



Eco-Efficiency Assessment in Command Area of F1 Unit in Sefidroud Irrigation and Drainage Network

K. Amini¹, S. Janatrostami^{2*}, N. Pirmoradian³ and A. Ashrafzadeh⁴

Abstract

The concept of eco-efficiency is used as a tool to analyze farm sustainability to relate economic value of an activity to its impact on the environment. The practical concept of eco-efficiency is used according to the method of irrigation, the conveyance of water in agricultural fields, the environmental effects of crop productions and the economic value of the crop yield. SEAT and EVAT software are two modeling tools which combine both economic and environmental viewpoints into a single modeling framework and allow the user to evaluate the water consumption system. In this research, the eco-efficiency index with regard to the environmental impacts of diesel fuel was evaluated in one of command areas in Sefidroud Irrigation and Drainage Network. The agricultural lands in this area include paddy rice, tea-garden, and fish-culture ponds. The environmental performance of the system was evaluated for climate change due to greenhouse gas emissions from diesel consumption while the economic performance was measured by using the total value added to the system's final products in relation to the water used and the adopted management practices. Then, the vulnerability of the area was assessed according to eco-efficiency index of climate change. The results showed that the eco-efficiency index in the baseline for paddy rice, tea-garden and fish-culture were calculated as 3.46, 0.76 and 0.02 Million Rials/kg CO₂ eq, respectively. The results showed that eco-efficiency indicator for scenarios 3 (where the paddy rice percent of irrigation efficiency and return flow recycling were considered as 63% and 5%, respectively) and 4 (by replacing 50% of diesel engines with electric motors in fish farming) were increased respectively by 17 and 86% overall in F1 unit, in comparison to the base scenarios. Therefore, to improve the eco-efficiency indicator concern should be given to the management of the agricultural water system, replacement of the diesel engine pumps with electric pumps for groundwater abstraction, adopting new water pricing policies, and increase in the degree of agricultural mechanization.

Keywords: Agricultural Eco-Efficiency, Economic, Environmental Water Management.

Received: July 9, 2017

Accepted: March 23, 2018

ارزیابی شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در واحد عمرانی F1 از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود

کیوان امینی^۱، سمیه جنت‌رستمی^{۲*}، نادر پیرمردیان^۳ و افشین اشرف‌زاده^۴

چکیده

بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در توسعه پایدار، به صورت عملکرد زیست‌محیطی یک محصول کشاورزی با توجه به ارزش آن محصول تعریف می‌شود. مفهوم بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در یک منطقه، با توجه به روش آبیاری، نحوه انتقال آب به مزارع کشاورزی، بررسی اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید محصول زراعی و ارزش اقتصادی محصول تولید شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرم‌افزارهای SEAT و EVAT، دو ابزار مدل‌سازی هستند که با ترکیب دیدگاه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی در یک مدل واحد تحلیل می‌شوند و به کاربر این امکان را می‌دهد تا سیستم مصرف آب را ارزیابی کند. در این مطالعه، شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی با توجه به اثرات زیست‌محیطی مصرف سوخت‌های دیزلی در یکی از واحدهای عمرانی شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود مورد بررسی قرار گرفت. اراضی کشاورزی این منطقه شامل شالیزارهای برنج، باغات چای و استخرهای پرورش ماهی است. عملکرد زیست‌محیطی سیستم آبی منطقه برای پدیده تغییر اقلیم ایجاد شده در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های دیزلی ارزیابی شد، در حالی که عملکرد اقتصادی آن با استفاده از کل ارزش افزوده محصولات نهایی سیستم و با توجه به مصرف آب و روش‌های مدیریتی مورد استفاده اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار این شاخص در شرایط پایه منطقه مورد مطالعه برای شالیزارهای برنج، باغات چای و استخرهای پرورش ماهی به ترتیب ۳/۴۶، ۰/۷۶ و ۰/۰۲ Million Rials/kg CO₂ eq بدست آمد. در ادامه، سناریوهایی در راستای بهبود شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی تعریف و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که از بین سناریوهای تعریف شده سناریوی ۳ (۶۳ درصد راندمان آبیاری و ۵ درصد مصرف آب برگشتی در شالیزارهای برنج) و سناریوی ۴ (جایگزینی نیمی از ماشین‌آلات دیزلی با برقی در استخرهای پرورش ماهی) باعث افزایش ۱۷ و ۸۶ درصدی شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی کل سیستم آب کشاورزی واحد عمرانی F1 شده است. بنابراین، می‌توان با مدیریت آبیاری و افزایش ارزش اقتصادی آب در محصولات تحت آبیاری و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی از طریق جایگزینی موتور پمپ‌های دیزلی با برقی، مقدار شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی را در یک منطقه افزایش داد.

کلمات کلیدی: اقتصاد، کشاورزی، محیط زیست، مدیریت آب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۴/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱/۳

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran. Email: janatrostami@guilan.ac.ir

3- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Todorovic et al. (2016) در ارزیابی سامانه‌های آب کشاورزی حوضه‌ای در ایتالیا و Graham (2004) برای ارزیابی عملکرد تولید محصولات یک کارخانه لبنیات در استرالیا از مفهوم بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی استفاده کردند. Reith and Guidry (2003) در یک مزرعه آزمایشی واقع در بخش جنوب مرکزی Louisiana، برای اصلاح کیفیت زیست‌محیطی مزرعه، از آنالیزهای بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی با هدف تعیین و پیشنهاد استراتژی‌های مدیریتی محصول زراعی استفاده کردند. Maia et al. (2016) ارزیابی شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی را در بخش کشاورزی منطقه آبیاری Monte Novo کشور پرتغال مورد بررسی قرار دادند. Stanchev and Ribarova (2016) پیچیدگی‌ها و فرضیات ارزیابی شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی سیستم‌های آب شهری در شهر سوفیای بلغارستان را بررسی کردند.

در ارزیابی شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی می‌توان با تغییر مقادیر ورودی (زمین، آب، انرژی و غیره) و خروجی (درآمدها، امنیت سیستم تغذیه، انتشار گازهای گلخانه‌ای و غیره) مقدار این شاخص را افزایش داد، که در این زمینه مطالعات متعددی انجام گرفته است. Ju et al. (2009) با کاهش مقادیر کود نیتروژن در مزرعه حبوبات واقع در چین، اثرات زیست‌محیطی را کاهش داده و باعث افزایش شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی شدند. Twomlow et al. (2010) با کاهش مقادیر کود نیتروژن برای ذرت و نیشکر و مدیریت مزرعه‌ای واقع در شمال آفریقا، تولید محصولات را افزایش دادند. Smith (2008) با کاهش حجم آبیاری مزرعه نیشکر در شمال غربی استرالیا باعث افزایش شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی شدند.

کاربرد عملی بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی، مستلزم شناخت کامل حوضه و عوامل مؤثر اقتصادی، زیست‌محیطی و کشاورزی بوده و این که در حوضه مورد نظر چگونه هر کدام از این عوامل بر یکدیگر تأثیر می‌گذارند. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده، هر حوضه مورد مطالعه نیازمند مطالعات خاص خود می‌باشد و شاخص یا معیار استاندارد و از پیش تعریف شده‌ای برای مفهوم بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی وجود ندارد و همه گروه‌های بین‌المللی که در زمینه شاخص‌های بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی مطالعه می‌کنند از روش‌های مشابه برای تعریف شاخص‌ها استفاده می‌کنند (Todorovic et al., 2016).

در کشورهای خشک و نیمه‌خشک مثل ایران توسعه در بخش کشاورزی به‌طور قابل توجهی وابسته به آبیاری است. پایداری در تولید محصول و درآمد کشاورز، افزایش امنیت غذایی، کاهش قیمت مواد غذایی، افزایش اشتغال و توسعه اجتماعی و اقتصادی در مناطق کشاورزی از جمله منافع مهمی است که با وجود آب و استفاده بهینه از آن قابل دستیابی است. تاکنون مطالعات زیادی در راستای افزایش بهره‌وری اقتصادی آب با توجه به کمبود منابع آبی کشور انجام شده است (OhabYazdi et al., 2014; Ahmadi et al., 2016; Hashemi et al., 2017)، در حالی که آبیاری‌های بی‌رویه می‌تواند پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی به دنبال داشته باشد. بنابراین ارزیابی عملکرد یا بهره‌وری سامانه‌های آب کشاورزی اهمیت فراوانی در جلوگیری از پدیدار شدن این مشکلات خواهد داشت. اخیراً کشورهای اروپایی برای رسیدن به اقتصادی پایدار، بهره‌وری اقتصادی و زیست‌محیطی را چارچوب سیاست‌های خود در استراتژی ۲۰۲۰ قرار داده‌اند (O'Brien et al., 2011). تعیین ارتباط بین پارامترهای زیست‌محیطی و اقتصادی و تعاملات بین آن‌ها، پیچیده و دشوار است. نرم‌افزارهای زیادی از جمله STAND (Cencic and Rechberger, 2008)، SimaPro (Goedkoop et al., 2013)، Gubi (Anonymous, 2013) و Umberto NXT LCI (Anonymous, 2015) برای ارزیابی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی در دسترس هستند که محدودیت‌هایی در استفاده از هر یک از این نرم‌افزارها، برای رسیدن به اهداف مورد نظر وجود دارد. به عنوان مثال نرم‌افزارهای Gubi و Sima Pro توانایی ارزیابی زیست‌محیطی سیستم تولید را داشته اما در ارزیابی‌های اقتصادی با محدودیت‌هایی مواجه هستند (Herrmann and Moltesen, 2015).

مفهوم بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی به عنوان یک ابزار مؤثر در تحلیل پایداری سامانه‌های کشاورزی به کار می‌رود که ارزش اقتصادی یک فعالیت را به آثار زیست‌محیطی آن فعالیت مرتبط می‌سازد. تفاوت این روش با روش‌های دیگر در آن است که در این روش، هدف ارزیابی‌ها، بهبود تولید یک محصول و یا یک بخش از تولید نیست بلکه استفاده از نوآوری‌های جدید و بهبود روش‌های مدیریتی سیستم است. این مفهوم همچنین می‌تواند اهمیت استفاده از روش‌های نوین و سهم آن را در حفاظت محیط زیست و منابع طبیعی به صورت کمی نشان دهد. مفهوم بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی که در دهه اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است، تاکنون در چندین منطقه مورد بررسی قرار گرفته است؛ به عنوان مثال،

اصلی تأمین آب اراضی کشاورزی دشت گیلان و به‌ویژه شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود است. مساحت این شبکه در حال حاضر حدود ۱۸۹۰۰۰ هکتار است که از ۱۷ واحد عمرانی تشکیل شده است. واحد عمرانی F1 در محدوده مطالعاتی فومنات در شهرستان‌های شفت و فومن واقع شده است. مساحت اراضی زیرکشت این واحد عمرانی ۲۱۵۷۱ هکتار است که شامل شالیزارهای برنج، باغ‌های چای و استخرهای پرورش ماهی است. آب مورد نیاز این اراضی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی تأمین می‌شود. آب‌های زیرزمینی از طریق پمپاژ از چاه‌های حفر شده در این مناطق به‌دست می‌آید و آب‌های سطحی از طریق سد انحرافی تاریک واقع در ۳۵ کیلومتری پایین‌دست سد مخزنی سفیدرود با استفاده از کانال آب‌بر فومن به واحد عمرانی F1 انتقال داده می‌شود. در این واحد عمرانی، مساحت شالیزارهای برنج ۱۵۰۳۹ هکتار است، که نیاز آبی آن به طور میانگین برابر ۵/۴ میلی‌متر بر روز است (Pirmoradian et al., 2013). با توجه به گزارشات شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان، مساحت باغات چای واحد عمرانی F1، برابر با ۵۰۴ هکتار است که آب مورد نیاز آن در هر هکتار به طور میانگین برابر با ۲۸۰۰ مترمکعب است. علاوه بر این، پرورش ماهی نیز در این منطقه رایج است که با توجه به گزارشات اداره شیلات شهرستان فومن، به طور کلی ۱۵۰۰ هکتار از این واحد عمرانی به استخرهای پرورش ماهی اختصاص داده شده است که در مجموع آب مورد نیاز آن، ۳۴۵۰۰۰۰ مترمکعب است.

۳- روش تحقیق

۳-۱- چارچوب سیستم

در این مطالعه، برای ارزیابی و تعیین شاخص‌ها در بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی از ابزارهای مدل‌سازی جدیدی با عنوان

شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی^۱ (EEI) می‌تواند به صورت نسبتی از عملکرد اقتصادی به زیست‌محیطی/اکولوژیکی یا اثرات سامانه‌ی محصولات یا فرآیندها تعریف شود (Park et al., 2009; Van Meensel et al., 2010; Gómez-Limón et al., 2012). روش EEI، اندازه‌گیری‌های عملکرد اقتصادی و عملکردهای اکولوژیکی یا زیست‌محیطی مرتبط با سامانه‌های محصولات کشاورزی را در یک شاخص بی‌بعد ادغام می‌کند. روش EEI به‌طور گسترده در سراسر جهان با توجه به درک مسائل تصمیم‌کسب و کار استفاده می‌شود، مانند بهینه‌کردن کارایی مصرف منابع در حالی‌که تولید آلودگی حداقل شود (Jollands et al., 2004). از نظر ریاضی، EEI به صورت نسبتی از "ارزش اقتصادی ایجاد شده" به "اثرات زیست‌محیطی" بیان می‌شود (Schaltegger et al., 2003).

در این مطالعه، با توجه به مطالب ذکر شده و اهمیت نقش آبیاری در تولید محصولات کشاورزی، از شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در بخشی از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود برای ارزیابی روش آبیاری و انتقال آب به مزارع کشاورزی تحت شرایط فعلی و شرایط سناریوهای اعمال شده در منطقه استفاده شد. در این ارزیابی‌ها، اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های دیزلی در تولید محصول زراعی و ارزش اقتصادی محصول تولید شده مورد بررسی قرار گرفت.

۲- منطقه مورد مطالعه

روش پیشنهاد شده در این مقاله در واحد عمرانی F1، از شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود واقع در استان گیلان بررسی شد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. رودخانه سفیدرود منبع

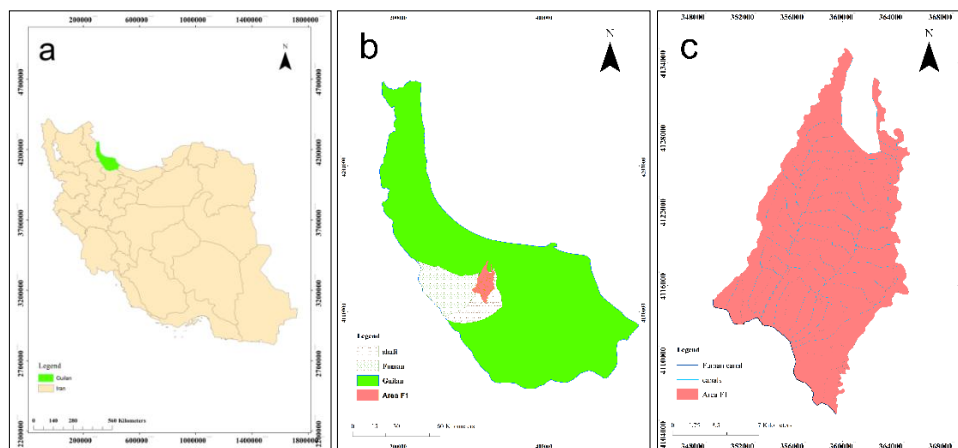


Fig. 1- Case Study, a- Gilan Province, b- cities of Fooman and Shaft, c- Command area of F1

شکل ۱- منطقه مورد مطالعه الف- استان گیلان، ب- شهرستان فومن و شفت، ج- واحد عمرانی F1

مورد نیاز برای آماده‌سازی مقدمات تولید محصول، تولید محصول و انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. هر یک از لینک‌های رسم شده در این شکل، زنجیره تأمین آب، مسیر توزیع انرژی، تخصیص اراضی مورد نیاز جهت کشت و پرورش محصولات، تولید محصولات و مقادیر مصرفی کودها و سموم کشاورزی، آب برگشتی به منابع سطحی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را نشان می‌دهند.

۳-۲- ابزارهای مدل‌سازی SEAT و EVAT برای محاسبه شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی

هدف از بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در سامانه‌های مصرف آب، تجزیه و تحلیل پارامترهای زیست‌محیطی و اقتصادی سامانه و توصیف چگونگی ارتباط و تبادلات این دو پارامتر است. به دلیل پیچیده بودن تعیین تبادلات زیست‌محیطی و اقتصادی، در محاسبات و فهم آسان‌تر ارتباطات بین این دو پارامتر از ابزارهای مدل‌سازی SEAT (تجزیه و تحلیل زیست‌محیطی) و EVAT (ارزیابی اقتصادی سیستم) استفاده شده است. این ابزارها، دو دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی را در یک چارچوب مدل‌سازی ترکیب می‌کنند.

SEAT و EVAT استفاده شده است که توسط تیم تحقیقاتی اکواتر^۲ ارائه شده است (Todorovic et al., 2016). این مدل‌ها برای شبیه‌سازی سیستم‌های آب در منطقه، به همراه اجزاء مرتبط با آن همانند برقایی، آب شرب، آب کشاورزی و آثار این عوامل بر یکدیگر و محیط زیست، به کار می‌روند. برای رسیدن به اهداف مورد بررسی در این مطالعه، داده‌ها و اطلاعات مربوط به آب سطحی و زیرزمینی، سموم و کودهای استفاده شده در بخش کشاورزی، انرژی‌های مصرفی (انرژی‌های مصرف شده برای ماشین‌آلات کشاورزی و پمپاژ آب زیرزمینی)، تولید محصولات کشاورزی و هزینه‌های مربوط به تأمین انرژی و نهاده‌های کشاورزی برای سال زراعی ۱۳۹۵ گردآوری شد. مقادیر کاربرد آب سطحی و زیرزمینی، انرژی مصرفی، انواع سموم و کودهای کشاورزی و تولید محصولات چای، برنج و ماهی در جداول ۱ تا ۳ ارائه شده است.

سامانه مورد مطالعه که در شکل ۲ نشان داده شده است از دو بخش اصلی "تهیه و تأمین آب" و "تولید محصول (چای، برنج، ماهی)" تشکیل شده است. در این سامانه هر فرآیند توسط یک گره نشان داده شده است؛ هر کدام از لینک‌ها نشان دهنده تهیه و توزیع منابع اولیه

Table 1- Information related to command area of F1

جدول ۱- اطلاعات مربوط به واحد عمرانی F1

Product	Source	Cultivated area (ha)	Yield (kg/ha)	Water use (Mm ³)		Consumed energy (kwh)	
				Surface water	Ground water	Water pump	Agricultural machinery
Rice		15039	3535	169.23	3.17	2550847	35482014
Tea		504	7000	-	3.06	3656215	-
Fish		1500	3000	31.5	4.5	2210734	822631

Table 2- Used herbicides and pesticides in the study area

جدول ۲- سموم و آفت‌کش‌های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

Product	Pesticide			
	Fipronil (kg/ha)	Cartap hydrochloride (kg/ha)	Diazinon 60% (l/ha)	Diazinon 10% (kg/ha)
Rice	40	30	-	2
Tea	-	-	1.5	-
Fish	-	-	-	-

Table 3- Used fertilizers and manure in the study area

جدول ۳- کودهای مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

Product	Fertilizer (kg/ha)					
	Urea	Potassium chloride	Phosphate	Potassium magnesium sulfate	Dolomite	Manure
Rice	200	200	50	-	-	-
Tea	800	-	100	300	200	-
Fish	250	-	250	-	-	1000

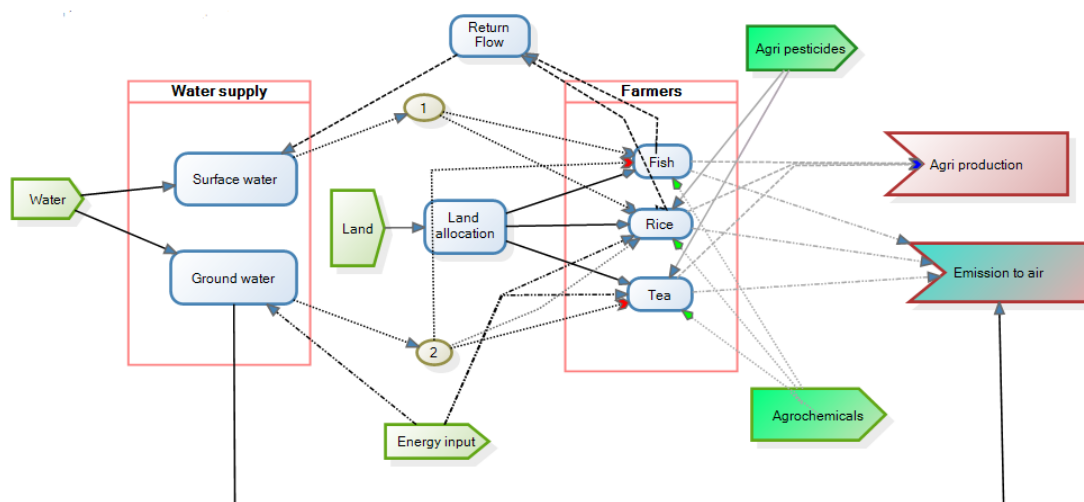


Fig. 2- Flowchart of model in SEAT and EVAT

شکل ۲- فلوچارت مدل‌های در SEAT و EVAT

زنجیره‌ها در هر فرآیند و مرحله با استفاده از ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم، ۴- ارائه نتایج به محیط جداول اکسل.

روش مدل‌سازی نرم‌افزار SEAT بر اساس اصول آنالیز جریان مواد^۴ (MFN) (Huang et al., 2012) و شبکه‌های جریان مواد^۵ (Wohlgmuth et al., 2006) است، که جریان‌های مواد و انرژی را در زنجیره‌های تولید، مدل می‌کند. محیط این نرم‌افزار در شکل ۳ نمایش داده شده است.

ب- تجزیه و تحلیل زنجیره ارزش اقتصادی: برای تعیین زنجیره ارزش اقتصادی در عملگرهای سامانه مدل‌سازی شده در SEAT و تعاملات بین آن‌ها، ابزار مدل‌سازی EVAT، به SEAT اضافه شده است. نرم‌افزار EVAT، کل ارزش افزوده مصرف آب و خروجی اقتصادی خالص را برای هر عملگر محاسبه می‌کند. این نرم‌افزار، بر اساس مدل توسعه داده شده در SEAT ساخته می‌شود و اطلاعات اقتصادی را از کاربر دریافت می‌کند. به عبارت دیگر، ابتدا مدل تهیه شده در SEAT، در نرم‌افزار EVAT فراخوانی می‌شود و ارزش اقتصادی هر یک از فعالیت‌ها، ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه توسط کاربر تعیین می‌شود. در پایان، با استفاده از معادله‌های ۱، ۲ و ۳، کل ارزش افزوده^۶ و خروجی اقتصادی خالص عملگرها تخمین زده می‌شود.

EVAT، ارزش افزوده محصول نهایی را با توجه به مصارف آب و انرژی هر مرحله، مورد بررسی قرار می‌دهد و به صورت مقادیر مالی ارائه می‌کند.

الف- تجزیه و تحلیل سیستماتیک زیست‌محیطی: نرم‌افزار SEAT، ابزاری است که توانایی نمایش کل سیستم تأمین و مصرف آب، فرآیندهای بین آن‌ها و اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر را دارد. مدل نمایشی ساخته شده در SEAT، برای اندازه‌گیری عملکرد زیست‌محیطی سیستم و محاسبه شاخص‌های بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی طراحی شده است. در این نرم‌افزار می‌توان اطلاعات مربوط به مقادیر اولیه منابع آب، منابع انرژی مورد نیاز برای تأمین آب، گازهای گلخانه‌ای، محصولات تولیدی و منابع دیگری که هزینه‌ها و درآمدهایشان در روند تحلیل‌ها قابل تخمین باشد، را وارد نمود. در استفاده از این نرم‌افزار، مدل سیستم آب و چگونگی اثرات متقابل بین عملگرهای سیستم در SEAT ساخته شده و نتایج این نرم‌افزار، به عنوان ورودی، وارد نرم‌افزار EVAT می‌شود. عملگرها شامل مراحل مختلف چرخه حیاتی آب هستند که آن‌ها را می‌توان با توجه به نقش و عملکردشان به عملگرهای مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد. عملگرهای مستقیم کاربران مصرف آب هستند در حالی که، عملگرهای غیرمستقیم شامل مواردی مانند سازمان‌های دولتی و مدیران آب منطقه‌ای هستند که از طریق وضع قوانین و مدیریت بر نحوه تأمین و مصرف آب مداخله می‌کنند.

SEAT، به عنوان یک ابزار مدل‌سازی گرافیکی در تعاملات زیست‌محیطی قابلیت‌های اصلی زیر را دارد: ۱- طراحی سیستم مورد مطالعه به همراه مراحل و فرایندهای سیستم مصرف آب، ۲- نمایش زنجیره‌های مصرف آب و تولید محصول، ۳- محاسبه خودکار جریان

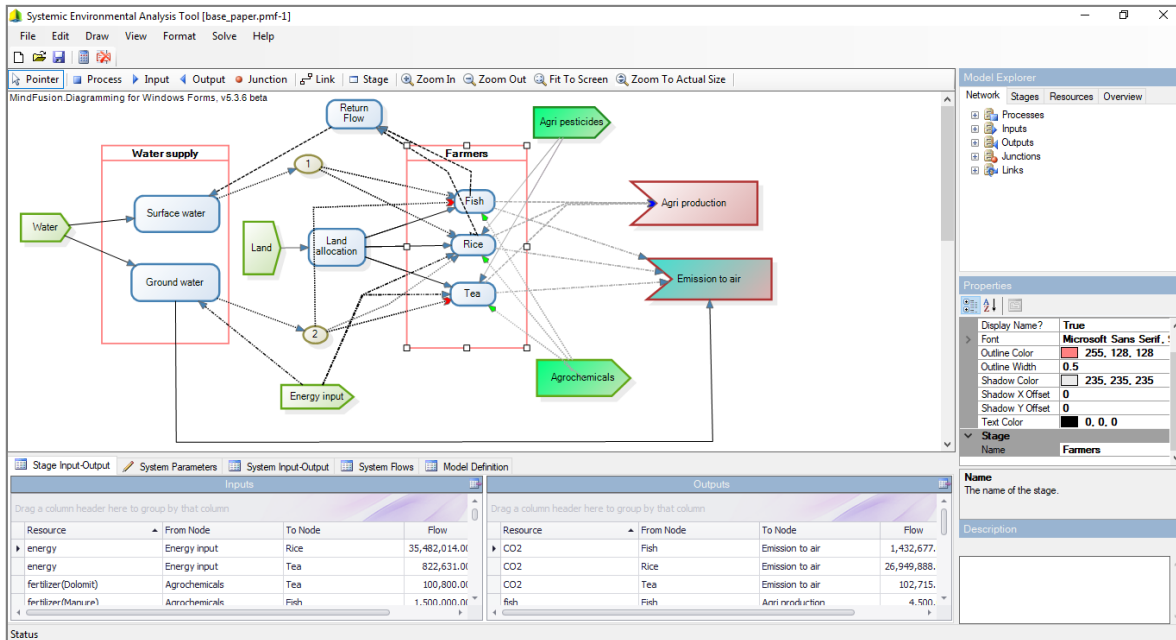


Fig. 3- Environment of SEAT software
شکل ۳- محیط نرم افزار SEAT

EVAT، مشابه محیط تعاملی SEAT، بر اساس نمایش شبکه مدل فیزیکی عمل می کند و قابلیت های زیر را دارد:

- ۱- مدیریت عملگرها، شامل تعیین عملگرهای سیستم آب و مراحل مربوط به هر عملگر؛
- ۲- تعیین هزینه های مالی فرآیندهای سیستم و درآمدهای تولید محصولات یا خدمات؛
- ۳- آنالیز تعاملات اقتصادی بین عملگرها با تعیین و کمی سازی خدمات آب بین عملگرها و
- ۴- محاسبه، نمایش و گزارش نتایج است.

نمایی از محیط نرم افزار EVAT در شکل ۴ نشان داده شده است. "stage view" و "actor view"، دو بخش مهم EVAT هستند. در stage view، هزینه های مربوط به هر مرحله از تأمین و مصرف آب و درآمدهای محصول تولیدی تعریف می شود. در actor view، خروجی های اقتصادی خالص عملگرها محاسبه می شود.

در این مطالعه، کل سیستم مصرف آب، به دو مرحله^{۱۵} مجزا تقسیم شد. مرحله اول مربوط به تأمین آب است، که به دو فرآیند^{۱۶} تأمین آب های سطحی و آب های زیرزمینی تقسیم می شود و در آن کل آب و انرژی مورد نیاز برای تأمین آب زیرزمینی وارد سیستم می شود. مرحله بعدی مربوط به عملیات کشاورزی است که در این مرحله مقادیر کود و سم مورد نیاز مزارع چای و برنج و استخرهای پرورش ماهی و انرژی لازم برای ماشین آلات کشاورزی، به عنوان ورودی و محصولات

خروجی EVAT، مقادیر مالی است که کل ارزش افزوده (TVA) محصول تولید شده را با توجه به مصارف به صورت معادله زیر تعریف می کند:

$$TVA = EVU - TFC_{ws} - TFC_{ww} - TIC \quad (1)$$

که EVU، ارزش افزوده اقتصادی^۷ ناشی از مصرف آب؛ TFC_{ws} ، هزینه تأمین آب^۸ هر یک از مصارف؛ TFC_{ww} ، هزینه تصفیه فاضلاب و TIC، هزینه سرمایه گذاری کل سالانه و سایر هزینه های اضافی که باعث ارتقای زنجیره ارزش سیستم می شود.

به عبارت دیگر، EVU، کل سودهای مصرف مستقیم آب است که با استفاده از روش ارزش باقیمانده تخمین زده می شود:

$$EVU = TVP - EXP_{NW} \quad (2)$$

که TVP، کل ارزش محصولات در بازار^۹ و EXP_{NW} ، هزینه های غیروابسته به آب در مرحله مصرف آب است. تمام عبارتهای معادله ۱ و ۲ بر حسب واحد پول در سال است.

EVAT برای محاسبه سود خالص خروجی^{۱۰} هر عملگر i (NEO_i)، از معادله زیر استفاده می کند:

$$NEO_i = WS_i - VP_i - FC_i - IC_i \quad (3)$$

که WS_i ، درآمد خالص عملگرها از خدمات آب^{۱۱} (درآمدهای ناشی از خدمات منهای هزینه های خدمات دریافتی) را نشان می دهد؛ VP_i ، ارزش محصول (ها)^{۱۲}؛ FC_i ، هزینه های مالی^{۱۳} و IC_i ، هزینه های سرمایه گذاری سالانه^{۱۴} هر عملگر هستند.

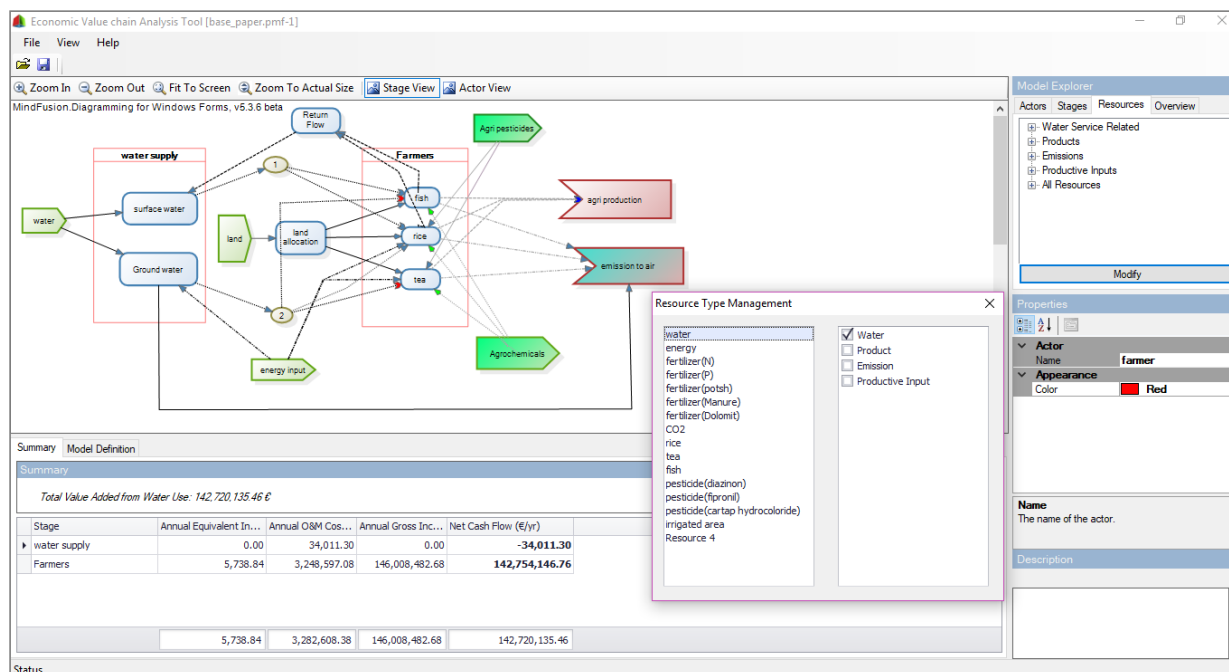


Fig. 4- Environment of EVAT software

شکل ۴- محیط نرم افزار EVAT

است. خروجی دیگری که در این سامانه مورد بررسی قرار گرفت، اثرات زیست محیطی مواردی است که برای تولید محصولات کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این موارد اثرات منفی ناشی از بقایای مواد مصرفی کشاورزی در محیط زیست باشد، مانند نیتروژن و فسفر ناشی از مصرف کودهای کشاورزی، انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر مصرف انرژی و ورود پساب‌های آلوده به سموم مصرفی و کودها به منابع آب سطحی و زیرزمینی و خاک‌ها می‌باشد که اکوسیستم پایین دست را به مخاطره می‌اندازد.

کشاورزی و انتشار آلاینده‌های ناشی از فعالیت کشاورزی به عنوان خروجی سیستم مصرف آب لحاظ گردید. برای ورود قیمت‌های مربوط به هرکدام از منابع، محصولات کشاورزی (جدول ۵) در محیط EVAT، مدل تهیه شده در SEAT را فراخوانی کرده و همه هزینه‌ها مطابق با جدول ۴ وارد شدند.

هدف اصلی سامانه مصرف آب تعریف شده در این مطالعه، تولید محصول کشاورزی است که به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته شده

Table 4- The unit costs of consumed materials

جدول ۴- قیمت هر واحد مواد مصرفی

Material	Cost (Rials)	Material	Cost (Rials)
Power energy (kwh)	145	Fertilizer (Urea) (kg)	7500
Diesel (L)	3000	Fertilizer (Manure) (kg)	200
Fertilizer (Potassium chloride) (kg)	6000	Pesticide (Diazinon 10%) (L)	85000
Fertilizer (Phosphate) (kg)	15000	Pesticide (Diazinon 60%) (L)	380000
Fertilizer (Potassium magnesium sulfate) (kg)	15000	Pesticide (Cartap hydrochloride) (kg)	46000
Fertilizer (Dolomite) (kg)	11000	Pesticide (Fipronil) (kg)	45000

با توجه به اینکه در این مطالعه، فقط اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های دیزلی مورد بررسی قرار گرفت، بنابراین مقدار انتشارات گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت دیزلی برای تأمین انرژی مورد نیاز کشاورزی ارزیابی شد. مصرف سوخت دیزلی منجر به انتشار گاز دی‌اکسید کربن (CO₂)، گاز متان (CH₄) و اکسید نیتروژن

Table 5- The unit price of productions

جدول ۵- قیمت فروش یک واحد از محصولات

Product	Price (Rials)
Rice (kg)	45000
Tea Leave (kg)	25800
Fish (kg)	80000

محصول چای، برنج و ماهی به ترتیب ۳۴۰۴، ۸۵۰ و ۲/۴ ساعت در هکتار است. ساعت‌های استفاده از نیروی انسانی در تولید محصول برنج شامل مراحل آماده‌سازی زمین (شخم، مرزبندی و ماله‌کشی)، داشت (وجین، کوباشی و سمپاشی)، برداشت (درو، دسته‌بندی و جمع‌آوری)، خرمکوبی و کیسه‌گیری و تبدیل شلتوک به برنج سفید است و در تولید محصول چای شامل وجین (۲ مرتبه) و برداشت محصول (۴ مرتبه) است. در استخرهای پرورش ماهی نیز نیروی کارگری برای نگهداری در کل دوره رشد ماهی است.

راندمان آبیاری: با توجه به آمار موجود در منطقه، راندمان مصرف آب در باغات چای و استخرهای پرورش ماهی ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. اما اندازه‌گیری راندمان‌ها در اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه نشان داد که حد پایین راندمان‌های انتقال، توزیع و کاربرد مزرعه به ترتیب ۸۸، ۹۰ و ۶۴ درصد و حد بالای آن‌ها به ترتیب برابر با ۹۷، ۹۷ و ۶۷ درصد به‌دست آمد (Pirmoradian, 2017). در ادامه، برای تعیین تابع تولید برنج نسبت به آب از نتایج پژوهش (Zekri (2014) استفاده شد (معادله ۴ و شکل ۵).

$$P = -0.0033AW^2 + 27.43AW - 52844 \quad (4)$$

که، P ، محصول (کیلوگرم در هکتار) و AW ، مقدار آب مصرفی خالص (مترمکعب در هکتار) است. محاسبه شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی - اقتصادی: از نظر ریاضی، شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی - اقتصادی (EEI) به صورت نسبتی از "ارزش افزوده اقتصادی" به "اثرات زیست‌محیطی" بیان می‌شود (Schaltegger et al., 2003):

$$EEI = \frac{\text{ارزش افزوده اقتصادی}}{\text{اثرات زیست محیطی یا اکولوژیکی}} \quad (5)$$

(N_2O) در محیط می‌شود. هر لیتر سوخت دیزلی $2/66 \text{ kg-CO}_2$ ، $0/000383 \text{ kg-CH}_4$ و $0/00076 \text{ kg-N}_2O$ تولید می‌کند. با توجه به اینکه هر کیلوگرم CH_4 معادل با ۲۵ کیلوگرم CO_2 و هر کیلوگرم N_2O معادل با ۲۹۸ کیلوگرم CO_2 است (IPCC, 2006)، سوخت هر لیتر دیزل $2/89 \text{ kg-CO}_2 \text{ eq}$ منتشر می‌کند (IPCC, 2006).

در باغات چای استان گیلان استفاده از ماشین‌های کشاورزی کاربرد کمی دارد طوری که استفاده از بسیاری از ماشین‌آلات مانند تراکتورهای کشاورزی در منطقه رایج نیست و بیشتر عملیات کشت و کار چای به صورت دستی انجام می‌شود. تولید برنج در اراضی شالیزاری واحد فومنت تقریباً به صورت نیمه‌مکانیزه است. در این روش علاوه بر تیلر برای تهیه و آماده‌سازی زمین از دستگاه خرمکوب و دروگر نیز استفاده می‌شود. در استخرهای پرورش ماهی برای انجام هوادهی، انتقال آب و تأمین روشنایی در شب از پمپ‌های هواده، ژنراتور و پمپ‌های آب استفاده می‌شود. پمپ‌های هواده، ژنراتور و تقریباً نیمی از موتور پمپ‌های مورد استفاده در استخرهای پرورش ماهی به‌صورت دیزلی و بقیه به‌صورت برقی هستند. با توجه به موارد ذکر شده و آمار موجود، مصرف الکتریسیته در استخرهای پرورش ماهی ۱۲۰۰ کیلووات‌ساعت در هکتار است و مقادیر کل مصرف سوخت‌های دیزلی باغات چای، استخرهای پرورش ماهی و شالیزارهای برنج به ترتیب ۱۵۴/۸۹، ۱۲۶۰۰ و ۱۰۴/۶۸ لیتر در هکتار است. لازم به ذکر است که هر لیتر سوخت دیزلی $9/93 \text{ kWh}$ انرژی تولید می‌کند.

به دلیل پایین بودن مساحت اراضی شالیزاری و باغات چای، استفاده از ماشین‌آلات کشاورزی به صورت کشاورزی کاملاً مکانیزه در منطقه مورد مطالعه رایج نیست و این مسأله در باغات چای بیشتر قابل توجه است. تعداد کل ساعت‌های استفاده از نیروی انسانی در دوره کشت سه

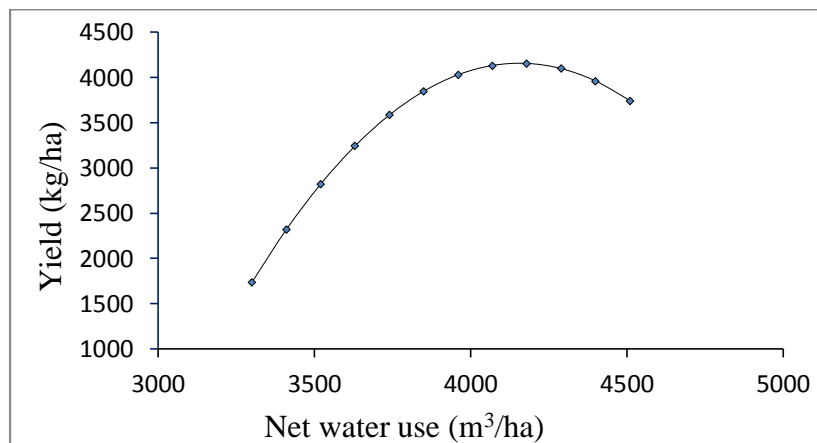


Fig. 5- Diagram of rice production function

شکل ۵- نمودار تابع تولید برنج

تعریف سناریوها: در این بخش، روش‌های مدیریتی که در شالیزارهای برنج باعث تغییر در راندمان‌های آبیاری و مقادیر آب برگشتی می‌شود، مورد ارزیابی شد. بنابراین با توجه به مقادیر حد پایین و بالای راندمان‌های اندازه‌گیری شده در شالیزارهای برنج منطقه، سعی گردید سناریوهایی تعریف شود که در منطقه قابل اجرا باشد. لازم به ذکر است که در تعریف سناریوهای مدیریتی، راندمان مصرف آب در باغات چای و استخرهای پرورش ماهی مورد ارزیابی قرار نگرفت، زیرا سیستم‌های آب مصرفی آن‌ها سنتی بوده و برای افزایش راندمان مصرف آب لازم است این سیستم‌ها به صورت دقیق دوباره طراحی و اجرا شود. از طرفی، به دلیل مصرف بالای سوخت‌های فسیلی در ماشین‌آلات مورد استفاده در استخرهای پرورش ماهی، سناریویی در این راستا نیز در نظر گرفته شد. بنابراین، سناریوهای مورد بررسی و سناریوی شرایط فعلی (پایه) به صورت زیر تعریف شدند:

سناریوی پایه: راندمان آبیاری شالیزارهای برنج، ۵۰ درصد و مصرف آب برگشتی، ۳۵ درصد،
سناریوی ۱: راندمان آبیاری شالیزارهای برنج، ۴۳ درصد و مصرف آب برگشتی، ۳۰ درصد،
سناریوی ۲: راندمان آبیاری شالیزارهای برنج، ۵۵ درصد و مصرف آب برگشتی، ۳۰ درصد،
سناریوی ۳: راندمان آبیاری شالیزارهای برنج، ۶۳ درصد و مصرف آب برگشتی، ۵ درصد،
سناریوی ۴: در این سناریو ۵۰ درصد از انرژی مصرفی ماشین‌آلات دیزلی از طریق الکتریسیته تأمین می‌شود.

۳- نتایج و تحلیل آن

در جدول ۶ مقادیر جریان اجزای چرخه زندگی در شرایط پایه منطقه مورد مطالعه آورده شده است. داده‌های این جدول از مدل تهیه شده در SEAT به دست آمده و به صورت سالانه است. با توجه به این نتایج، بخش عمده‌ای از منابع آب (تقریباً ۹۵٪) برای تأمین نیازهای کشاورزی در واحد عمرانی F1 از منابع آب‌های سطحی است و تنها ۵٪ از آب مورد نیاز اراضی کشاورزی از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌شود. مقدار محصولات تولیدی نیز بر حسب تن در سال در این جدول آورده شده است که با توجه به این نتایج تقریباً ۸۷٪ کل محصولات در این واحد مربوط به برنج است، ماهی و چای نیز به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در این مطالعه، اثرات زیست‌محیطی مصرف کودها و سموم شیمیایی در این مطالعه بررسی نشد، در حالی که، مصرف کودها و سموم در مزارع کشاورزی، علاوه بر انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث ورود انتشارات نیتروژن و فسفر به آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود.

مقادیر قابل توجه مصرف کودها و سموم در اراضی کشاورزی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که این عوامل سهم زیادی در انتشار گازهای ورودی به هوا و آب دارند (جدول ۶). بنابراین عدم مدیریت مصرف کودها و سموم در کشاورزی می‌تواند باعث اثرات جبران‌ناپذیری در محیط زیست شود.

مجموع کل انرژی مورد نیاز برای انحراف و توزیع آب‌های سطحی در مزارع کشاورزی، پمپاژ آب‌های زیرزمینی و تأمین سوخت ماشین‌آلات مورد استفاده در کشاورزی تقریباً ۲۰۹ میلیون کیلووات‌ساعت است که فقط ۱/۹٪ آن توسط نیروی الکتریسیته تأمین می‌شود، بنابراین سوخت‌های دیزلی نقش مهمی در کشاورزی منطقه دارد. معمولاً در شالیزارهای برنج، کشاورزان با استفاده از نیروی ثقل آب‌های سطحی را منحرف نموده و آن را در مزارع توزیع می‌کنند، اما برای انتقال آب از کانال‌ها به درون استخرهای پرورش ماهی معمولاً از پمپ‌های آب استفاده می‌شود که اغلب این پمپ‌ها به صورت برقی هستند و تقریباً ۱/۸ میلیون کیلووات‌ساعت انرژی در این بخش مصرف می‌شود. از طرفی برای استخراج و پمپاژ آب‌های زیرزمینی در منطقه از پمپ‌های آب استفاده می‌شود که این پمپ‌ها به صورت دیزلی و برقی هستند. بررسی چاه‌های مورد بهره‌برداری در منطقه نشان داد که از تعداد ۱۴۱۴ حلقه چاه فعال در منطقه فقط ۴۵۷ حلقه چاه با پمپ برقی کار می‌کند، به عبارت دیگر، تقریباً ۶۸٪ چاه‌های فعال در منطقه با پمپ‌های دیزلی کار می‌کنند. با توجه به اینکه هر لیتر سوخت دیزلی، تقریباً ۹/۹۸ کیلووات ساعت انرژی تولید می‌کند، کل انرژی مصرفی برای استخراج آب زیرزمینی ۳/۷ میلیون کیلووات‌ساعت است که تقریباً ۵۷٪ آن از طریق پمپ‌های برقی برای استخراج ۶۰۷۱۴۲۲ مترمکعب آب زیرزمینی و ۴۳٪ آن از طریق پمپ‌های دیزلی برای استخراج ۴۵۰۷۹۲۳ مترمکعب آب زیرزمینی صرف می‌شود.

علاوه بر مصرف انرژی برای انحراف آب‌های سطحی و استخراج آب‌های زیرزمینی تقریباً ۲۰۴ میلیون کیلووات‌ساعت برای تأمین انرژی مورد نیاز ماشین‌آلات کشاورزی استفاده می‌شود که تقریباً کل این انرژی از طریق سوخت دیزل تأمین می‌شود. بیشترین انرژی مصرفی در استخرهای پرورش ماهی مصرف می‌شود که حدود ۱۸۷ میلیون کیلووات‌ساعت است، همچنین انرژی مصرفی ماشین‌آلات در باغات چای و شالیزارهای برنج به ترتیب ۷۷۵ هزارکیلو وات ساعت و ۱۵/۶ میلیون کیلو وات ساعت است. با توجه به سطح زیرکشت باغات چای و شالیزارهای برنج و در نظر گرفتن کاربرد کم ماشین‌آلات کشاورزی در باغات چای منطقه مورد مطالعه، انرژی مصرفی ماشین‌آلات در یک هکتار باغات چای تقریباً ۱/۵ برابر انرژی مصرفی در یک هکتار شالیزارهای برنج است.

محاسبه شده است. لازم به ذکر است که هزینه مالیات انتشار آلاینده‌ها به هوا و آب از طرف سازمان‌های مربوطه اعمال نشده است.

با توجه به نتایج، کل ارزش افزوده محصولات در سیستم تحت آبیاری واحد عمرانی F1، ۱۹۳۳۷۱۵/۰ میلیون ریال برآورد شد که معادل ۱۱۳/۵ میلیون ریال در هکتار است (جدول ۷). مقادیر ارزش افزوده هر یک از کاربری‌های مختلف نشان داد که شالیزارهای برنج دارای بیشترین سودآوری (۱۱۸ میلیون ریال در هر هکتار) و باغات چای دارای کمترین سودآوری (۵۸ میلیون ریال در هر هکتار) است.

با توجه به تعریف شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی و مقدار کل ارزش افزوده در شرایط پایه، مقدار این شاخص در پدیده تغییر اقلیم ناشی از مصرف سوخت‌های دیزلی برای کل سیستم آبی واحد عمرانی F1 معادل ۰/۲۹ Million Rials/kg-CO₂ eq به دست آمد که برای شالیزارهای برنج، باغات چای و استخرهای پرورش ماهی به ترتیب معادل ۳/۴۶ Million Rials/kg-CO₂ eq، ۰/۷۶ و ۰/۰۲ برآورد شد.

در ادامه، به دلیل اینکه حدود ۹۸٪ انرژی مورد نیاز در منطقه از طریق سوخت‌های دیزلی تأمین می‌شود، اثرات زیست‌محیطی مصرف این سوخت‌ها مورد بررسی قرار گرفت. از مهمترین اثرات زیست‌محیطی مصرف سوخت‌های دیزلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای است که مقادیر آن در جدول ۶ آورده شده است.

انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث ایجاد پدیده تغییر اقلیم می‌شود. فاکتور اثرات زیست‌محیطی سوخت دیزلی بر تغییر اقلیم، ۰/۳۸۱۹۹ است (ELCD, 2013)، که از حاصلضرب این مقدار در مجموع سوخت دیزلی مصرفی بر حسب کیلوگرم، مقدار اثرات سوخت دیزلی بر پدیده تغییر اقلیم بر حسب kg-CO₂ eq بدست می‌آید که برای شالیزارهای برنج، باغات چای و استخرهای پرورش ماهی به ترتیب ۰/۵۱۴ Million kg-CO₂ eq، ۰/۰۳۸ و ۶/۰۱۱ به دست آمد.

نتایج ارزیابی عملکرد اقتصادی هر یک از محصولات کشاورزی با توجه به داده‌های اقتصادی ارائه شده و جریان‌های اجزای چرخه زندگی

Table 6- Life cycle inventory flows of the case study
جدول ۶- جریان‌های چرخه تولید محصول در منطقه مورد مطالعه

Resource	parameter	Flow	Unit
Water resources	Surface water	228058020	m ³
	Groundwater	10580003	m ³
Supplementary resources	Electricity	3924997.7	kWh
	Diesel fuel	205662564.3	kWh
	Fertilizer (Urea)	3786000	kg
	Fertilizer (Phosphorus)	1177350	kg
	Fertilizer (Potsh)	3159000	kg
	Fertilizer (Dolomite)	100800	kg
	Fertilizer (Manure)	1500000	kg
	Pesticide (Diazinon-10)	1082808	kg
	Cartap hydrochloride	451170	kg
	Pesticide (Fipronil)	601560	kg
	Pesticide (Diazinon-60)	756	Lit
	Land	17043	ha
	Emissions to air	Carbon dioxide (CO ₂)	55091914.9
Methane (CH ₄)		198310.2	kg-CO ₂ eq
Nitrous oxide (N ₂ O)		4718456.8	kg-CO ₂ eq
Products	Rice	53162.9	ton
	Tea	3528	ton
	Fish	4500	ton

Table 7- Economic performance of the case study for different actors
جدول ۷- عملکرد اقتصادی کاربری‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه

Actor	Cost (Milion Rials/yr)	Income (Milion Rials/yr)	Net economic output (Milion Rials/yr)	Net economic output (Milion Rials/ha-yr)
Fish	234359.3	360000.0	125640.7	83.8
Tea	111274.9	140433.8	29158.9	57.9
Rice	613396.3	2392311.7	1778915.4	118.3
Total value added			1933715.0	113.5

پس از تعیین شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی برای شرایط فعلی منطقه، سناریوهایی برای ارزیابی تغییر راندمان‌های آبیاری و مقادیر آب برگشتی در صورت اعمال روش‌های مدیریت آب در شالیزارهای برنج بررسی شد. نتایج اجرای این سناریوها به صورت جدول ۸ آورده شده است.

با اجرای سناریوی ۲، با توجه به نتایج به‌دست آمده در سناریوهای ۱ و پایه انتظار می‌رود محصول برنج در این سناریو نیز با افزایش مقدار آب مصرفی به همان نسبت افزایش یابد، در حالی که با توجه به تابع تولید مورد استفاده در این تحقیق، محصول برنج برای سناریوی ۲، ۲۰۳۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست می‌آید. با توجه به شکل منحنی تابع تولید، با استفاده از مشتق‌گیری، حداکثر محصول برنج با تخصیص ۴۱۵۶ مترمکعب آب مصرفی گیاه، ۴۱۵۶/۳ کیلوگرم بر هکتار به‌دست می‌آید. بنابراین نتایج بدست آمده از سناریوها نشان داد که اگر مقدار آب بکار رفته گیاه بیشتر از مقدار حداکثر باشد، محصول برنج از مقدار حداکثر خود کمتر خواهد شد. این مسأله به این دلیل می‌تواند باشد که در شرایطی که آب آبیاری بیشتر از آب مورد نیاز گیاه باشد، با آب‌شویی املاح خاک در اطراف منطقه ریشه گیاه، این املاح از دسترس گیاه خارج می‌شود و مواد غذایی مورد نیاز گیاه به طور کامل در دسترس گیاه قرار ننگرفته و سبب کاهش محصول خواهد شد (Pirmoradian et al., 2004). از طرف دیگر، طی دوره رشد، گیاه نیاز به آب با محدوده دمایی خاصی دارد، در صورتی که عمق غرقابی افزایش یابد، دمای آب کاهش می‌یابد و این پدیده باعث به هم خوردن تعادل انرژی در گیاه می‌شود و محصول کاهش می‌یابد (Roel et al., 2005; Shimono et al., 2007).

با اعمال شرایط پایه و سناریوهای اعمال شده در نرم‌افزار SEAT و EVAT، شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی هر یک از سناریوها بررسی شد و نتایج آن در جدول ۸ آورده شده است. مقایسه تغییرات اعمال شده در سناریوهای مربوط به شالیزارهای برنج و مقادیر کل ارزش افزوده به‌دست آمده نشان داد که اگر مقدار تخصیص آب از مقدار تخصیص مربوط به حداکثر محصول برنج بیشتر شود میزان

محصول کاهش می‌یابد و به همان نسبت ارزش افزوده برنج و شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی نیز کاهش می‌یابد (سناریوهای ۱ و ۲). محاسبه مقدار شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی سناریوها نشان داد که در سناریوی ۳ مقدار این شاخص نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. لازم به ذکر است که سناریوهای تعریف شده در این بخش هیچ تأثیری در کاهش اثرات زیست‌محیطی نداشته بلکه فقط از نظر افزایش تولید محصول باعث بهبود شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی شده است.

نتایج حاصل از اجرای سناریوی ۴ در جدول ۹ آورده شده است. اجرای این سناریو در استخرهای پرورش ماهی، علاوه بر تغییر در مقدار اثرات زیست‌محیطی باعث تغییر در ارزش اقتصادی محصول نیز می‌شود. با توجه به اینکه هر کیلوگرم دیزل مصرفی، ۱۱/۹۷ کیلووات‌ساعت انرژی تولید می‌کند، پدیده تغییر اقلیم ناشی از سوخت دیزلی در این سناریو معادل ۳/۰۲ Million kg-CO₂ eq برآورد شد که نسبت به شرایط پایه ۵۴ درصد کاهش یافته است. علاوه بر این، با توجه به قیمت‌های انرژی مصرفی سوخت‌های دیزلی و برقی، ارزش افزوده ماهی ۱۰۲/۱۴ میلیون ریال بر هکتار به‌دست آمد که نسبت به شرایط پایه ۲۲ درصد افزایش یافته است. مقدار شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی پدیده تغییر اقلیم ناشی از مصرف سوخت‌های دیزلی در این سناریو معادل ۰/۰۵ Million Rials/kg-CO₂ eq برآورد شد که نسبت به شرایط پایه ۱۴۳ درصد افزایش یافته است.

به طور کلی، شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی پدیده تغییر اقلیم در شرایط پایه، سناریوی ۳ و ۴ در کل سیستم آب کشاورزی واحد عمرانی FI به ترتیب برابر با ۰/۲۹، ۰/۳۵ و ۰/۵۵ محاسبه شد. بنابراین مقدار شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی کل سیستم با اعمال سناریوی ۳ در شالیزارهای برنج، ۱۷ درصد افزایش یافت و همچنین مقدار این شاخص در کل سیستم آبی مورد مطالعه با جایگزینی ۵۰ درصد از موتورهای دیزلی با الکتریکی ۸۶ درصد افزایش یافت.

Table 8- The results of defined scenarios for paddy rice
جدول ۸- نتایج سناریوهای تعریف شده برای شالیزارهای برنج

Scenario	Yield (kg/ha)	Irrigation water use (m ³ /ha)	Net economic output (Milion Rials/yr)	Net economic output (Milion Rials/ha-yr)	EEI
Base	3535	4508	1778915.4	118.3	3.46
1	1166	3204	175694.4	11.7	0.34
2	2039	4957	766497.2	51.0	1.49
3	4024	4356	2109812.4	140.3	4.10

۳ و ۴ در سیستم مورد مطالعه نشان داد که مقدار این شاخص در سناریوی ۳ و ۴ به ترتیب ۱۷ و ۸۶ درصد نسبت به شرایط پایه افزایش یافته است. بنابراین افزایش بهره‌وری اقتصادی آب از طریق مدیریت سیستم‌های مصرف آب و کاهش اثرات زیست‌محیطی از طریق جایگزینی موتور پمپ‌های دیزلی با برقی، باعث بهبود مقدار شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی می‌شود.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Eco-Efficiency Index
- 2- Eco-Water
- 3- Actor
- 4- Material Flow Analysis
- 5- Material Flow Networks
- 6- Total Value Added
- 7- Total Economic Value
- 8- Total Financial Cost
- 9- Total Market Value of Product
- 10-Net Economic Output
- 11-Water Services
- 12-Value of Product
- 13-Financial Costs
- 14-Annual Investment Costs
- 15-Stage
- 16-Process

۵- مراجع

- Ahmadi A, Zolfagharipoor MA, Nikouei AR, Dorreali MY (2016) Economic assessment of technical infrastructure implementation of an agricultural water market, A Case Study: Part of the Mahyar irrigation network. Iran-Water Resources Research 12(3):35-49 (In Persian)
- Anonymous (2013) Gabi database and modelling principles (2013) PE International Germany
- Anonymous (2015) Umberto NXT LCA:User Manuale. IFU Hamburg GmbH Hamburg
- Cencic O, Rechberger H (2008) Material flow analysis with software STAN. In:Luneburg. Germany, Environmental Informatics and Industrial Ecology
- ELCD (2013) European reference life cycle database v.3.1. Joint Research Centre
- Goedkoop M, Oele M, Leijting J, Ponsioen T, Meijer E (2013) Introduction to LCA with Simapro. Pre Consultants, California, 80p
- Gómez- Limón J A, Picazo-Tadeo A J, Reig-Martinez E (2012) Eco-efficiency assessment of olive in Andalusia. Land Use Policy 29(2):395-406

Table 9- The results of defined scenarios for fish farming

جدول ۹- نتایج سناریوی تعریف شده برای استخرهای

پرورش ماهی

Supplementary resources	Unit	Scenario_Base	Scenario_4
Electricity	kWh	2713749	8113749
Diesel fuel	kWh	188355467.3	94516967.3
Carbon dioxide (CO2)	kg	50455744.5	25318744.5
Methane (CH4)	kg	7264.9	3645.5
Nitrous oxide (N2O)	kg	14501.3	7276.8

۴- نتیجه‌گیری

ارزیابی بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی سیستم‌های مصرف آب و پیش‌بینی تخمین بهبود بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در اثر کاربرد نوآوری‌های آینده، مسأله‌ای است که از نظر مفهومی و روش‌شناختی، چالش‌برانگیز است. در این شاخص از یک دیدگاه جدید استفاده می‌شود که علاوه بر مسائل اقتصادی و جنبه‌های زیست‌محیطی، مفاهیم بهره‌وری آب و نهاده‌های تولید نیز در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق، شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی محصولات کشاورزی برنج، چای و ماهی در واحد عمرانی F1 واقع در شبکه آبیاری و زهکشی سفیدرود ارزیابی گردید. بررسی اقتصادی کاربری‌های مختلف اراضی نشان داد که شالیزارهای برنج، بیشترین سوددهی و باغات چای، کمترین سوددهی را در منطقه با توجه به شرایط فعلی دارد. در بررسی اثرات زیست‌محیطی مصرف سوخت‌های دیزلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای ورودی به هوا و تغییر اقلیم ناشی از آن محاسبه گردید. نتایج حاصل از محاسبه شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در شرایط پایه با توجه به پدیده تغییر اقلیم نشان داد، مقدار این شاخص برای شالیزارهای برنج، باغات چای و استخرهای پرورش ماهی به ترتیب 0.02 و 0.076 و $0.3/46$ Million Rials/kg-CO₂ eq محاسبه گردید.

در ادامه، ارزیابی شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی در سناریوهای تعریف شده برای شالیزارهای برنج نشان داد، مقدار این شاخص با توجه به مقادیر قابل توجه اثرات زیست‌محیطی، فقط در سناریوی ۳ نسبت به شرایط پایه این محصول $18/6$ درصد افزایش می‌یابد. همچنین با جایگزینی 50 درصد انرژی مصرفی ماشین‌آلات دیزلی با انرژی الکتریکی در استخرهای پرورش ماهی، مقدار شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی نسبت به شرایط پایه این محصول 143 درصد افزایش یافت. مقایسه مقادیر شاخص بهره‌وری زیست‌محیطی-اقتصادی کل سیستم در شرایط پایه و اعمال سناریوی

- (*Oriza sativa* L.). *Plant Production Science* 7(3):337-346
- Pirmoradian N, Zekri F, Rezaei M, Abdollahi V (2013) Derivation of crop coefficients of three rice varieties based on ETo estimation method in Rasht region. *Cereal Research* 3(2):95-106 (In Persian)
- Pirmoradin N (2017) Simulation of water delivery scheduling in paddy fields of Sefidrood irrigation network to perform intermittent irrigation. The Final Report of the Research Project, Regional Water Company of Guilan, 173p (In Persian)
- Reith CC, Guidry MJ (2003) Eco-efficiency analysis of an agricultural research complex. *Journal of Environmental Management* 68(3):219-229
- Roel A, Mutters RG, Eckert JW, Plant RE (2005) Effect of low water temperature on rice yield in California. *American Society of Agronomy* 97:943-948
- Schaltegger S, Burritt R, Petersen H (2003) An introduction to corporate environmental management. *Striving for sustainability* 14:541-542
- Shimono H, Hasegawa T, Kuwagata T, Iwama K (2007) Modeling the effects of water temperature on rice growth and yield under a cool climate. *American Society of Agronomy* 99(5):1338-1344
- Smith AJ (2008) Rainfall and irrigation controls on groundwater rise and salinity risk in the Old River irrigation area, Northern Australia. *Hydrogeology Journal* 16:1159-1175
- Stanchev P, Ribarova I (2016) Complexity, assumptions and for eco-efficiency assessment of urban water systems. *Journal of Cleaner Production* 138(2):1-8
- Todorovic M, Mehmeti A, Scardigno A (2016) Eco-efficiency of agricultural water systems: Methodological approach and assessment at meso-level scale. *Journal of Environmental Management* 165:62-71
- Twomlow S, Rohrbach D, Dimes J, Rusike J, Mupangwa W, Ncube B, Hove L, Moyo M, Mashingaidze N, Mahposa P (2010) Micro-dosing as a pathway to Africa's Green Revolution: evidence from broad-scale on-farm trials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 88(1):3-15
- Van Meensel J, Lauwers L, Van Huylenbroeck G, Van Passel S (2010) Comparing frontier methods for economic-environmental trade-off analysis. *European Journal of Operational Research* 207:1027-1040
- Wohlgemuth V, Page B, Kreutzer W (2006) Combining discrete event simulation and material flow analysis in a component-based approach to industrial
- Graham M (2004) Environmental efficiency meaning and measurement and application to Australian dairy farms. In *AARES 2004: Contributed papers*, AARES 1-18
- Hashemi M, Hassani Y, Hormozi M (2017) Optimal water distribution within the main irrigation canal considering economic perspective in water shortages conditions. *Iran-Water Resources Research* 13(3): 33-42 (In Persian)
- Herrmann IT, Moltesen A (2015) Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? a comparative assessment of Simapro and Gabi. *Journal of Cleaner Production* 86:163-169
- Huang CL, Vause J, Ma HW, Yu CP (2012) Using material/substance flow analysis to support sustainable development assessment: a literature review and outlook. *Resources, Conservation and Recycling* 68:104-116
- IPCC (2006) Guidelines for national greenhouse gas inventories. Intergovernmental Panel On Climate Change
- Jollands N, Lermitt J, Paterson M (2004) Aggregate eco-efficiency indicators for New Zealand: a principal components analysis. *Journal Environ Management* 73(4):293-305
- Ju XT, Xing GX, Chen XP, Zhang SL, Zhang LJ, Liu XJ, Cui ZL, Yin B, Christie P, Zhu ZL, Zhang FS (2009) Reducing environmental risk by improving N management in intensive chinese agricultural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* (106):3041-3046
- Maia R, Silva C, Costa E (2016) Eco-efficiency assessment in the agricultural sector: The Mont Novo irrigation perimeter Portugal. *Journal of Cleaner Production* 138:217-228
- O'Brien M, Giljum S, Miedzinski M, Blei R (2011) The eco-innovation challenge pathways to a resource-efficient Europe. *Annual Report 2010: Eco Innovation Observatory*
- OhabYazdi SA, Ahmadi A, Nikouei A (2014) Employing economic instruments to increase water productivity: A case study, Zayandehrood river basin. *Iran-Water Resources Research* 10(1):63-71 (In Persian)
- Park Y, Shamma JS, Harmon TC (2009) A receding horizontal control algorithm for adaptive management of soil moisture and chemical levels during irrigation. *Environmental Modelling & Software* 24:1112-1121
- Pirmoradian N, Sepaskhah AR, Maftoun M (2004) Effect of water-saving irrigation and nitrogen fertilization on yield and yield component of rice

Zekri F (2013) Simulation of climatic fluctuations effects on yield of rice (*Oryza sativa*) C.V. Hashemi using Aquacrop model in Rasht region. M.Sc. thesis, University of Guilan (In Persian)

environmental protection. Environmental Modelling & Software 21:1607-1617