



کاربرد ردپای اکولوژیک چند کارکردی در تحلیل پایداری تولید زعفران در خراسان جنوبی

سید محمد جعفر اصفهانی^{۱*} و جواد خزاعی^۲

تاریخ پذیرش: ۱۷ دی ۱۳۹۷

تاریخ دریافت: ۸ اسفند ۱۳۹۶

اصفهانی، س. م. ج. و خزاعی، ج. ۱۳۹۸. کاربرد ردپای اکولوژیک چند کارکردی در تحلیل پایداری تولید زعفران در خراسان جنوبی. زراعت و فناوری زعفران، ۷(۴): ۴۹۱-۵۰۳.

چکیده

با توجه به اثرات سوء مصرف نهاده‌های خارجی در بخش کشاورزی و وابستگی این بخش به انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم، تحلیل پایداری تولیدات کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. شاخص ردپای اکولوژیک یک شاخص قوی در تحلیل پایداری است که امروزه در مجامع علمی از آن استفاده می‌شود. این شاخص فضای لازم برای حمایت از یک فعالیت را بوسیله میانگین مساحت لازم برای فراهم آوردن منابع مصرفی و جذب مواد زائد برحسب هکتار جهانی تعیین می‌کند. در این مطالعه با توجه به افزایش قابل ملاحظه تولید زعفران در سال‌های اخیر، پایداری تولید زعفران در استان خراسان جنوبی به عنوان یکی از مهمترین مراکز تولید زعفران کشور بررسی شد. اطلاعات لازم برای این پژوهش از طریق پرسشنامه و مصاحبه رودرو با ۳۹۶ کشاورز در سال ۱۳۹۶ جمع آوری شد و با توجه به عملکرد و مصرف نهاده در سال‌های مختلف، محاسبات مربوط به پایداری برای سال‌های مختلف اول تا ششم انجام شد. برای این منظور میزان زمین بهره‌ور زیستی که به طور مستقیم برای تولید محصول لازم است به عنوان شاخص ردپای اکولوژیک مستقیم و میزان زمین لازم برای جذب مواد زائد حاصل از فرآیند تولید به عنوان ردپای غیر مستقیم در نظر گرفته شد. نتایج مطالعه نشان داد که میانگین شاخص ردپای اکولوژیک غیرمستقیم زعفران ۰/۲۰ هکتار جهانی بود که ۰/۰۷ به انتشارات داخل مزرعه و ۰/۱۳ به انتشارات خارج مزرعه مربوط می‌شد. بیشترین شاخص ردپا به سال اول تولید اختصاص داشت. شاخص ردپای چند کارکردی نشان داد که شاخص ردپای اکولوژیک بر حسب زمین ۰/۰۱ هکتار جهانی، بر حسب درآمد ۰/۶۳ هکتار جهانی و بر حسب عملکرد ۰/۰۳ هکتار جهانی است. مقایسه نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات دیگر محصولات بخش کشاورزی که در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است نشان داد که تولید زعفران در حالت نسبتاً پایداری نسبت به سایر محصولات کشاورزی قرار دارد.

کلمات کلیدی: ردپای اکولوژیک، زعفران، ضریب تعادل، گازهای گلخانه‌ای، هکتار جهانی.

۱- استادیار توسعه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- مربی بخش مدیریت، اقتصاد و حسابداری، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

*- نویسنده مسئول: jesfahani@gmail.com

مقدمه

ردپای اکولوژیکی^۱ در دهه اخیر به عنوان یک شاخص زیست‌محیطی به صورت گسترده استفاده شده است و کاربرد آن در زمینه‌های مختلف گسترش یافته است. شاخص ردپای یک ابزار محاسباتی است که برای فهم ارتباط میان فعالیت‌های انسان و فشار بر زمین و منابع آن به کار می‌رود. شاخص رد پا فضای لازم برای حمایت از یک فعالیت را بوسیله میانگین مساحت لازم برای فراهم آوردن منابع مصرفی و جذب مواد زائد تعیین می‌کند (Fang et al., 2014). ردپای اکولوژی شهرت خود را به سبب قدرت اختصاص یافته‌اش جهت بیان نتایج و تحلیل در واحدهای فضایی بدست آورده است که باعث برقراری ارتباط راحت‌تر می‌شود و اجازه مقایسه مستقیم بین مصرف انسان و ظرفیت تولید طبیعی را می‌دهد (Giljum et al., 2007). همچنین یکی از شاخص‌هایی است که تاثیرات گوناگون بشر بر کره زمین را با توجه به قوانین ترمودینامیک و مفاهیم اکولوژیک یکپارچه‌سازی می‌کند. بنابراین به ابزاری جذاب برای ارتباط، آموزش و برنامه‌ریزی جهت پایداری منابع تبدیل شده است و به عنوان یک ابزار ارتباطی قوی برای فهم اثرات تغییر رفتار مردم کره خاکی بر پایداری منابع شناخته می‌شود (Holmberg et al., 1999; Kanitschar et al., 2014).

در رویارویی با افزایش جمعیت، افزایش تقاضا برای غذا و افزایش استانداردهای زندگی، تغییر در عملیات‌های کشاورزی طی دوره کاشت، داشت و برداشت را ضروری ساخته است که باعث افزایش استفاده از نهاده‌های خارجی همچون سوخت، کودهای شیمیایی و سموم در بخش کشاورزی شده است (Yilmaz et al., 2005; Esengun et al., 2007; Alhajj Ali et al., 2013). تخلیه منابع طبیعی و آسیب‌های زیست‌محیطی، از

اثرات نامطلوب و سوء این امر می‌باشد، به طوری که در حدود ۲۰ درصد دی‌اکسیدکربن تولید شده در جهان به بخش کشاورزی اختصاص دارد (EPA, 2016). بخش کشاورزی ایران نیز در سال‌های اخیر بالغ بر ۵ درصد از کل مصرف نهایی انرژی کشور را به خود اختصاص داده است و حدود ۱۷ درصد از کل نفت و گاز مصرفی کشور در بخش کشاورزی به مصرف می‌رسد (IEEO, 2015).

این موارد سبب شده تا بحث در مورد پایداری زیست‌محیطی، تولیدات کشاورزی را نیز شامل شود. افزایش تقاضای غذا، تغذیه و منابع انرژی تجدیدپذیر نیازمند دانش جدیدی درباره سیستم تولید است تا آنها را تحت معیارهای پایداری قابل قبول سازد (Ruviaro et al., 2012). بنابراین ارزیابی پایداری یکی از جنبه‌های مهم مطالعه نظام‌های کشاورزی است که هنوز استانداردها و معیارهای پذیرفته در سطح جهانی برای تولیدات پایدار وجود ندارد (Esfahani et al., 2017). به منظور انجام اقدامات سیاستی در رابطه با پایداری، مفهوم پایداری باید از یک مفهوم انتزاعی به یک مفهوم کمی تبدیل شود. بنابراین توسعه یک معیار کمی، پیش‌نیازی مهم برای اقدامات سیاستی در جهت توسعه پایدار است (Sands & Podmore, 2000). با توجه به اینکه امروزه روش‌های گوناگونی برای ارزیابی پایداری در بخش کشاورزی پیشنهاد شده است، در نظام‌های پیچیده کشاورزی، شاخص‌هایی که جنبه‌های بیشتری از اثرات را به صورت همزمان نشان دهند، مفیدتر و قابل قبول‌تر به نظر می‌رسند (Bastianoni et al., 2007). تحلیل ردپای اکولوژیک، ابزار سنجش و محاسبه‌ای است که میزان مصرف منابع و نیازهای جذب مواد زائد جمعیت و فعالیت‌های اقتصادی را بر حسب مساحت زمین‌های بارور و مولد برآورد می‌کند. ارائه شاخص ردپا به صورت ساده سبب می‌شود

۱۰۰۰ دلار درآمد مربوط به تولید کیوی بود. پسری و همکاران (Passeri et al., 2013)، شاخص ردپای اکولوژیک را برای تولید گندم دروم در ایتالیا ۴/۹۱ هکتار جهانی بدست آورد. نادری مهدیی و همکاران (Naderi Mahdei et al., 2015) شاخص ردپای اکولوژیک تولید گندم را در استان همدان ۲/۹۶ هکتار جهانی برای کشت متعارف و ۲/۸۴ هکتار جهانی برای نظام کشت حفاظتی بدست آوردند. خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) شاخص ردپای کربن را برای تولید زعفران ایران محاسبه کردند و نتایج مطالعه آن ها نشان داد که تولید یک هکتار زعفران سبب انتشار ۱۰۸۹۷ کیلوگرم معادل CO₂ گاز گلخانه ای می شود. اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2017) شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید ذرت علوفه را ۰/۰۸۴ هکتار جهانی برای تولید یک تن محصول و ۱/۶۲۸ هکتار جهانی برای کسب ۱۰۰۰ دلار درآمد بدست آوردند.

با توجه به کاهش نزولات جوی طی سال های اخیر و پایین آمدن سطح آب سفره های زیرزمینی، اقدامات سیاستی در بخش کشاورزی به سمت تولید محصولات با نیاز آبی کم جهت دهی شده است و کاشت محصولات با مصرف کمتر آب توسط سیاست گذاران بخش کشاورزی توصیه می شود. نیاز آبی کم و سودآوری بالا، سازگاری با نظام های کم نهاده و امکان بهره برداری طولانی مدت با یک بار کاشت، سبب شده تا کاشت این محصول مورد توجه کشاورزان قرار گرفته و سطح زیر کشت این محصول طی سی سال گذشته رشد چشم گیری داشته باشد، به طوری که سطح زیر کشت زعفران با رشد ۳۵۰ درصدی از حدود ۲۵ هزار هکتار در سال ۱۳۶۰ به ۱۰۲ هزار هکتار در سال ۱۳۹۵ رسیده است (Agriculture Jihad Organization Statistics of South Khorasan Province, 2017; Koocheki et al., 2017). استان خراسان جنوبی از مهمترین مراکز تولید زعفران در کشور است که از نظر سطح زیر کشت و تولید پس از استان خراسان رضوی در رتبه دوم قرار دارد.

تا افراد غیرمتخصص و ناآشنا با این مسائل نیز به خوبی با آن ارتباط برقرار کنند و در نتیجه امروزه از این شاخص به عنوان ابزاری ارتباطی برای مسائل زیست محیطی و افزایش آگاهی عمومی استفاده می شود (Giljum et al., 2011).

تاکنون مطالعات زیادی به منظور محاسبه شاخص جای پای اکولوژیک یک فعالیت یا محصول خاص انجام شده است و با توجه به نوظهور بودن این شاخص، هر یک از مطالعات در صدد رفع محدودیت های روش های قبلی بوده اند. یکی از مهم ترین انتقاداتی که به روش محاسبه شاخص ردپا به خصوص در بخش تولیدات کشاورزی وارد است، در نظر نگرفتن نوع عملیات و استفاده از نهاده های خارجی در مزرعه است. به نظر می رسد در محاسبات شاخص رد پا نوع استفاده از زمین مشخص نمی شود. در حال حاضر محاسبه شاخص ردپا بر اساس عملیات رایج زمین بوده و شاخص رد پا نمی تواند تمایزی بین عملیات پایدار و عملیات ناپایدار ایجاد کند، بنابراین استفاده فشرده تر از زمین می تواند منجر به شاخص ردپای کوچکتر شود (Lenzen & Murray, 2003). این موارد ممکن است جامعیت شاخص رد پا را به عنوان یک ابزار ارزیابی بیوفیزیکی و اندازه گیری جامع و قوی مورد تردید قرار دهد. به عنوان مثال ممکن است یک مزرعه با تکیه بر نهاده های خارجی که دارای اثرات سوء زیست محیطی نیز می باشند، تولیدی بیشتر از مزرعه ای که از این نهاده ها استفاده نمی کند داشته باشد که این امر سبب انحراف در محاسبات شاخص ردپا خواهد شد (Feng, 2005).

هر چند مطالعات مربوط به شاخص ردپای اکولوژیک سابقه ای به درازای چند دهه دارد ولی در مورد محصولات کشاورزی و محاسبه ردپای اکولوژیک در سطح مزرعه سابقه مطالعات از چند سال گذشته تجاوز نمی کند سروتی و همکاران (Cerutti et al., 2013)، نظام تولید میوه در منطقه پیموته در شمال ایتالیا را بر مبنای روش ردپای اکولوژیک چند کارکردی بررسی کردند. نتایج مطالعه آن ها نشان داد بیشترین شاخص ردپا برای کسب

تأیید شد. جامعه آماری این پژوهش شامل تمامی کشاورزانی است که در استان خراسان جنوبی مبادرت به کاشت زعفران کرده‌اند و برای تعیین حجم نمونه از جدول مورگان استفاده شد (Zadehrahim et al., 2017).

نهایتاً اطلاعات لازم از ۳۹۶ کشاورز زعفران‌کار بر اساس جدول مورگان و به روش نمونه‌گیری تصادفی با استفاده از پرسشنامه و مصاحبه رودرو جمع‌آوری گردید.

به منظور محاسبه ردپای اکولوژیک بر اساس نوع عملیات زراعی در مزرعه، باید ردپای اکولوژیک را به دو بخش ردپای مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی کرد (Huijbregts et al., 2008). رد پای مستقیم در طول زمان بوسیله مساحت ساختمان، زمین‌های زراعی، مراتع و جنگل که مستقیماً در جریان تولید محصول بکار می‌روند، تعریف می‌شود و ردپای غیرمستقیم، نشان‌دهنده میزان زمین بهره‌ور لازم، جهت جذب CO₂ تولید شده طی فرآیند تولید است. با توجه به این مفهوم، ردپای اکولوژیک می‌تواند به مجموع زمین واقعی و مجازی مورد نیاز برای تولید محصول تعریف شود و به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود (Cerutti et al., 2013).

$$EF = EF_{\text{direct}} + EF_{\text{co2}} \quad (1)$$

که در رابطه ۱ EF_{direct} نشان‌دهنده زمین تصرف شده در طول زمان بوسیله زمین‌های زراعی، ساختمان، مراتع و جنگل برای تولید محصول است که با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Cerutti et al., 2013).

$$EF_{\text{direct}} = \sum_{\alpha} A_{\alpha} \cdot EQF_{\alpha} \quad (2)$$

در رابطه ۲ A_α نشان‌دهنده میزان زمین تصرف شده نوع α (زراعی، جنگلی، مرتع، ساختمان) و EQF_α فاکتور معادل‌سازی متناظر با هر نوع زمین نوع α را نشان می‌دهد. فاکتور معادل‌سازی، بهره‌وری نسبی میان انواع پهنه زمین و آب را نشان می‌دهد و با توجه به تفاوت پتانسیل بهره‌وری پهنه‌های

زعفران یکی از مهمترین محصولات کشاورزی در استان خراسان جنوبی است که با ۱۵۰۱۴ هکتار، ۲۳ درصد مساحت باغات بارور استان خراسان جنوبی را به خود اختصاص داده است (Agriculture Jihad Organization Statistics of South Khorasan Province, 2017). با توجه به اهمیت پایداری و مصرف بهینه نهاده‌ها در بخش کشاورزی و در مواجهه با روند افزایشی تولید و کاشت زعفران طی سه دهه اخیر، لازم است تا مطالعه‌ای در زمینه پایداری و اثرات زیست‌محیطی تولید زعفران انجام شود تا با شناخت بیشتر از انتشار آلاینده‌ها در فرآیند تولید این محصول، بتوان توصیه‌های سیاستی و کاربردی در جهت افزایش پایداری این محصول ارائه کرد. لذا در این مطالعه سعی شده است تا با توجه به اهمیت محصول زعفران در کشاورزی استان خراسان جنوبی و همچنین جایگاه این استان در تولید و صادرات زعفران کشور، پایداری تولید این محصول با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیکی مطالعه شود.

مواد و روش‌ها

برای محاسبه و تحلیل شاخص ردپای اکولوژیک اطلاعات لازم با استفاده از ابزار پرسشنامه و مصاحبه رودرو با کشاورزان و از طریق نمونه‌گیری تصادفی جمع‌آوری گردید. پرسشنامه شامل میزان مصرف هر کدام از نهاده‌های تولید شامل کود شیمیایی، کود حیوانی، میزان مصرف آب، ساعات کار انواع ماشین‌آلات کشاورزی، میزان کار نیروی انسانی و میزان تولید هر کشاورز بود. از آنجا که زعفران یک گیاه چند ساله است و میزان تولید محصول و مصرف نهاده‌ها در سال‌های مختلف متفاوت است، لذا جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل پایداری به تفکیک سن مزارع از سال اول تا سال ششم انجام شد. اعتبار پرسشنامه نیز توسط اساتید گروه توسعه روستایی و اقتصاد کشاورزی دانشگاه‌های بوعلی سینا همدان و فردوسی مشهد

مختلف زمین دارای مقدار متفاوت می‌باشد. به عنوان مثال زمین‌های زراعی در مقایسه با مراتع دارای فاکتور تعادل بزرگتر هستند، زیرا بهره‌وری آن‌ها نسبت به مرتع بالاتر است (Monfreda et al., 2004). مقدار EQF برای انواع مختلف اراضی در جدول ۱ نشان داده شده است (González-Vallejo et al., 2015).

جدول ۱- فاکتور معادل‌سازی انواع مختلف زمین
Table1- Equevalant factor for different land type

طبقه زمین تولیدی Productive land category	فاکتور معادل‌سازی EQF (gha.ha ⁻¹)
زمین‌های زراعی Cropland	2.51
مراتع Pastures	0.46
جنگل Forest	1.26
زمین ساخته شده Built land	2.51

(González-Vallejo et al., 2015)

از تولید و انتقال کود نیتروژنه به مزرعه در قالب انتشارات خارج مزرعه محاسبه می‌شود.

یکی دیگر از جنبه‌های کلیدی محاسبه ردپای اکولوژیک از منظر ارزیابی چرخه حیات، امکان استفاده از واحدهای متفاوت عملکردی در محاسبه ردپای اکولوژیک است. انتخاب واحد عملکردی ممکن است موضوعات مهمی را برای تحقیق نمایان سازد (Cerutti et al., 2013). واحد عملکردی می‌تواند بر مبنای مساحت زمین، توده و مالی انتخاب شود (Cerutti et al., 2011). بدین منظور ارزیابی ردپای اکولوژیک بر پایه یک تن محصول، ۱۰۰۰ دلار درآمد و سطح زمین در مزرعه، به ترتیب به صورت روابط ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است (Cerutti et al., 2013).

$$EF_{product} \left(\frac{gha}{t} \right) = \frac{(EF_{direct} + EF_{CO_2})}{Yield} \quad (4)$$

$$EF_{revenue} \left(\frac{gha}{1000\$} \right) = \frac{(EF_{direct} + EF_{CO_2}) \times 1000}{Revenues} \quad (5)$$

(۶)

EF_{CO2} نشان‌دهنده میزان جنگل لازم برای جذب دی-اکسیدکربن تولید شده در طول چرخه حیات تولید می‌باشد که به صورت رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Huijbregts et al., 2008).

$$EF_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot \frac{1 - F_{CO_2}}{S_{CO_2}} \cdot EQF_f \quad (3)$$

در رابطه ۳ M_{CO2} نشان دهنده میزان CO₂ منتشرشده در جریان تولید محصول، F_{CO2} بخشی از CO₂ است که سالیانه توسط اقیانوس جذب می‌شود، S_{CO2} نرخ جذب CO₂ توسط بیوماس بر مبنای (Kg CO₂ m⁻² yr⁻¹) و EQF_f نیز نشان‌دهنده فاکتور معادل‌سازی متناظر با اراضی جنگلی می‌باشد.

در جدول ۲ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در فرآیند تولید محصولات کشاورزی در دو گروه انتشارات خارج مزرعه و انتشارات داخل مزرعه طبقه‌بندی شده‌اند.

انتشارات داخل مزرعه در اثر کاربرد نهاده‌ها در داخل مزرعه ایجاد می‌شود، ولی انتشارات خارج مزرعه در اثر فرآیند تولید و انتقال نهاده به داخل مزرعه ایجاد می‌شوند. به عنوان مثال انتشارات ناشی از کاربرد کود نیتروژنه در داخل مزرعه در طبقه انتشارات داخل مزرعه قرار می‌گیرد، ولی انتشارات ناشی

نتایج و بحث

میزان مصرف هر کدام از نهاده‌ها برای تولید یک هکتار زعفران در سال‌های اول تا ششم تولید در جدول ۳ نشان داده شده است.

$$EF_{land} \left(\frac{gha}{gha_{farm}} \right) = \frac{(EF_{direct} + EF_{CO_2})}{area_{farm} \times EQF_{cropland}}$$

در این روابط، Yield میزان تولید بر حسب تن و Area نشان دهنده مساحت مزرعه است.

جدول ۲- ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای هر کدام از نهاده‌های کشاورزی
Table 2- Greenhouse gas emission coefficients of agriculture inputs

نهاده Input	واحد Unit	ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای GHG coefficients (kgCO2 eq. unit ⁻¹)	منبع References
Off farm emission (emission embodied in input) انتشارات خارج از مزرعه (انتشارات نهفته در نهاده‌ها)			
N fertilizer (N) کود نیتروژنه	kg	3	(Nguyen & Hermansen, 2012)
P fertilizer (P ₂ O ₅) کود فسفات	kg	1	(Snyder et al., 2009)
Diesel دیزل	L	0.016kgCO2eq./MJ diesel*36.4 MJ/L Diesel	(Nguyen & Hermansen, 2012)
On farm emission انتشارات داخل مزرعه			
N fertilizer (N) کود نیتروژنه	kg	4.7(0.01kgN2O-N/kg N)	(Nguyen & Hermansen, 2012)
Manure کود حیوانی	kg	0.097kgCO2eq./MJ FMY*0.3 MJ/Kg FMY	(Houshyar et al., 2015)
Diesel دیزل	L	0.074kgCO2eq./MJ diesel*36.4 MJ/L diesel	(Nguyen & Hermansen, 2012)

جدول ۳ - میانگین محصول و مصرف نهاده‌ها در مزرعه زعفران
Table 3 - Average of yeild and consumed input in saffron farm

سال year	بنه زعفران Corm (kg.ha ⁻¹)	کود اوره P fertilizer (kg.ha ⁻¹)	کود فسفات P fertilizer (kg.ha ⁻¹)	کود پتاس K fertilizer (kg.ha ⁻¹)	کود حیوانی Manure (kg.ha ⁻¹)	نیروی کار Labor (H.ha ⁻¹)	آب Water (m ³ .ha ⁻¹)	کلاله زعفران Saffron stigma (kg.ha ⁻¹)
سال اول First year	3000	100	100	41	32	1369	3096	0.182
سال دوم Second year	0	120	110	39.8	26.7	269.2	3100	3.001
سال سوم Third year	0	125	95	31.2	23	531	3248	7.24
سال چهارم Forth year	0	124	93	21	0	514.1	3260	7.3
سال پنجم Fifth year	0	123	84	22.3	0	401.82	2986	5.8
سال ششم Sixth year	0	110	80	20	0	292.45	3050	3.8

همان‌طور که در جدول ۳ نشان داده شده است بیشترین میزان تولید زعفران خشک مربوطه به سالهای سوم و چهارم تولید است. از طرف دیگر با توجه به آماده سازی زمین و عملیات کاشت محصول در سال اول، در این سال بیشترین نیاز به نیروی کار در طی دوره تولید محصول وجود دارد.

جدول ۴- میانگین سالانه انتشار گازهای گلخانه‌ای هر کدام از نهاده‌ها
Table 4- Annual average of greenhouse gas emission coefficients of agriculture inputs

نهاده Input	واحد Unit	انتشار گازهای گلخانه‌ای GHG emission (kgCO ₂ eq.)
انتشار خارج از مزرعه (انتشار نهفته در نهاده‌ها) Off farm emission (emission embodied in input)		
کود نیتروژنه N fertilizer (N)	kg	161.46
کود فسفات P fertilizer (P ₂ O ₅)	kg	43.08
دیزل Diesel	L	6.21
جمع انتشارات خارج از مزرعه Total off farm emission		210.76
انتشار داخل مزرعه On farm emission		
کود نیتروژنه N fertilizer (N)	kg	252.954
کود حیوانی Manure	kg	0.39
دیزل Diesel	L	28.73
جمع انتشارات داخل مزرعه Total on farm emission		282.08
جمع Total		492.84

مربوط به کود نیتروژنه ایجاد شده است که رقم آن در حدود ۰/۰۵ هکتار جهانی برای تولید یک هکتار زعفران در استان خراسان جنوبی است.

شاخص ردپای غیر مستقیم تحت تأثیر انتشار گازهای گلخانه‌ای است و هرچه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر باشد این شاخص نیز افزایش پیدا می‌کند. نتایج این مطالعه با نتایج مطالعه اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2017) و خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) مطابقت دارد.

نتایج مربوط به ردپای غیرمستقیم مرتبط با انتشارات داخل مزرعه تولید یک هکتار زعفران برای سال‌های اول تا ششم در جدول ۵ نشان داده شده است.

طبق اطلاعات مندرج در جدول ۵ در سال اول که عملیات آماده‌سازی و کاشت محصول توسط ماشین‌آلات کشاورزی انجام می‌شود، شاخص ردپا مقدار بیشتری را نشان می‌دهد که در اثر انتشارات مربوط به کود نیتروژنه و سوخت دیزل ایجاد شده است. در سال‌های دوم تا ششم شاخص ردپا در اثر انتشارات

جدول ۵- شاخص ردپای غیرمستقیم مرتبط با انتشارات داخل مزرعه هر کدام از نهاده‌ها در سال‌های مختلف (هکتار جهانی)

Table 5- Indirect footprint associated with off farm emission for each input in different years (Gha)

سال Year	کود حیوانی Manure	دیزل Diesel	کود نیتروژنه N-fertilizer	جمع Total
سال اول First year	0.000205	0.038012	0.047672	0.085889
سال دوم Second year	0.000171	0	0.057207	0.057377
سال سوم Third year	0.000147	0	0.05959	0.059737
سال چهارم Forth year	0	0	0.059113	0.059113
سال پنجم Fifth year	0	0	0.058637	0.058637
سال ششم Sixth year	0	0	0.052439	0.052439

سوخت دیزل بیشترین سهم را در شاخص ردپای غیر مستقیم انتشارات داخل مزرعه تولید ذرت علوفه‌ای دارد که استفاده از ماشین‌آلات جهت کاشت و برداشت محصول می‌تواند مهم‌ترین علت این تفاوت باشد.

خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) در مطالعه خود میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید یک هکتار زعفران را محاسبه کردند که در مطالعه آن‌ها نیز کود نیتروژنه و کود حیوانی بیشترین سهم را در انتشارات داخل مزرعه داشتند. اصفهانی و همکاران (Esfahani et al., 2017) نشان دادند که

جدول ۶- شاخص رد پای غیرمستقیم مرتبط با انتشارات خارج از مزرعه هر کدام از نهاده‌ها (هکتار جهانی)

Table 6- Indirect footprint associated with off farm emission for each inputs (Gha)

سال Year	دیزل Diesel	نیروی کار Labor	کود پتاس K-fertilizer	کود فسفات P-fertilizer	کود نیتروژنه N-fertiliser	جمع Total
سال اول First year	0.008219	0.211305	0.006328	0.010143	0.030429	0.266424
سال دوم Second year	0	0.041551	0.006143	0.011157	0.036515	0.095366
سال سوم Third year	0	0.08196	0.004816	0.009636	0.038036	0.134448
سال چهارم Forth year	0	0.079351	0.003241	0.009433	0.037732	0.129758
سال پنجم Fifth year	0	0.062021	0.003442	0.00852	0.037428	0.111411
سال ششم Sixth year	0	0.04514	0.003087	0.008114	0.033472	0.089813

از ماشین‌آلات در سال اول جهت عملیات آماده سازی و کاشت محصول، و استفاده از سوخت و نیروی کار بیشتر در این سال، شاخص ردپای غیرمستقیم بیشترین مقدار را نشان می‌دهد. در

نتایج مربوط به شاخص ردپای غیرمستقیم که در اثر انتشارات خارج از مزرعه ایجاد شده است در جدول ۶ نشان داده شده است. همانطور که قبلاً نیز توضیح داده شد به علت استفاده

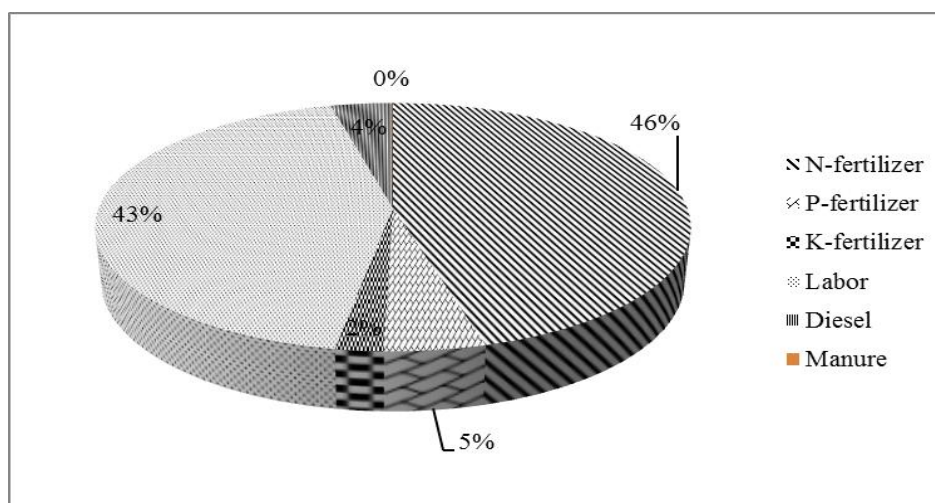
سال‌های دوم تا ششم کود نیتروژنه، کود فسفات و نیروی کار نهاده‌هایی بودند که بیشترین اثر را بر شاخص ردپای غیرمستقیم خارج از مزرعه برای تولید یک هکتار زعفران داشتند. در مطالعه خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) نیز کود نیتروژنه و کود حیوانی هر کدام با ۴۲ درصد بیشترین سهم را از انتشارات خارج از مزرعه به خود اختصاص داده بودند.

جدول ۷- ردپای اکولوژیک غیرمستقیم تولید زعفران در سال‌های مختلف (هکتار جهانی)
Table 7- Indirect ecological footprint of saffron production in different years (Gha)

سال Year	کود حیوانی Manure	دیزل Diesel	نیروی کار Labor	کود پتاس K-fertilizer	کود فسفات P-fertilizer	کود نیتروژنه N-fertiliser	جمع Total
سال اول First year	0.000205	0.046231	0.211305	0.006328	0.010143	0.078101	0.352313
سال دوم Second year	0.000171	0	0.041551	0.006143	0.011157	0.093721	0.152744
سال سوم Third year	0.000147	0	0.08196	0.004816	0.009636	0.097626	0.194185
سال چهارم Forth year	0	0	0.079351	0.003241	0.009433	0.096845	0.188871
سال پنجم Fifth year	0	0	0.062021	0.003442	0.00852	0.096064	0.170047
سال ششم Sixth year	0	0	0.04514	0.003087	0.008114	0.085911	0.142252
میانگین Average	8.71E-05	0.007705	0.086888	0.00451	0.009501	0.091378	0.200069

کاشت و تهیه زمین است، بیشتر شاخص غیرمستقیم به سال‌های سوم، چهارم و پنجم تولید مربوط می‌شود که در این سال‌ها حداکثر محصول حاصل می‌شود.

میانگین شاخص ردپای غیرمستقیم برای تولید یک هکتار زعفران ۰/۲۰ هکتار جهانی محاسبه شد (جدول ۷). همانطور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود، پس از سال اول که مربوط به



شکل ۱- تاثیر هر کدام از نهاده‌ها بر شاخص رد پای اکولوژیک
Figure 1- The impact of each input on the ecological footprint index.

می‌باشند. در مطالعه خنالی و همکاران (Khanali et al., 2016) کود نیتروژنه و کود حیوانی مهمترین نهاده ها در انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید زعفران بودند که به نظر می‌رسد مهم‌ترین علت در تفاوت نتایج محاسبه انتشارات مربوط به نیروی کار در این مطالعه باشد.

اثر کلی هر کدام از نهاده‌ها بر شاخص ردپای اکولوژیک به صورت شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌شود که با در نظر گرفتن مجموع انتشارات داخل و خارج مزرعه، کود نیتروژنه، نیروی کار، کود فسفات و سوخت دیزل از مهمترین نهاده‌های مؤثر در شاخص ردپای اکولوژیک

جدول ۸- شاخص ردپای اکولوژیک چندکارکردی زعفران در سال‌های مختلف (هکتار جهانی)
Table 8- Multi-functional ecological footprint of saffron in different years (Gha)

سال Year	ردپای درآمدی EF revenue	ردپای عملکردی EF yeild	ردپای زمین EF land
سال اول First year	3.209590868	0.015727	0.011404
سال دوم Second year	0.181078654	0.0008873	0.010609
سال سوم Third year	0.076225755	0.0003735	0.010774
سال چهارم Forth year	0.075450686	0.0003697	0.010752
سال پنجم Fifth year	0.086817214	0.0004254	0.010677
سال ششم Sixth year	0.142441046	0.000698	0.010567
میانگین Average	0.628600704	0.0030801	0.010797

عملکرد پایین زعفران بیشترین مقدار و در سال‌های دوم تا ششم به علت عملکرد بالاتر کمترین مقدار را داشته است. با توجه به این که محاسبه شاخص ردپا در سطح مزرعه یک موضوع نسبتاً جدید است، مطالعات مشابهی در مورد زعفران وجود ندارد تا بتوان با مقایسه نتایج به تصویر شفاف‌تری در مورد پایداری زعفران دست یافت. لذا نتایج این مطالعه با نتایج سایر مطالعاتی که در بخش کشاورزی صورت گرفته مقایسه شده است تا بتوان جایگاه تولید زعفران را با سایر محصولات کشاورزی از منظر پایداری مقایسه کرد. نتایج مطالعه‌ای که پایداری ذرت علوفه‌ای در شهرستان سرایان را بررسی کرده بود نشان داد ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن ذرت علوفه‌ای در شرایط جاری و

شاخص ردپای اکولوژیک چند کارکردی در جدول ۸ نشان داده شده است. میانگین شاخص ردپای زمین بر اساس یک هکتار جهانی ۰/۰۱ به دست آمد. میانگین شاخص ردپای اکولوژیک به ازای کسب یک میلیون تومان درآمد معادل ۰/۶۳ هکتار جهانی محاسبه شد. به عبارت دیگر کسب یک میلیون تومان درآمد از تولید زعفران نیازمند ۰/۶۳ زمین بر حسب هکتار جهانی است. کمترین شاخص ردپا بر اساس درآمد مربوط به سال‌های دوم تا پنجم تولید است که در این سال‌ها اوج محصول و درآمد وجود داشته است. مقدار ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن زعفران خشک نیز به صورت میانگین ۰/۰۰۳ هکتار جهانی محاسبه شد که این مقدار در سال اول به خاطر

سیاست‌گذاران در جهت اقدام به سوی کشاورزی پایدار، پایداری باید از مفهوم انتزاعی به یک مفهوم کمی تبدیل شود. بنابراین توسعه یک معیار کمی پایداری یک پیش‌نیاز اساسی برای توسعه اقدامات سیاستی برای کشاورزی پایدار است (Sands & Podmore, 2000). مزرعه مهمترین واحد تصمیم‌گیری در نظام‌های کشاورزی است و اثرات زیست‌محیطی در مزرعه تا حد زیادی به نوع عملیات تولید بستگی دارد (Van der Werf et al., 2009). بنابراین کشاورزان نیاز به یک راهنمای عملی و علمی دارند تا بتوانند عملیات تولید را در جهت نیل به پایداری بهبود بخشند. شاخص‌های پایداری ابزاری است که می‌تواند برای آگاهی کشاورزان نسبت به اثرات زیست‌محیطی اقدامات آن‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

در این مطالعه پایداری تولید زعفران در استان خراسان جنوبی با استفاده از شاخص ردپای اکولوژیک چندکارکردی بررسی شد. از مقایسه نتایج این مطالعه با نتایج سایر مطالعات اندک که در زمینه محاسبه شاخص ردپای اکولوژیک در بخش کشاورزی و سطح مزرعه وجود دارد، چنین به نظر می‌رسد که تولید زعفران نسبت به سایر محصولات کشاورزی پایدارتر است و عوارض زیست‌محیطی که نظام کشاورزی متعارف به دنبال دارد در تولید این محصول در سطح کمتری ملاحظه می‌شود.

بهینه تولید ۰/۰۸۴ و ۰/۰۸۳ هکتار جهانی است. همچنین برای ایجاد ۱۰۰۰ دلار درآمد از تولید ذرت علوفه‌ای ۱/۶۴ هکتار جهانی زمین بهره‌وری زیستی نیاز است. EF land^۱ نیز ۱/۳۷ gha/ghafarm برای تولید ذرت علوفه‌ای تخمین زده شده است (Esfahani et al., 2017). شاخص ردپای اکولوژیک برای تولید گندم در استان همدان به ترتیب ۲/۸۴ و ۲/۹۶ هکتار جهانی برای سیستم کشت حفاظتی^۲ و کشت متعارف^۳ گزارش شده است (Naderi Mahdei et al., 2015). ردپای اکولوژیک برای تولید یک هکتار انگور ۳/۲۱ هکتار جهانی بدست آمده است (Niccolucci et al., 2008). سروتی و همکاران (Cerutti et al., 2010) میزان ردپای اکولوژیک برای تولید یک تن شلیل در ایتالیا را ۱/۳۴ هکتار جهانی گزارش کردند. سروتی و همکاران (Cerutti et al., 2013) میزان شاخص ردپای اکولوژیک برای سه محصول سیب، زردآلو و کیوی را به ترتیب ۱/۵۷، ۱/۶۱ و ۳/۰۵ هکتار جهانی بر حسب یک تن محصول و ۴/۹، ۱/۶۶ و ۶/۷۷ هکتار جهانی بر حسب ۱۰۰۰ دلار درآمد محاسبه کردند.

نتیجه‌گیری

امروزه پایداری نظام‌های کشاورزی یکی از مهمترین چالش‌های این بخش است. به منظور تهیه یک راهنما برای

منابع

Alhajj Ali, S., Tedone, L., and De Mastro, G. 2013. A comparison of the energy consumption of rainfed durum wheat under different management scenarios in southern Italy. *Energy* 61: 308-318.

Agriculture Jihad Organization Statistics of South Khorasan Province. 2017. The MAJ Database. Available at Web site <http://www.maj.ir>. (Verified 5 November 2017).

Bastianoni, S., Pulselli, F.M., Castellini, C.,

Granai, C., Dal Bosco, A., and Brunetti, M. 2007. Emergy evaluation and the management of systems towards sustainability: A response to Sholto Maud. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 120: 472-474.

Cerutti, A., Beccaro, G.L., Bagliani, M., Donno, D., and Bounous, G. 2013. Multifunctional ecological footprint analysis for assessing eco-efficiency: A case study of fruit production

systems in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production* 40: 108-117.

Cerutti, A.K., Bagliani, M., Beccaro, G.L., and Bounous, G. 2010. Application of ecological footprint analysis on nectarine production: methodological issues and results from a case study in Italy. *Journal of Cleaner Production* 18 (10): 771-776.

Cerutti, A.K., Bruun, S., Beccaro, G.L., and Bounous, G. 2011. A review of studies applying environmental impact assessment methods on fruit production systems. *Journal of Environmental Management* 92 (10): 2277-2286.

EPA, 2016. Global Greenhouse Gas Emissions Data. . United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

Esengun, K., Gündüz, O., and Erdal, G. 2007. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management* 48 (2): 592-598.

Esfahani, S.M.J., Naderi Mahdei, K., Saadi, H., and Dourandish, A. 2017. Efficiency and sustainability of silage corn production by data envelopment analysis and multi-functional ecological footprint: evidence from Sarayan county, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 19 (7): 1453-1468.

Fang, K., Heijungs, R., and de Snoo, G.R. 2014. Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family. *Ecological Indicators* 36: 508-518.

Ferng, J.J. 2005. Local sustainable yield and embodied resources in ecological footprint analysis—a case study on the required paddy field in Taiwan. *Ecological Economics* 53 (3): 415-430.

Giljum, S., Burger, E., Hinterberger, F., Lutter, S., and Bruckner, M. 2011. A comprehensive set of

resource use indicators from the micro to the macro level. *Resources, Conservation and Recycling* 55 (3): 300-308.

González-Vallejo, P., Marrero, M., and Solís-Guzmán, J. 2015. The ecological footprint of dwelling construction in Spain. *Ecological Indicators* 52: 75-84.

Holmberg, J., Lundqvist, U., Robèrt, K.-H., and Wackernagel, M. 1999. The ecological footprint from a systems perspective of sustainability. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology* 6 (1): 17-33.

Houshyar, E., Dalgaard, T., Tarazkar, M.H., and Jørgensen, U. 2015. Energy input for tomato production what economy says, and what is good for the environment. *Journal of Cleaner Production* 89: 99-109.

Huijbregts, M.A.J., Hellweg, S., Frischknecht, R., Hungerbühler, K., and Hendriks, A.J. 2008. Ecological footprint accounting in the life cycle assessment of products. *Ecological Economics* 64 (4): 708-897.

IEEO. 2015. Energy balance sheet, Iran Energy efficiency organisation.

Kanitschar, C., Gassner, A., and Brunner, P. H. 2014. Combining the analysis of resource demand and Ecological Footprint. 28th EnviroInfo 2014 Conference. Oldenburg, Germany.

Khanali, M., Movahedi, M., Yousefi, M., Jahangiri, S., and Khoshnevisan, B. 2016. Investigating energy balance and carbon footprint in saffron cultivation – a case study in Iran. *Journal of Cleaner Production* 115: 162-171.

Koocheki, A., Karbasi, A., and Seyyedi, M. 2017. Some reasons for saffron yield loss over the last 30 years period (Review Article). *Saffron Agronomy and Technology* 5 (2): 107-122.

Lenzen, M., and Murray, S.A. 2003. The Ecological Footprint – Issues and Trends .The

- University of Sydney, Sydney.
- Monfreda, C., Wackernagel, M., and Deumling, D. 2004. Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. *Land Use Policy* 21 (3): 231-246.
- Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., and Sheklabadi, M. 2015. Assessment of agricultural farming systems sustainability in Hamedan province using ecological footprint analysis (Case study: irrigated wheat). *Journal of Agricultural Science and Technology* 17 (6): 1409-1420.
- Niccolucci, V., Galli, A., Kitzes, J., Pulselli, R.M., Borsa, S., and Marchettini, N. 2008. Ecological footprint analysis applied to the production of two Italian wines. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 128 (3): 162-166.
- Nguyen, T.L.T., and 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.
- Passeri, N., Borucke, M., Blasi, E., Franco, S., and Lazarus, E. 2103. The influence of farming technique on cropland: A new approach for the Ecological Footprint. *Ecological Indicators* 29: 1-5.
- Ruviaro, C.F., Gianezini, M., Brandão, F.S., Winck, C.A., and Dewes, H. 2012. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. *Journal of Cleaner Production* 28: 9-24.
- Saadi, H., and Esfehiani, S.M.J. 2015. Job burnout in employees of Agricultural Jihad Organization of Southern Khorasan province application of job demand-control- social support model. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research* 46 (3): 599-608.
- Sands, G.R., and Podmore, T.H. 2000. A generalized environmental sustainability index for agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79 (1): 29-41.
- Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133 (3-4): 247-266.
- Van der Werf, H.M.G., Kanyarushoki, C., and Corson, M.S. 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management* 90 (11): 3643-3652.
- Yilmaz, I., Akcaoz, H., and Ozkan, B. 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy* 30 (2): 145-155.
- Zadehrahim, S., radad, I., and behzadi, H. 201). A Comparative Study of information searching behavior of elite saffron farmers with that of normal saffron farmers in South Khorasan province. *Saffron Agronomy and Technology* 4 (4): 313-334.

Application of Multifunctional Ecological Footprint in Sustainability Analysis of Saffron Production in Southern Khorasan

Seyed Mohammad Jafar Esfahani^{1} and Javad Khazaei²*

Submitted: 27 February 2018

Accepted: 7 January 2019

Esfahani, S. M. J., Khazaei, J. 2020. Application of Multifunctional Ecological Footprint in Sustainability Analysis of Saffron Production in Southern Khorasan. *Saffron Agronomy & Technology*, 7(4): 491-503.

Abstract

The ecological footprint (EF) is a strong indicator of sustainability analysis that is used today in scientific communities. The footprint index determines the space required to support an activity by the average area needed to provide resources and absorb waste in term of global hectare (Gha). In this study, the sustainability of saffron production in the southern Khorasan province as one of the most important saffron production centers in the country was investigated due to the significant increase in saffron production in recent years. The data for this research was collected through questionnaires and interviews with 396 farmers in 2017. According to the different yield and consumption of inputs in different years, sustainability investigation was carried out for the first to sixth years. For this purpose, the amount of bio productive land directly required for production of saffron was considered as an indicator of the direct ecological footprint and amount of bio productive land needed to absorb the waste generated by the production process as indirect ecological footprint. The results of this study showed that the average indirect EF of saffron was 2.02 global hectare (Gha), 0.07 of which was related to farm and 0.13 Gha was related to off farm emissions. The highest EF was allocated to the first year of production. The multi-functional ecological footprint showed that the EF land was 0.01 Gha, EF revenue 0.63 Gha and EF yield was 0.003 Gha. Generally it seems that saffron production is relatively sustainable farming compared to other agricultural crops.

Keywords: Saffron, Ecological footprint, Global hectare, equivalent factor, Greenhouse gas.

1 - Assistant Professor of agricultural development, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

2 - Instructor of Department of Management, Economics and Accounting, Payame Noor University, Tehran, Iran.

(* - Corresponding author. Email: jesfahani@gmail.com)

DOI: 10.22048/jsat.2019.119069.1290