مهندسی بیوسیستم ایران، دورهٔ ۴۷، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۵ (ص ۳۶۱-۳۵۳)

کاهش اثرات زیست‌محیطی تولید چغندرقند با افزایش کارایی کشاورزان به کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها

مجید نامداری[1*]، شاهین رفیعی[2]، سلیمان حسین‌پور[3]

۱. دانشجوی دکترای، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲. استاد، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. استادیار، دانشکده مهندسی و فناوری، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۵- تاریخ تصویب:۱۳۹۴/۱۱/۲۱)

چکیده

ارزیابی اثرات زیست‌محیطی یکی از روش‌های مهم در دستیابی توسعه‌ی پایدار می‌باشد. در این مطالعه تلاش شده است با روش تحلیل پوششی داده‌ها و شناسایی واحدهای کارا در تولید چغندرقند، روش‌هایی برای کاهش اثرات زیست‌محیطی ارایه شود. با تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، شاخص نهایی برای تولید یک تن چغندرقند در منطقه برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی، اسیدیته، هوپرورش خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی به ترتیب برابر ۰/۱۳۸، ۲/۳۵۹، ۲/۰۵۵، ۰/۱۹۱ و ۲/۹۷۰ محاسبه گردید. در بین گروه‌های تاثیر مورد بررسی، تخلیه منابع آبی بیشترین اثرات زیست‌محیطی و گرمایش جهانی کمترین اثر زیست‌محیطی را داشته‌اند. روش تحلیل پوششی داده‌ها قادر است با شناسایی واحدهای ناکارا و ارایه الگوی مناسب از نظر مقیاس یا میزان مصرف نهاده‌ها، این شاخص‌ها را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد. نتایج نشان می‌هد توانایی مدل CCR در کاهش شاخص‌های مورد مطالعه از مدل BCC بیشتر می‌باشد که نشان از نامناسب بودن مقیاس تولید واحدها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه‌ی حیات، گرمایش جهانی، اسیدی شدن، تخلیه منابع، همدان

مقدمه

پیامدهای ناگوار زیست‌محیطی که جهان کنونی با آن روبه‌روست ناشی از برخورد غیرمعقول انسان با محیط‌زیست و استفاده از منابع پایه است؛ به‌طوری که به‌جای ژرف‌اندیشی و در نظرگیری منافع درازمدت، با هجوم بی‌وقفه و تاراج منابع، عواید کوتاه‌مدت را ترجیح داده و با تداوم این خط‌مشی، مسیر قهقرایی و زوال آن‌را برای خویش رقم زده است (Nejati-Moghaddam and Buzarjomehri, 2013). این امر بیش از هر چیز ناشی از ظهور مدرنیته با دستاورد غلبه‌ی انسان بر طبیعت به کمک عقل تقلیل‌گرا بود. نگره‌ی تقلیل‌گرا در کشاورزی تا جایی رسید که انسان، اکوسیستم را از یک ماهیت یک‌پارچه به مجموعه‌ای پراکنده از اجزا تقلیل داد که هدف آن، فقط و فقط تأمین نیازهای انسان به‌ویژه نیازهای کوتاه‌مدت بود. پیامد این امر بی‌توجهی به سایر کارکردهای اکوسیستم، غفلت از اثرات منفی فعالیت‌های انسانی بر سامانه‌های کشاورزی و طبیعی و زوال منابع طبیعی بوده است. با این تفاسیر امروزه برای رسیدن به توسعه پایدار توجه به روش‌هایی از تولید است که ضمن حفظ اصول محیط‌زیست، موجب بهبود زندگی افراد جامعه شده، با بهره‌برداری اصولی از منابع، مخاطرات جدی برای نسل آینده را به دنبال نداشته باشد.

انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرم شدن کره‌ی زمین، باران‌های اسیدی، بیابان‌زایی، افت سطح آب‌های زیرزمینی، تخلیه منابع انرژی به‌خصوص انرژی‌های تجدیدناپذیر مثال‌هایی از اثرات جهانی زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های انسان و به‌خصوص در عرصه‌ی کشاورزی هستند. ایران با توجه به شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک، توزیع نامناسب جمعیت، رقابت بخش‌های مختلف تولید در استفاده از منابع پایه، در زمره کشورهایی قرار دارد که مسایل زیست‌محیطی در آن‌ها از اهمیت مضاعفی برخوردار است (Mirhaji *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2013).

یکی از ابزارهای مناسب و کارآمد در زمینه ارتقای بهره‌وری، تحلیل پوششی داده‌ها[1] (DEA) بوده که به عنوان یک روش غیرپارامتری به‌منظور محاسبه کارایی واحدهای تصمیم گیرنده استفاده می‌شود (Khoshnevisan *et al.*, 2013). در این

* نویسنده مسئول: majidnamdari@ut.ac.ir

1.Data Envelopment Analysis

مطالعه شاخص‌های زیست‌محیطی در تولید چغندرقند در استان همدان مورد بررسی قرار گرفته، برای بهینه‌سازی این شاخص‌ها از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است.

در سطح جهانی، اثرات زیست‌محیطی برای محصولات مختلفی بررسی شده است (Abeliotis *et al*., 2013; Mouron *et al*., 2006; Renouf *et al*., 2008). در ایران نیز مطالعاتی برای بررسی اثرات زیست‌محیطی تولیدات کشاورزی صورت گرفته است. Mirhaji *et al.* (2012) از روش ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در تولید چغندرقند در استان خراسان جنوبی استفاده کردند. آن‌ها شاخص‌های گرمایش جهانی، اسیدیته، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقادیر نهایی زیست‌محیطی برای این شاخص‌ها به ترتیب ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۲، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۷۳ می‌باشد. بدین معنی که اثر زیست‌محیطی شاخص تخلیه منابع آبی اثر بیشتری در مقایسه با شاخص‌های دیگر داشته است. Mirhaji *et al.* (2013) اثرات زیست محیطی تولید گندم در مرودشت را نیز برآورد کرده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داد که ترکیبات نیتروژنه‌ی ناشی از مصرف اوره، مهمترین عامل در ایجاد تاثیرات زیست‌محیطی برای تولید گندم در منطقه مورد مطالعه بوده است. Soltani *et al.* (2010) نیز برای محصول گندم در استان گرگان، اثرات زیست‌محیطی شامل گرمایش جهانی، هوپرورش خشکی، اکسیداسیون فتوشیمیایی، اسیدی شدن، تخلیه اوزون و تخلیه انرژی غیرتجدیدشونده را مورد بررسی قرار دادند. Nikkhah *et al.* (2014) اثرات زیست‌محیطی تولید بادام‌زمینی در استان گیلان را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها شش گروه تاثیر شامل گرمایش جهانی، اسیدیته، هوپرورش خشکی، تخلیه منابع فسیلی، تخلیه منابع فسفات و تخلیه منابع پتاسیم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص تخلیه منابع فسیلی در تولید یک تن بادام‌زمینی در استان گیلان دارای پتانسیل بیشتری برای آسیب به محیط‌زیست است.

در کشاورزی از روش تحلیل پوششی داده‌ها به دفعات برای بهینه‌سازی شاخص‌های مختلفی نظیر شاخص انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده شده است (Mohammadi *et al*., 2013; Nabavi-PeleSaraei *et al*., 2014; Qasemi-Khoshnevisan Kordkheili and Nabavi-Pelesaraei, 2014; Nabavi-PeleSaraei and Amid, 2014 *et al*., 2013). برای شاخص‌های زیست‌محیطی نیز این روش نتایج مناسبی نشان داده است (Vázquez-Rowe *et al*., 2012).

در این مطالعه، چند شاخص زیست‌محیطی برای تولید چغندرقند استان همدان برآورد شده، تلاش شده است با روش تحلیل پوششی داده‌ها، این شاخص‌ها به حد بهینه رسیده تا اثرات زیست‌محیطی حاصل از زراعت چغندرقند تقلیل یابد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، شاخص‌های زیست‌محیطی شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن، هوپرورش خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی در تولید چغندرقند (*Beta vulgaris L.*) در استان همدان محاسبه شد. داده‌های مطالعه به‌کمک پرسش‌نامه و از ۸۸ کشاورز از کل استان به‌دست آمد. پرسش‌نامه به‌گونه‌ای طراحی شده بود که در آن تمام ورودی‌ها (شامل انواع کودهای شیمیایی، انواع سموم شیمیایی، ماشین‌ها، نیروی انسانی، بذر، سوخت، الکتریسیته، میزان آب مصرفی و کود دامی) و خروجی‌ها (شامل غده‌ها و شاخ و برگ) در سال زراعی ۱۳۹۲ ثبت می‌گردید. اطلاعات از طریق مصاحبه حضوری با کشاورزان به‌دست آمد. تعداد کشاورزان با استفاده از رابطه‌ی (۱) به‌دست آمد:

$$n = \frac{Nt^2S^2}{Nd^2 + t^2S^2} \qquad \text{(رابطهٔ ۱)}$$

که در آن N، اندازه جامعه آماری یا تعداد پیمان‌کاران چغندرقند منطقه مورد مطالعه، t ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر از جدول t-استیودنت به‌دست می‌آید. S^2 برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه، d دقت احتمالی مطلوب (نصف فاصله اطمینان) و n حجم نمونه است. برای تخمین انحراف معیار جامعه یک نمونه اولیه از ۲۵ مزرعه به طور تصادفی انتخاب شد. سپس نسبت انرژی به عنوان یکی از پارامترهای مهم مورد بررسی در این تحقیق انتخاب شده و انحراف معیار آن به‌دست آمد. تعداد کل پیمان‌کاران در سال زراعی مورد مطالعه ۱۲۱۹ ثبت شده بود.

نوع مطالعه‌ی شاخص‌های زیست‌محیطی در این مطالعه، ارزیابی چرخه‌ی حیات[1] (LCA) می‌باشد. در مطالعه ارزیابی چرخه حیات چهار مرحله وجود دارد (ISO 14044, 2006):

الف) مرحله تعریف هدف و دامنه. ب) مرحله تجزیه و تحلیل سیاهه. پ) مرحله ارزیابی پیامد. ت) مرحله تفسیر

دامنه کاربرد، شامل مرز سامانه و سطح جزییات در یک ارزیابی چرخه حیات به موضوع و استفاده مورد نظر در مطالعه بستگی دارد. عمق و وسعت ارزیابی چرخه حیات به طور عمده بسته به هدف خاص ارزیابی چرخه خیات می‌تواند متفاوت باشد.

مرحله تجزیه و تحلیل سیاهه چرخه حیات (LCI) دومین

1. Life Cycle Assessment

جدول ۱- گروه‌های تاثیر و طبقه‌بندی آن‌ها

گروه تاثیر	ترکیبات	فاکتور طبقه‌بندی	منبع
گرمایش جهانی (kg CO_2 eq)	CO_2, N_2O, CH_4	N_2O=۳۱۰ ،CH_4=۲۱ ،CO_2=۱	Mirhaji *et al.*, 2012
اسیدیته (kg SO_2 eq)	SO2, NOx, NH_3	NH_3=۱/۶ ،SO_2=۱/۲ ،NO_x=۰/۵	Mirhaji *et al.*, 2012
هوپرورش خشکی (kg NO_x eq)	NOx, NH_3	NH_3=۱/۶ ،NO_x=۱/۲	Mirhaji *et al.*, 2013
تخلیه منابع فسیلی (MJ)	مصرف گازوییل	۴۲/۸۶	Mirhaji *et al.*, 2012
تخلیه منابع آبی (m^3)	مصرف آب	۱	Mirhaji *et al.*, 2012

جدول ۲- فاکتورهای وزن‌دهی و نرمال‌سازی

گروه تاثیر(واحد)	فاکتور نرمال‌سازی	فاکتور وزن‌دهی	منبع
گرمایش جهانی (kg CO_2 eq)	۸۱۴۳	۱/۰۵	Mirhaji *et al.*, 2013
اسیدیته (kg SO_2 eq)	۵۲	۱/۸	Mirhaji *et al.*, 2013
هوپرورش خشکی (kg NO_x eq)	۶۳	۱/۴	Mirhaji *et al.*, 2013
تخلیه منابع فسیلی (MJ)	۳۹۱۶۷	۱/۱۴	Mirhaji *et al.*, 2013
تخلیه منابع آبی (m^3)	۶۲۶/۳۶	۰/۲۱	Mirhaji *et al.*, 2012

مرحله ارزیابی چرخه حیات است. این مرحله شامل سیاهه داده‌های درون‌داد/برون‌داد در ارتباط با سامانه مورد مطالعه است. این مرحله جمع‌آوری داده‌های لازم برای مطابقت با اهداف تعریف شده مطالعه را دربرمی‌گیرد.

مرحله ارزیابی پیامد چرخه حیات (LCIA) سومین مرحله ارزیابی چرخه حیات است. هدف از ارزیابی پیامد چرخه حیات، فراهم کردن اطلاعات اضافی برای کمک به ارزیابی نتایج سیاهه چرخه حیات یک سامانه تولید محصول برای درک بهتر اهمیت زیست‌محیطی آن‌ها است.

تفسیر چرخه حیات مرحله نهایی روش اجرایی ارزیابی چرخه حیات است که در آن نتایج یک سیاهه چرخه حیات (LCI) یا ارزیابی پیامد چرخه حیات (LCIA) یا هر دو با هم به عنوان پایه‌ای برای نتیجه‌گیری‌ها، پیشنهادها و تصمیم‌گیری‌ها مطابق با تعریف هدف و دامنه، خلاصه شده و مورد بحث قرار می‌گیرند.

مرزهای سامانه در این مطالعه، دروازه تا دروازه[1] در نظر گرفته شد؛ یعنی مرزهای سامانه از دروازه‌های ورودی مزرعه تا دروازه‌های خروجی مزرعه در نظر گرفته شد. شاخص‌های مورد مطالعه نیز شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن، هوپرورش خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی در نظر گرفته شد.

برای محاسبه این شاخص‌ها، ورودی‌های سامانه شامل کودهای شیمیایی، سوخت دیزل و میزان مصرف آب مورد بررسی قرار گرفته و انتشار گازهای CO_2، N_2O، CH_4، SO_2، NO_x، NH_3 و میزان مصرف آب و مصرف سوخت محاسبه گردید (جدول ۱). در این تحقیق مصرف کودهای شیمیایی، گازوئیل و آب برای تولید چغندرقند به عنوان نهاده‌های اصلی ورودی به سامانه تولید که موجب اثرات سوء زیست محیطی می شوند، مورد مطالعه قرار گرفتند (Nikkhah *et al.*, 2014).

در مرحله‌ی بعد اثرات انتشار هر کدام از این گازها و مصرف سوخت و آب توسط شاخص‌های پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)، پتانسیل اسیدی شدن (AP)، پتانسیل هوپرورش خشکی[2] (EP)، تخلیه منابع فسیلی (FD) و تخلیه منابع آبی (AD) ارزیابی شد. در این مرحله علاوه بر محاسبه گروه تاثیر، به منظور قابل مقایسه بودن و رسیدن به یک شاخص نهایی، مراحل نرمال‌سازی و وزن‌دهی نیز براساس جدول (۲) انجام شد.

با استفاده از رابطه‌ی (۲) شاخص نرمال‌سازی هر گروه تاثیر i را می‌توان به‌دست آورد (Mirhaji *et al.*, 2013):

(رابطهٔ ۲)
$$N_i = \frac{ICI_i}{NF_i}$$

ICI_i شاخص طبقه‌بندی گروه تاثیر i، NF_i فاکتور نرمال‌سازی برای منطقه‌ی مرجع برای هر گروه تاثیر i و N_i شاخص نرمال‌سازی گروه تاثیر i است.

در مرحله وزن‌دهی به هر اثر زیست‌محیطی براساس کارایی که برای آسیب زدن به محیط‌زیست دارند یک وزن داده

1. gate to gate

2. Eutrophication

می‌شود و هر گروه تاثیر که دارای کارایی آسیب بیشتری باشد مقدار بیشتری به آن اختصاص می‌یابد (Mirhaji *et al.*, 2012).

شاخص نرمال شده حاصل از مرحله قبل برای هر گروه تاثیر در فاکتور وزن‌دهی[1] آن گروه ضرب می‌شود تا شاخص نهایی برای هر اثر زیست‌محیطی به‌دست آید.

معادله کاربردی سه مرحله ارزیابی طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی به صورت معادله (۳) می باشد (Mirhaji *et al.*, 2012):

(رابطهٔ ۳)
$$FI = \sum_i \left(\frac{\sum_j (E_j or R_j) \times CF_{ij}}{NF_i} WF_i \right)$$

E_j or R_j: انتشار ترکیب j یا مصرف منبع j بر هر واحد مرجع، $CF_{i,j}$ فاکتور طبقه‌بندی برای ترکیب j یا منبع j سهیم در گروه تاثیر i، NF_i فاکتور نرمالیزه برای گروه تاثیر i و WF_i فاکتور وزن‌دهی برای گروه تاثیر i می‌باشد، در نتیجه FI نیز شاخص نهایی برای گروه تاثیر i می‌شود.

مرحله‌ی تفسیر چرخه حیات در یک مطالعه ارزیابی چرخه حیات یا یک سیاهه چرخه حیات، به شرح زیر است (ISO 14044, 2006):

شناسایی مسایل مهم مبتنی بر نتایج حاصل از مراحل سیاهه چرخه حیات و ارزیابی سیاهه چرخه حیات در ارزیابی چرخه حیات

یک ارزیابی که بررسی کامل بودن، حساسیت و سازگاری را مورد توجه قرار دهد

نتیجه‌گیری‌ها، محدودیت‌ها و توصیه‌ها.

بعد از به‌دست آوردن شاخص‌های زیست‌محیطی تلاش شد با روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)، شاخص‌های مورد مطالعه بهینه شوند. در این مطالعه از جامع‌ترین مدل‌های DEA که مدل بازگشت به مقیاس ثابت (به نام CCR هم شناخته می‌شود) و مدل بازگشت به مقیاس متغیر (که با نام BCC نیز شناخته می‌شود) است، برای محاسبه کارایی استفاده شده است. هر یک از مدل‌های فوق دارای دو جهت خروجی محور و ورودی محور می‌باشد. که دراین مطالعه از نوع ورودی محور استفاده شد. برای محاسبه کارایی از رابطه (۴) استفاده شد:

(رابطه ۴)
$$\text{کارایی} = \frac{u_1 y_1^{j^*} + u_2 y_2^{j^*} + \ldots + u_N y_N^{j^*}}{u_1 x_1^{j^*} + u_2 x_2^{j^*} + \ldots + u_M x_M^{j^*}}$$

که در این معادله u وزن خروجی‌ها، n تعداد خروجی‌ها (Nو...و۲و۱=n)، y مقدار خروجی‌های DMU j^*، v وزن ورودی‌ها، m تعداد ورودی‌ها (Mو...و۲و۱=m)، x مقدار ورودی‌های DMU j^*های تحت بررسی هستند (Khoshnevisan *et al.*, 2013). در این تحقیق برای محاسبه کارایی و تحلیل داده‌ها از نرم افزار EMS استفاده شد.

نتایج و بحث

با توجه به این‌که کشاورزان مورد مطالعه به‌صورت تصادفی انتخاب شده بودند، طیف وسیعی از روش‌های کاشت و روش‌های مدیریتی را دربرمی‌گرفتند. میانگین سطح زیرکشت مزراع مورد مطالعه حدودا سه هکتار با عملکرد ۵۳ تن بر هکتار بود. غالب روش آبیاری در مزارع مورد مطالعه به صورت غرقابی بوده که به کمک پمپ‌های برقی استحصال آب از چاه صورت می‌گرفت. میانگین مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه، فسفاته و پتاسه به‌ترتیب حدودا برابر با ۳۹۰، ۲۱۴ و ۱۴۰ کیلوگرم برهکتار بود.

در جدول (۳) انواع مختلف گازهای منتشر شده در هر هکتار از زراعت چغندرقند نشان داده شده است. در این جدول مشخص شده است که گازهای منتشره در اثر کدام‌یک از نهاده‌ها می‌باشد.

جدول ۳- انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند

ترکیبات انتشاریافته	میزان انتشار (کیلوگرم به ازای هر هکتار)	منبع انتشار
NH_3	۴۱/۳۶	اوره
N_2O	۲/۴۳	اوره و گازوییل
NO_x	۲/۸۳	اوره و گازوییل
CO_2	۳۱۸/۴۹	گازوییل
CH_4	۰/۰۲	گازوییل
SO_2	۰/۴۷	گازوییل

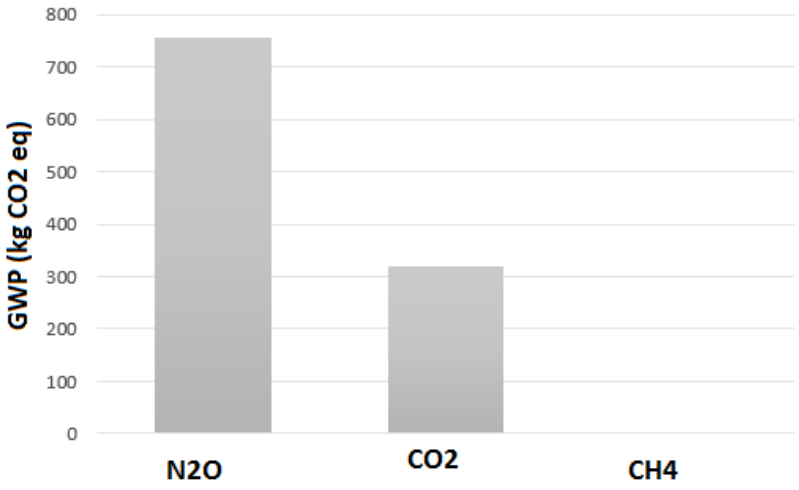
با توجه به اطلاعات جدول (۳) و همچنین اطلاعات جمع‌آوری شده از پرسش‌نامه‌ها، شاخص‌های زیست‌محیطی شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن، هوپرورش خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی به‌دست آمده و در جدول (۴) گزارش شد.

جدول ۴- شاخص‌های زیست‌محیطی در مزرعه برای تولید چغندرقند

گروه تاثیر	واحد	واحدهای کارکردی بر پایه جرم (عملکرد)	واحدهای کارکردی بر پایه سطح
گرمایش جهانی	kg CO_{2eq}	۰/۰۲۴	۱۰۷۳/۷۳
اسیدیته	kg SO_2eq	۰/۰۰۱	۶۸/۱۵
هوپرورش خشکی	kg NOx eq	۰/۰۰۴	۱۸۱/۲۳
تخلیه منابع فسیلی	MJ	۰/۱۵۱	۶۵۶۹/۳۷
تخلیه منابع آبی	m^3	۰/۲۰۰	۸۸۵۹/۶۱

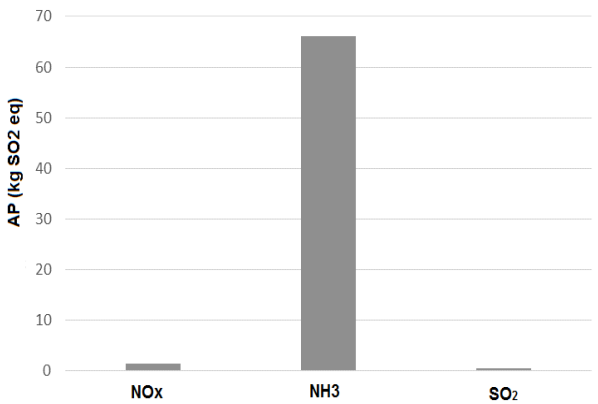
1. Weighting Factor

در جدول (۴) گروه‌های تاثیر در واحدهای کارکردی بر پایه عملکرد و همچنین بر پایه‌ی سطح بیان شده‌اند. شکل (۱) سهم هر یک از گازهای گلخانه‌ای در گرمایش جهانی (GWP) را نشان می‌دهد. هر کدام از این گازها براساس کارایی که دارند در گرمایش جهانی تاثیر می‌گذارند. براساس شکل (۱) در گرمایش جهانی سهم N_2O با میزان انتشار ۷۵۴/۸۲ $kgCO_2eq$ بیشتر از گازهای CO_2 و CH_4 می‌باشد. در مطالعه‌ی Mirhaji *et al.* (2012) برای محصول چغندرقند در استان خراسان رضوی نیز مشابه نتیجه مطالعه‌ی حاضر، سهم N_2O بیشتر از CO_2 بوده و سهم این دو نوع نیز به مقدار قابل توجهی بیشتر از CH_4 گزارش شده است.



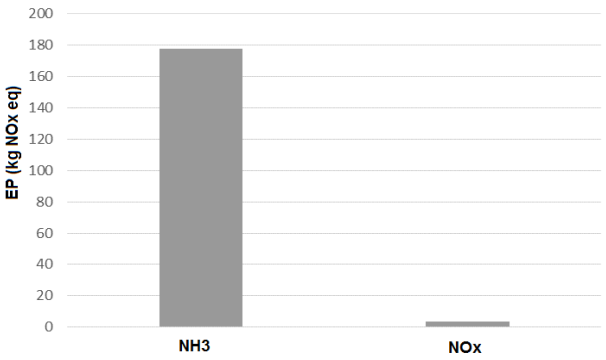
شکل ۱- سهم هر یک از گازهای گلخانه‌ای در گروه تاثیر گرمایش جهانی

شکل (۲) نیز سهم گازهای NO_x، NH_3 و SO_2 را در شاخص اسیدی شدن نشان می‌دهد. براساس این شکل نقش NH_3 با میزان انتشار ۶۶/۱۷ $kgSO_2eq$ بیشتر از دو گاز دیگر می‌باشد. سهم هر کدام از گازهای N_2O، CO_2 و CH_4 به‌ترتیب ۹۷، ۲ و ۱ درصد می‌باشد. نتایج مشابهی توسط Mirhaji *et al.* (2012) در تولید چغندرقند گزارش شده است. البته آن‌ها در محاسبات خود منبعی برای انتشار گاز SO_2 در نظر نگرفته بودند. اسیدی‌شدن دارای اثرات زیان‌بار برای گیاهان و حیوانات به‌ویژه به اکوسیستم‌ها بوده و به ساختمان‌ها نیز خسارت وارد می‌آورد (Soltani *et al.*, 2010).



شکل ۲- سهم هر یک از گازهای گلخانه‌ای در گروه تاثیر اسیدی شدن

شکل ۳ سهم هر یک از گازهای NH_3 و NO_x را در هوپرورش خشکی نشان می‌دهد. براساس این شکل NH_3 با ۹۸ درصد و NO_x با دو درصد در هوپرورش خشکی تاثیر دارند. هوپرورش خشکی عبارت از افزایش ناخواسته در تولید بیوماس در اکوسیستم‌های زمینی و آبی به‌علت ورود عناصر غذایی است که می‌تواند باعث تغییر در ترکیب رستنی‌ها شود. هوپرورش خشکی به‌ویژه در آب‌های سطحی خطرناک است چون می‌تواند رشد جلبک را تشدید نموده و سرانجام به از بین رفتن حیات برکه‌ها و دریاچه‌ها منجر گردد (Soltani *et al.*, 2010).



شکل ۳- سهم هر یک از گازهای گلخانه‌ای در گروه تاثیر هوپرورش

جدول ۵ مقادیر این شاخص‌ها بعد از وزن‌دهی را نشان می‌دهد. این جدول همچنین شاخص نهایی را نیز نشان می‌دهد.

نتایج این جدول بیان کننده‌ی این است که مقادیر شاخص‌های گرمایش جهانی، اسیدی شدن، هوپرورش خشکی، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی بعد از نرمال‌سازی و وزن‌دهی به ترتیب برابر با ۰/۱۳۸، ۲/۳۵۹، ۲/۰۵۵، ۰/۱۹۱ و ۲/۹۷۰ می‌باشد. این شاخص‌ها در واقع مقدار نهایی شاخص‌های مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۵- شاخص‌های زیست‌محیطی نرمال شده و وزن‌دهی شده بر پایه‌ی سطح

گروه تاثیر	واحد	نرمال شده	شاخص نهایی
گرمایش جهانی	-	۰/۱۳۲	۰/۱۳۸
اسیدیته	-	۱/۳۱۰	۲/۳۵۹
هوپرورش خشکی	-	۲/۸۷۷	۲/۰۵۵
تخلیه منابع فسیلی	-	۰/۱۶۸	۰/۱۹۱
تخلیه منابع آبی	-	۱۴/۱۴۵	۲/۹۷۰

نتایج نشان می‌دهد که در تولید یک تن چغندرقند تخلیه منابع آبی نسبت به سایر اثرات، دارای کارایی آسیب زیست‌محیطی بیشتری می‌باشد. در بین شاخص های مورد مطالعه، کمترین اثر نیز مربوط به گرمایش جهانی با میزان ۰/۱۳۸ می‌باشد. Mirhaji *et al.* (2012) نتایج مشابهی برای چغندرقند خراسان رضوی گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که شاخص نهایی در تولید یک تن از چغندرقند برای گرمایش جهانی، اسیدیته، تخلیه منابع فسیلی و تخلیه منابع آبی به ترتیب ۰/۰۰۰۳، ۰/۰۰۲، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۷۳ می‌باشد.

در فرایند تولید، نهاده‌های مختلف به‌مانند حلقه‌های یک زنجیر، در کنار هم باعث تولید محصول نهایی می‌شود. براساس شرایط هر منطقه، این حلقه‌ها محدویت‌هایی دارند. در بین حلقه‌های مختلف یک زنجیر، ضعیف‌ترین حلقه قدرت آن زنجیره را مشخص می‌کند. بنابراین وقتی از زنجیری برای کاری استفاده می‌شود، احتمال بریده شدن زنجیر از ناحیه‌ی حلقه‌ی ضعیف‌تر، بیش از سایر حلقه‌ها می‌باشد. در تولید محصولات کشاورزی هم شرایط مشابه هست. نهاده‌های مختلف کشاورزی مانند حلقه‌های زنجیری هستند که محصول نهایی را تولید می‌کنند. با توجه به این‌که ایران در کمربند خشک و نیمه خشک قرار گرفته است، این مطالعه نشان داد که ضعیف‌ترین حلقه‌ی تولید محصولات کشاورزی نهاده‌ی آب می‌تواند باشد. لذا احتمال آسیب رسیدن به این حلقه نسبت به سایرین بیشتر است. از این رو لازم است در هر منطقه میزان کشت محصولات کشاورزی براساس توان آبی هر منطقه صورت بگیرد نه براساس میزان زمین‌های زراعی موجود. متاسفانه در شرایط کنونی کشور شاهد آن هستیم که به دلیل رعایت نکردن این موضوع، سالیانه سطح آب‌های زیرزمینی در حال فروکش کردن[1] می‌باشد. حفر چاه‌های غیرمجاز، عدم کنترل چاه‌ها برای میزان استحصال تعیین شده، غفلت از مقوله‌ی تجارت مجازی آب و عدم قیمت‌گذاری مناسب آب از مسایلی است که باعث شده صدمات بخش کشاورزی در تخلیه منابع آبی مضاعف گردد.

با انجام تحلیل پوششی داده‌ها، تمام محاسبات قبلی در شرایط جدید و براساس کارایی مزراع، مجدد محاسبه و در جداول (۶) تا (۸) گزارش شده است.

جدول (۶) نشان می‌دهد که به‌کمک روش تحلیل پوششی داده‌ها، کشاورزان با الگو قرار دادن کشاورزان کارا می‌توانند به مقدار قابل توجهی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بکاهند. مقایسه نتایج قبل و بعد از DEA نشان می‌دهد که به‌عنوان مثال در مورد گاز NH_3، مدل CCR و مدل BCC به ترتیب ۴۲/۳۶ و ۱۸/۲۲ درصد باعث کاهش انتشار این گاز شده است. شکل (۴) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد مطالعه را قبل و بعد از تحلیل پوششی داده‌ها مورد مقایسه قرار داده است.

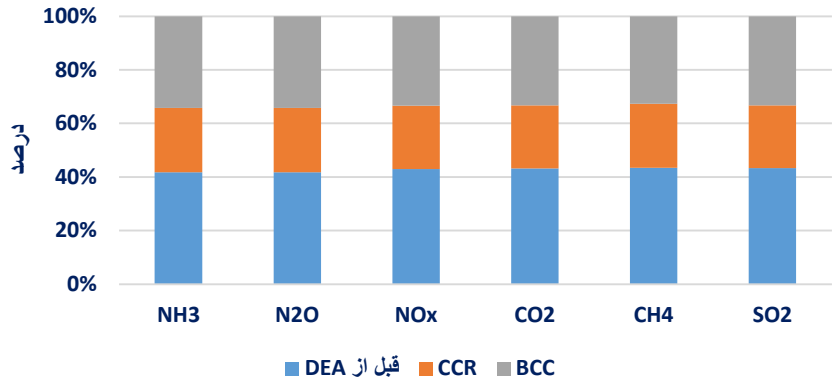
شکل (۴) نشان می‌دهد که در تمام گازهای مورد مطالعه، کمترین میزان انتشار در مدل CCR می‌باشد.

جدول (۷) گروه‌های تاثیر مورد مطالعه را در مدل‌های CCR و BCC را نشان می‌دهد. در این جدول نیز مشاهده می‌شود که گروه‌های تاثیر با مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها کاهش یافته که در مدل CCR میزان کاهش بیشتری را شاهد هستیم.

1. Drawdown

جدول ۶- انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندرقند بعد از تحلیل پوششی داده‌ها

ترکیبات انتشاریافته	قبل از DEA	میزان انتشار (کیلوگرم به ازای هر هکتار)				منبع انتشار
		مدل CCR	درصد	مدل BCC	درصد	
NH_3	۴۱/۳۶	۲۳/۸۳۸	۴۲/۳۶	۳۳/۸۲۴	۱۸/۲۲	اوره
N_2O	۲/۴۳	۱/۴۰۳	۴۲/۲۶	۱/۹۹۱	۱۸/۰۷	اوره و گازوییل
NO_x	۲/۸۳	۱/۵۵۳	۴۵/۱۲	۲/۱۹۸	۲۲/۳۳	اوره و گازوییل
CO_2	۳۱۸/۴۹	۱۷۳/۷۸۹	۴۵/۴۳	۲۴۵/۸۳۵	۲۲/۸۱	گازوییل
CH_4	۰/۰۲	۰/۰۱۱	۴۵/۰۰	۰/۰۱۵	۲۵/۰۰	گازوییل
SO_2	۰/۴۷	۰/۲۵۴	۴۵/۹۶	۰/۳۶۰	۲۳/۴۰	گازوییل



شکل ۴- میزان انتشار گازهای مورد مطالعه قبل و بعد از تحلیل پوششی داده‌ها

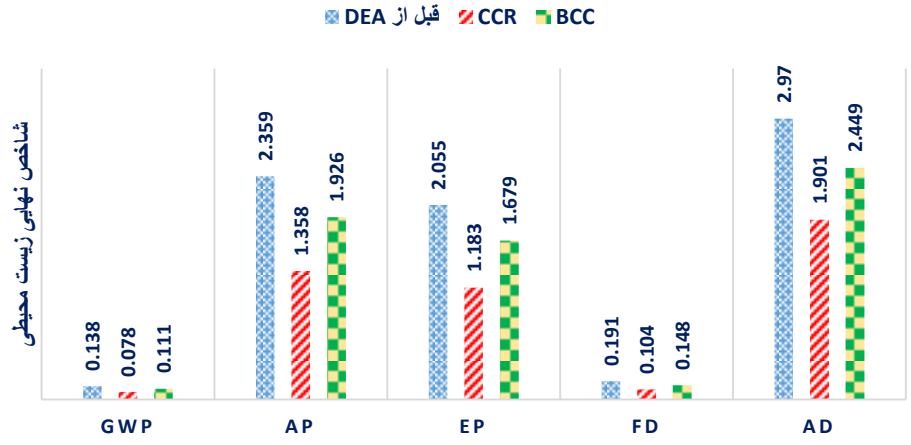
جدول ۷- شاخص‌های زیست‌محیطی تولید چغندرقند بعد از تحلیل پوششی داده‌ها

گروه تاثیر	واحد	مدل CCR		مدل BCC	
		واحدهای کارکردی بر پایه جرم (عملکرد)	واحدهای کارکردی بر پایه سطح	واحدهای کارکردی بر پایه جرم (عملکرد)	واحدهای کارکردی بر پایه سطح
گرمایش جهانی	kg CO_{2eq}	۰/۰۱۲	۶۰۹/۰۸	۰/۰۱۸	۸۶۳/۴۶
اسیدیته	kg SO_2eq	۰/۰۰۱	۳۹/۲۲	۰/۰۰۱	۵۵/۶۵
هوپرورش خشکی	kg NO_x eq	۰/۰۰۲	۱۰۴/۳۶	۰/۰۰۳	۱۴۸/۰۸
تخلیه منابع فسیلی	MJ	۰/۰۶۷	۳۵۸۴/۶۴	۰/۱۰۸	۵۰۷۰/۶۸۴
تخلیه منابع آبی	m^3	۰/۱۰۶	۵۶۷۰/۶۰	۰/۱۶۱	۷۳۰۳/۱۱۸

جدول ۸- شاخص‌های زیست‌محیطی نرمال شده و وزن‌دهی شده بر پایه‌ی سطح بعد از تحلیل پوششی داده‌ها

گروه تاثیر	واحد	مدل CCR		مدل BCC	
		نرمال شده	نرمال و وزن‌دهی شده	نرمال شده	نرمال و وزن‌دهی شده
گرمایش جهانی	-	۰/۰۷۵	۰/۰۷۸	۰/۱۰۶	۰/۱۱۱
اسیدیته	-	۰/۷۵۴	۱/۳۵۸	۱/۰۷۰	۱/۹۲۶
هوپرورش خشکی	-	۱/۶۵۷	۱/۱۸۳	۲/۳۵۰	۱/۶۷۹
تخلیه منابع فسیلی	-	۰/۰۹۲	۰/۱۰۴	۰/۱۲۹	۰/۱۴۸
تخلیه منابع آبی	-	۹/۰۵	۰/۹۰۱	۱۱/۶۶۰	۲/۴۴۹

جدول (۸) شاخص نرمال شده و شاخص نهایی گروه‌های تاثیر را نشان می‌دهد. براساس این جدول شاخص نهایی تمام گروه‌های تاثیر با تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، کاهش چشم‌گیری داشته است. به منظور قابل مقایسه بودن شاخص نهایی هر کدام از گروه‌های تاثیر، قبل و بعد از تحلیل پوششی داده‌ها، شکل (۵) ارایه شده است.



شکل ۵- مقایسه شاخص نهایی قبل و بعد از تحلیل پوششی داده‌ها (مدل‌های CCR و BCC)

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که کشاورزان با الگو قرار دادن کشاورزان کارا، می‌توانند در کشت چغندرقند، میزان آسیب‌های زیست‌محیطی را کاهش دهند. در بین دو مدل CCR و BCC نیز مدل CCR قادر است با ارایه راه‌کارهای مناسب‌تر برای افزایش کارایی مزراعی که در مرز کارایی تولید نیستند، اثرات زیست‌محیطی را به مقدار بیشتری کاهش دهد. روش تحلیل پوششی داده‌ها نشان می‌دهد که کشاورزان در مرز کارایی زیست‌محیطی نمی‌باشند و اکثر فعالیت‌های آن‌ها نهاده‌های بیشتر از نیاز مصرف می‌کند. این مصرف بیشتر از نیاز نه‌تنها باعث بالا رفتن هزینه‌ها شده بلکه اثرات نامطوبی بر محیط‌زیست گذاشته و باعث از بین رفتن منابع پایه می‌شود. عملکرد بهتر مدل CCR نشان از نامناسب بودن مقیاس تولید واحدها در زراعت چغندرقند می‌باشد.

با توجه به این‌که کشاورزان چغندرکار تمایل چندانی به استفاده از کودهای دامی ندارند و دلیل آن نیز نیاز بیشتر به عملیات وجین در مزراعی است که از کودهای دامی استفاده شده، کودهای فرآوری شده که به صورت پلیت در بازار عرضه می‌شود، گزینه خوب و جایگزین مناسبی برای کودهای دامی و کودهای شیمیایی می‌باشد که نتیجه آن کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی می‌باشد.

کشاورزان و مسئولان باید توجه داشته باشند که در شرایطی که در تامین نهاده‌ها محدودیت وجود دارد، عملکرد بالا در کشاورزی به معنای کشاورزی مطلوب و مناسب نیست، بلکه به جای علمکرد اگر از کارایی استفاده شود، بسیاری از جنبه‌های دیگر نظیر مسایل زیست‌محیطی نیز مورد توجه قرار خواهد گرفت. کشاورزانی موفق هستند که کارایی بهتری داشته باشد و صرف استفاده بیشتر از نهاده‌ها که ضمن صدمه زدن به محیط‌زیست عملکرد بالایی داشته باشد کشاورزی مطلوب به شمار نمی‌آید.

REFERENCES

Abeliotis, K., Detsis, V. & Pappia, C. (2013). Life cycle assessment of bean production in the Prespa National Park, Greece. *Journal of Cleaner Production*, 41, 89-96.

ISO 14044. (2006). Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Organization for Standardization

Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M. & Mousazadeh, H. (2013). Comparison of GHG Emissions of Efficient and Inefficient Potato Producers Based on Data Envelopment Analysis. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology*, 1(3), 81-88.

Mirhaji, H., Khojastehpour, M. & Abbaspour-Fard, M. H. (2013). Environmental impact study of wheat production in Marvdasht area of Iran. *Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Recourses)*, 66(2), 223-232. (In Farsi with English Summary)

Mirhaji, H., Khojastehpour, M., Abbaspour-Fard, M. H. & Mahdavi Shahri, S.M. (2012). Environmental impact study of sugar beet (Beta vulgaris L.) production using life cycle assessment (case study: South Khorasan region). *Journal of Agroecology*, 4(2),112-120. (In Farsi with English Summary)

Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Dalgaard, T., Knudsen, M. T., Keyhani, A. & Mousavi-Avval S.H. (2013). Potential greenhouse gas emission reductions in soybean farming: A combined use of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 54, 89-100.

Mouron, P., Nemecek, T., Scholz, R. W. & Weber, O. (2006). Life cycle management on Swiss fruit farms: relating environmental and income indicators. *Ecological Economics*, 58, 561-578.

Nabavi-PeleSaraei A. & Amid, S. (2014). Reduction of greenhouse gas emissions of eggplant production by energy optimization using DEA approach. *Elixir Energy and Environment*, 69, 23696-23701.

Nabavi-PeleSaraei, A., Abdi, R., Rafiee, S. & Taromi, K. (2014). Applying data envelopment analysis approach to improve energy efficiency and reduce greenhouse gas emission of rice production. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 7(4), 155-162.

Nejati-Moghaddam, Z. & Buzarjomehri, K. (2013). Impact assessment of agricultural inputs on environment. *In: Proceedings of Conference of Agriculture and National Production with Focused on Land Use*. 28 February, Ghom, Iran, pp. 1-16. (In Farsi)

Nikkhah, A., Taheri-Rad, A., Khojastehpour, M., Emadi, B. & Payman, H. (2014). Environmental Impacts of Peanut Production in Astaneh Ashrafiyeh of Guilan Province. *Journal of Agroecology*, 6(2), 373-382. (In Farsi with English Summary)

Qasemi-Kordkheili, P. & Nabavi-Pelesaraei, A. (2014). Optimization of energy required and potential of greenhouse gas emissions reductions for nectarine production using data envelopment analysis approach. *International Journal of Energy and Environment (IJEE)*, 5(2), 207-218.

Renouf, M. A., Wegener, M. K. & Nielsen, L. K. (2008). An environmental life cycle assessment comparing Australian sugarcane with US corn and UK sugar beet as producers of sugars for

fermentation. *Biomass and Bioenergy*, 32,1144–1155.

Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E. & Soltani, E. (2010). Evaluation of environmental impact of crop production using LCA: wheat in Gorgan. *Electronic Journal of Crop Production*, 3(3), 201-218. (In Farsi with English Summary)

Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, R., Iribarren, D., Moreira, M. T. & Feijoo, G. (2012). Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixasappellation (NW Spain). *Journal of Cleaner Production*, 27, 92-102.