارایی سیستم‌های آبرسانی، استفاده از الکتروموتورهای فرسوده و عدم آگاهی کشاورزان از نیاز واقعی آب مورد نیاز در مراحل مختلف پرورش ماهی، از دلایل افزایش آلاینده‌های زیست‌محیطی در عملیات آبیاری می‌باشد. بنابراین توصیه به بازنگری سامانه‌های فرسوده و از کارافتاده در بخش آبرسانی می‌گردد. الکتروسیسته‌ی مصرفی در فرآیند تولید در نیروگاه‌ها بارهای محیطی فراوانی ایجاد می‌کنند، لذا با توجه به ساعات آفتابی و درجه تابش خورشید در کشور، مطالعه بیشتر در زمینه‌ی امکان استفاده از انرژی خورشیدی جهت تولید الکتروسیسته پیشنهاد می‌گردد. به‌علاوه اقدامات حمایتی و تشویقی دولت در جهت ایجاد زیر ساخت‌ها و استفاده از انرژی‌های پاک می‌تواند سبب توجه بیشتر کشاورزان به این تکنولوژی شود.

REFERENCES

- Abeliotis, K., Detsis, V. and Pappia, C. (2013). Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *Journal of Cleaner Production*, 41, 89-96.
- Ahmed, S.h., Rahman, A.F.M., Ghulam-Mustafa, M.D., Belal-Hossain, M., Nahar, N. (2014). Nutrient Composition of indigenous and exotic fishes of rainfed Waterlogged Paddy Fields in Lakshmipur, Bangladesh. *Word Journal of Zoology*, 7(2), 135-140.
- Anonymous (2003). PRÉ Consultants. SimaPro 5 Database Manual.
- Anonymous (2010). Database EcoInvent version 2 (www.ecoinvent.org).
- Anonymous (2017). Iran Fisheries Organization [In Persian] (<http://shilat.com/site/vahed>).
- Aubin, J., Papatryphon, E., Vander Werf, H.M.G. and Chatzifotis, S. (2009). Assessment of the

برای طراحی مدل ANFIS با روش FCM، تعداد خوشه‌های مناسب باید قبل از اجرای مدل تعریف گردد. بنابراین، برای پیدا کردن حالت مناسب، ساختارهای متنوعی با تغییر در تعداد خوشه‌ها ایجاد گردید و نتایج سه خوشه‌ی برتر در جدول ۱۲ درج گردید. بر این اساس مدلی با ۸ خوشه و با دقت بسیار بالا (میزان R^2 در همه بخش‌ها بالاتر از $0/99$) و خطای ناچیز (نزدیک به صفر) به عنوان مدل برتر روش FCM شناخته گردید.

به طور کلی در میان مدل‌های ارائه شده در جدول‌های ۵ تا ۱۲، مدل ۸ خوشه‌ای طراحی شده بر اساس روش FCM، با بالاترین سرعت، بالاترین دقت و کمترین خطا قادر به پیش‌بینی بخش‌های اثر زیست‌محیطی در پرورش ماهیان گرم‌آبی استان گیلان می‌باشد. شکل ۴ نمودار تغییرات پیش‌بینی شده و واقعی برای ۳۵ درصد (۲۰ داده) از داده‌های در نظر گرفته شده به عنوان داده‌های آزمون را بر اساس بهترین مدل شناخته شده توسط روش FCM، نشان می‌دهد.

نتایجی مشابه با این تحقیق، در مطالعه‌ی Khoshnevisan *et al.*, (2013b) بر روی مدل‌سازی بخش‌های اثر تولید توت فرنگی در استان گیلان نشان داد که طراحی ANFIS هفت لایه‌ای توسط روش GP، با تابع عضویت ورودی از نوع زنگوله‌ای و تابع عضویت خروجی از نوع خطی، قادر است تا تمامی بخش‌های اثر را با R^2 بالاتر از $0/97$ و RMSE کمتر از $0/07$ مدل نماید.

نتیجه‌گیری

مطالعه‌ی حاضر با هدف بررسی و پیش‌بینی میزان آلاینده‌های زیست‌محیطی ناشی از پرورش ماهیان گرم‌آبی استان گیلان با رویکرد ارزیابی چرخه‌ی حیات صورت پذیرفت. اطلاعات مربوط

environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 17, 354-361.

Brentrup, F., Küsters, J. Kuhlmann, H. and Lammel, J. (2004). Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy*, 20, 247-264.

Chen, X., Samson, S., Tocqueville, A. and Aubin, J. (2015). Environmental assessment of trout farming in France by life cycle assessment: using bootstrapped Principal Component Analysis to better define system classification. *Journal of Cleaner Production*, 87, 87-95.

Chiu, S.L. (1994) Fuzzy model identification based on cluster estimation. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2, 267-278.

- Cochran, W.G. (1977). Sampling Techniques. Third Edition. P.135.
- Dunn, J.C. (1973). A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters. *Journal of Cybernetics*, 3,32–57
- Elhami, B., Akram, A. and Khanali, M. (2016). Optimization of energy consumption and environmental impacts of chickpea production using data envelopment analysis (DEA) and multi objective genetic algorithm (MOGA) approaches. *Information Processing in Agriculture*, 3(3), 190-205.
- Ewoukem, T., Aubin, J., Mikolasek, M.S., Corson, M., Tomedi-Eyango, J., Tchoumboue, H.M.G., Vander Werf, D. and Ombredane, D. (2012) Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *Journal of Cleaner Production*, 28, 208-214.
- FAO. (2014). FAO Yearbook of fishery statistics 2014. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 42-58.
- Fantin, V., Righi, S., Rondini, I. and Masoni, P. (2016). Environmental assessment of wheat and maize production in an Italian farmers' cooperative. *Journal of Cleaner Production*, 140(2), 1-13.
- Forchino, A. A., Lourguioui, H., Brigolin, D. and Pastres, R. (2016). Aquaponics and sustainability: the comparison of two different aquaponic techniques using the Life Cycle Assessment (LCA). *Aquacultural Engineering*, 77, 80-88.
- Guinée, J. B. (2002). Handbook on life cycle assessment operational guide to the ISO standards. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 7(5), 311-313.
- Guinée, J.B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T. and Rydberg T. (2011). Life cycle assessment: past, present, and future. *Environmental Science Technology*, 45(1), 90–96.
- IPCC. (2006). Guidelines for national greenhouse gas inventories. In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES, Japan (www.ipccnggip.iges.or)
- ISO 14040. (2006). Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(2), 36 p.
- Jang, S.R., Sunm, T. and Mizutani, E. (1997). Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence. *Prentice-Hall Inc, Upper Saddle River*. <<http://papers.cumincad.org/cgi-bin/works/Show?d036>>.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., and Sefeedpari, P. (2013a). Prognostication of environmental indices in potato production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 52, 402–409.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S. and Mousazadeh, H. (2013b). Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. *European Journal of Agronomy*, 50, 29-37.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S. and Mousazadeh, H. (2014). Application of multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system for estimation of greenhouse strawberry yield. *Measurement*, 47, 903-910.
- Khoshnevisan, B., Bolandnazar, E., Shamshirband, S., Motamed Shariati, H., Anvar, N.B. and Mat Kiah, M.S. (2015a). Decreasing environmental impacts of cropping systems using life cycle assessment (LCA) and multi-objective genetic algorithm. *Journal of Cleaner Production*, 86, 67–77.
- Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., Shamshirband S. and AbHamid, S.H. (2015b). Developing a fuzzy clustering model for better energy use in farm management systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 27–34.
- Lopez- Andres, J.J., Aguilar-Lasserre, A.A., Morales-Mendoza, L.F., Azzaro-Pantel, C., Perez-Gallardo, J.R. and Rico-Contreras, J.O. (2018). Environmental impact assessment of chicken meat production via an integrated methodology based on LCA, simulation and genetic algorithms. *Journal of Cleaner Production*, 174, 477-491.
- V.Medeiros, M., Aubin, J. and Camargo, A. (2017). Life cycle assessment of fish and prawn production: Comparison of monoculture and polyculture freshwater systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 156, 528-537.
- Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Sharifi, M., Hosseinpour, S. and Shah, A. (2017). Combined application of Life Cycle Assessment and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System for modeling energy and environmental emissions of oilseed production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 807–820.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S. and Mohtasebi, S.S. (2018). Integration of artificial intelligence methods and life cycle assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. *Science of the Total Environment*, 631,1279–1294.
- Naderloo, L., Alimardani, R., Omid, M., Sarmadian, F., Javadikia, P. and Torabi, M.Y. (2012). Modeling of wheat yield and sensitivity analysis based on energy inputs for three year in Abyek town, Ghazvin, Iran. *Agricultural Engineering International*, 15(1), 68-77.
- Nemecek, T. and Kagi, T. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. Ecoinvent report No. 15, Dübendorf, CH: Swiss Centre for Life Cycle Inventories (www. EcoInvent.org/documentation/reports).
- Nemecek, T., Dubois, D., Huguenin-Elie, O. and Gaillard, G. (2011). Life cycle assessment of Swiss farming systems: I. Integrated and organic farming. *Agricultural Systems*, 104(3), 217-232.

- Nguyen, T. L. T., & Hermansen, J. E. (2012). System expansion for handling co-products in LCA of sugar cane bio-energy systems: GHG consequences of using molasses for ethanol production. *Applied energy*, 89(1), 254-261.
- Nikkhah, A., Khojastehpour, M., Emadi, B., Taheri-Rad, A. and Khorramdel, S. (2015). Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 92, 84-90.
- Pahlavan, R., Omid, M. and Akram, A. (2012). Energy input-output analysis and application of artificial neural networks for predicting greenhouse basil production. *Energy*, 37(1), 171-176.
- Phong, L.T., de Boer, I.J.M. and Udo, H.M.J. (2011). Life cycle assessment of food production in integrated agriculture-aquaculture systems of the Mekong Delta. *Livestock Science*, 139, 80-90.
- Rafiee, S., Khoshnevisan, B., Mohammadi, I., Aghbashlo, M., Mousazadeh, H. and Clark, S. (2016) Sustainability evaluation of pasteurized milk production with a life cycle assessment approach: An Iranian case study. *Science of the Total Environment*, 562, 614-627.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.P., Suh, S., Rezaei, E., Karami, A., Yousefi, T. and Mahmoudinezhad, S. (2012). Modeling the free convection heat transfer in a partitioned cavity using ANFIS. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(3), 470-475.
- D'Orbcastel, E., Blancheton, J.P. and Aubin, J. (2009). Towards environmentally sustainable aquaculture: comparison between two trout farming systems using Life Cycle Assessment. *Aquaculture Engineering*, 40(3), 113-119.
- Safa, M. and Samarasinghe, S. (2011). Determination and modeling of energy consumption in wheat production using neural networks: "A case study in Canterbury province, New Zealand". *Energy*, 36, 5140-5147.
- Salehi, H (1999). Strategic analyses of carp culture development in Iran, Ph.D. Theses. 328 p [In Persian].
- Sahle, A. and Potting J. (2013). Environmental life cycle assessment of Ethiopian rose cultivation. *Science of Total Environment*, 443, 163-172.
- Shamshirband, S., Khoshnevisan, B., Yousefi, M., Bolandnazar, E., Anuar, N.B, Abdol Wahab, A.W. and Rehman Khan, S.U. (2015) A multiobjective evolutionary algorithm for energy management of agricultural systems – a case study in Iran. *Renewable Sustainable Energy Reviews*, 44, 457-465.
- Thévenot, A., Aubin, J., Tillard, E. and Vayssières, J. (2013). Accounting for farm diversity in Life Cycle Assessment studies- the case of poultry production in a tropical island. *Journal of Cleaner Production*, 57, 280-292.
- Thrane, M (2006). Environmental impacts from Danish fish products. Department of Development and Planning, Aalborg University of Denmark, pp. 535.
- Vagnoni, E., Franca, A., Breedveld, L., Porqueddu, C., Ferrara, R. and Duce, P. (2014). Environmental footprint of milk production from Mediterranean sheep systems. In Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food), San Francisco, California, USA, October, 2014, pp. 1408-1417.
- Vander Werf, H.M.G., Petit, J. and Sanders, J. (2005). The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. *Agricultural System*, 83(2), 153-177.