

ارزیابی شاخص های انرژی و زیست محیطی در تولید شکر از چغندر قند

حسن غلامرضایی^۱، کامران خیرعلی پور^{۱*}، شاهین رفیعی^۲، بهرام قمری^۱

*گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام.

^۲گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*ایمیل نویسنده مسئول: k.kheiralipour@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۰۵

چکیده

بررسی شاخص های انرژی و زیست محیطی در هر فعالیتی به منظور کاهش اثرات سوء بر محیط زیست ضروری می باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی شاخص های انرژی و زیست محیطی در تولید شکر از چغندر قند (*Beta vulgaris*) صورت گرفت. از داده های کارخانه قند فریمان، فریمان، خراسان رضوی، استفاده شد. از روش ارزیابی چرخه حیات و نرم افزار سیماپرو به منظور تعیین بارهای محیطی تولید محصول بهره گرفته شد. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که میزان کل انرژی نهاده در تولید یکصد تن شکر MJ ۴۷۸۸۶۹۰/۱۲ است. مؤثرترین نهاده ی انرژی بر در تولید شکر، گاز طبیعی با سهم ۴۳ درصدی می باشد. شاخص های نسبت انرژی، بهره وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی نیز به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۰۲ Kg/MJ، ۴۷/۹ MJ/kg و $2075499.7 \text{ MJ}/100\text{ton}^{-1}$ محاسبه شد. سهم مصرف انرژی تجدیدناپذیر ۹۷/۳۵ درصد بود. بیشترین بارهای زیست محیطی به ترتیب از جانب چغندر قند، تجهیزات و ماشین ها، نایلون و سنگ آهک می باشد. نرمال سازی شاخص های زیست محیطی در تولید شکر نشان داد که گروه های اثر سمیت آب های آزاد، تقلیل منابع غیرآلی (سوختهای فسیلی)، گرمایش جهانی، سمیت آب های سطحی و پتانسیل اسیدی شدن نسبت به سایر گروه های اثر دارای مقادیر بیشتری می باشند.

کلمات کلیدی

"چغندر قند"، "شکر"، "انرژی"، "ارزیابی چرخه حیات"، "اثرات زیست محیطی".

Investigation of energy and environmental indicators in sugar production from sugar beet

Hassan Gholamrezayi¹, Kamran Kheiralipour^{1*}, Shahin Rafiee², Bahram Ghamary¹

¹1.Mechanical Engineering of Biosystems Department, Ilam University, Ilam, Iran.

²2.Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Email Address: k.kheiralipour@ilam.ac.ir

Abstract

Evaluation of energy and environmental indicators in each activity is nessessery in order to reduce the adverse effects on the environment. The aim of the present study was to investigate energy and environmental indicators in the production of sugar from sugar beet (*Beta vulgaris*). The data of Fariman Sugar Factory, Fariman, Khorasan Razavi, was used. Life cycle assessment method and SimaPro Software were used to determine the environmental loads of product production. The results of the present study showed that the total amount of input energy in the production of one hundred tons of sugar was 4788690.12 MJ. The most effective input energy in sugar production was natural gas with a share of 43%. The values of energy ratio, energy efficiency, energy intensity, and net energy gain indices were calculated as 0.56, 0.02 Kg.MJ⁻¹, 47.9 MJ.kg⁻¹, and -2075499.7 MJ.100tons⁻¹. The share of non-renewable energy consumption was 97.35%. The highest environmental loads were from sugar beet, equipment and machinery, nylon and limestone, respectively. Normalization of environmental indicators in sugar production showed that the effect groups of marine aquatic ecotoxicity, abiotic depletion (fossil fuels), glowbal warming, fresh water aquatic ecotoxicity and acidificatin potential had higher values compared to others efect groups.

Keywords

"Sugar beet", "Sugar", "Energy", "Life cycle assessment", "Environmental impacts".

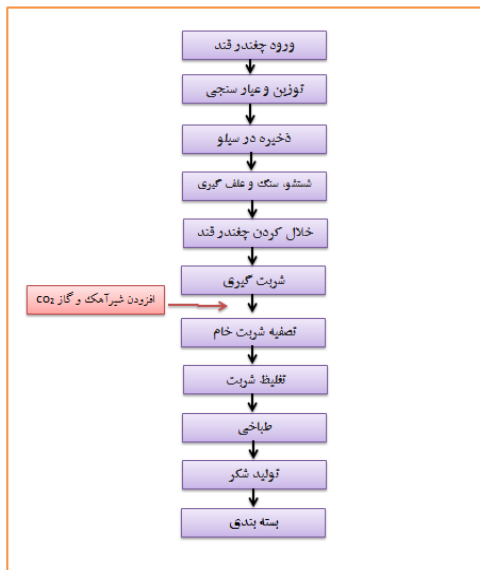
۱- مقدمه

مانند چغندر قند و نیشکر استخراج می‌گردد (فهندرسعدی، ۱۳۸۸). تولید سالانه حدود یک و نیم میلیون تن شکر ایران را به بیستمین تولید کننده این محصول در جهان مبدل ساخته است (بی‌نام، ۱۳۹۵). با بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که تاکنون تحقیقی در زمینه ارزیابی چرخه حیات تولید شکر از چغندر قند صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت قند و شکر و جایگاه آن در کشور و همچنین اهمیت مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی ناشی از مصرف انواع سوخت‌ها، الکتریسیته و غیره در کارخانه تولید قند و شکر، انجام تحقیقی به منظور شناخت و تعیین میزان مصرف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی در این بخش، ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با توجه به مرور تحقیقات پیشین، تاکنون چنین مطالعه‌ای در کشور و در منطقه صورت نگرفته است. بنابراین در تحقیق حاضر تعیین شاخص‌های انرژی و زیست محیطی در تولید شکر، در کارخانه قند شهرستان فریمان، مورد هدف بررسی قرار گرفته است.

۲- روش انجام تحقیق

۲-۱- جمع آوری داده‌ها

در تحقیق حاضر شاخص‌های انرژی و زیست محیطی در تولید شکر از چغندر قند مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۱۳۴۷ فردی به نام مارگراف از آلمان توانست از شربت چغندر کریستال شکر را تولید کند، بعد با پیشرفت‌هایی که در این زمینه انجام شد شکر به صورت امروزی تولید گردید (علیرضالو و قره‌خانی، ۱۳۸۸). مراحل تولید شکر به صورت شکل (۱) (مصباحی، ۱۳۸۳).



شکل ۱. دیاگرام ساده مراحل تولید شکر.

داده‌های تحقیق مربوط به کارخانه قند فریمان جمع‌آوری شده است. منطقه فریمان از توابع استان خراسان است که ۷۵ کیلومتر با مرکز استان، مشهد، فاصله دارد. شهرستان فریمان، با مساحت ۲۳۵۰ کیلومتر مربع از شمال و غرب با شهرستان مشهد، از شرق با شهرستان تربت‌جام و از جنوب با شهرستان تربت‌حیدریه مجاور است (شکل ۲). حداکثر ارتفاع شهرستان از سطح دریا ۳۲۸۰ و حداقل ارتفاع ۱۴۱۰ متر، میانگین بارندگی سالانه ۲۶۵ میلی‌متر و آب و هوای آن مدیترانه‌ای است (بی‌نام، ۱۳۹۳).

یکی از مهم‌ترین مسأله‌ای که امروزه توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است، پدیده تغییر اقلیم و گرم شدن جهانی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای است. ایران با تولید سالانه ۴۷۱ میلیون تن گاز کربن‌دی‌اکسیدی دهمین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و هشتمین کشور آلوده‌ی هوا در جهان است (ایرنا، ۱۳۹۲). گازهای گلخانه‌ای سبب تغییر اقلیم، برهم خوردن چرخه‌ی هیدرولیکی (خشکسالی‌ها و سیلاب‌های شدید)، بالا رفتن سطح آب دریاها، مرگ جنگل‌ها و گرمایش جهانی می‌شود (آل محمد و همکاران، ۱۳۹۲). صنعت، کشاورزی، حمل و نقل، و دفع زباله از بخش‌های عمده تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای هستند. آلاینده‌های منتشر شده ناشی از مصرف منابع مختلف انرژی دو سوم کل گازهای گلخانه‌ای انتشار یافته را به خود اختصاص داده است (Taseska et al., 2011) بنابراین انرژی به عنوان نیروی محرکه در بخش حمل و نقل هوایی، دریایی، ریلی و جاده‌ای، تولید گرما و سرما در بخش خانگی، تجاری، تولید محصولات کشاورزی (زراعی، باغی و دامی) و همچنین تولید برق (مرادی و امینیان، ۱۳۹۱) بزرگترین منبع انتشار گاز گلخانه‌ای است. کشاورزی سهم زیادی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد (Rebitzer et al., 2004; سلطانی و همکاران، ۱۳۸۹). افزایش مصرف نهاده‌ها برای تأمین امنیت غذایی جامعه در بخش کشاورزی (میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۰) منجر به معرفی روش‌های جدید تولید محصولات کشاورزی و وابستگی بیشتر آن به کودها، سموم شیمیایی و انرژی (سوخت‌های فسیلی) شده و بنابراین باعث افزایش آلاینده‌های زیست محیطی شده است. محدودیت منابع طبیعی از یک طرف و اثرات سوء ناشی از مصرف منابع بر سلامت انسان و محیط زیست، بر ضرورت بررسی الگوهای مصرف انرژی به منظور استفاده مؤثر از آن و همچنین کاهش اثرات زیست محیطی تأکید می‌نماید (Mousavi et al., 2011; Avval et al., 2011; خیرعلی پور، ۱۳۹۹). اخیراً بررسی شاخص‌های زیست محیطی در فعالیت‌های مختلف (خیرعلی پور، ۱۳۹۹) به روش ارزیابی چرخه حیات^۱ (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران/ ایزو ۱۴۰۴۰، ۱۳۸۶) به عنوان یکی از روش‌های ارزیابی زیست محیطی گسترش یافته است. اخیراً استفاده از این روش در فرآوری محصولات کشاورزی مرسوم گشته است. تحلیل انرژی و زیست محیطی در تولید محصولات کشاورزی (پاینده و همکاران، ۱۳۹۵; Ramedani et al., 2019; Kheiralipour et al., 2017) صورت گرفته است. تحلیل انرژی تولید محصولات زراعی مانند نیشکر احمدی (۱۳۸۸) و چغندر قند (Erdal et al., 2007; مندی و همکاران، ۱۳۹۲) و تحلیل شاخص‌های زیست محیطی در تولید چغندر قند (میرحاجی و همکاران، ۱۳۹۰; رحیمیان، ۱۳۹۴) مورد مطالعه قرار گرفته است. همچنین شاخص‌های زیست محیطی در فرآوری محصولات کشاورزی مانند تولید کمپوت (باستانی، ۱۳۹۵)، کلوچه (خانعلی و همکاران، ۱۳۹۷) و نان (حاجی احمد و همکاران، ۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفته است. از نظر رتبه‌بندی منابع تأمین‌کننده انرژی در رژیم غذایی انسان، شکر و قند به ترتیب چهارمین و پنجمین کالا محسوب شده (پیرایه، ۱۳۸۴) و همواره از آن به عنوان یک کالای راهبردی نام برده می‌شود (خدادادکاشی و حیدری، ۱۳۷۸). شکر از نباتاتی

گاز طبیعی	m ³	۴۹/۵	(Kitani, 1999)
مازوت	l	۴۷/۸	(Kitani, 1999)
روغن ماشین‌ها	l	۴۷/۸	غفاری قره‌باغ و همکاران (۱۳۹۲)
نایلون	kg	۱۷/۹۱	(Kitani, 1999)
حمل و نقل	ton.km	۳/۰۵	یونسی و همکاران (۱۳۹۲)
سنگ آهک	kg	۱/۵۹	Saniz (2003)
آب	m ³	۰/۶۳	Kizilaslan (2009)
الکتریسیته	kWh	۱۲/۱	Taghavifar and Mardani (2015)
ستاده			
شکر	kg	۱۵/۴	Omidi-Arjenaki et al. (2016)
تفاله	kg	۱۱/۳	محاسبه شده
ملاس	kg	۱۵	کرامتی اصل و همکاران (۱۳۹۳)



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی شهرستان فریمان در استان خراسان رضوی.

۲-۲- شاخص های انرژی

در سال ۱۹۷۰ پس از افزایش قیمت محصولات نفتی، محبت تحلیل انرژی فعالیت های مختلف مطرح شد (طیب‌طاهر و همکاران، ۱۳۸۷) و انرژی نهاده ها و ستاده ها تعیین و بررسی می گردد تا با استفاده از آن ها و روابط مربوطه شاخص های انرژی محاسبه شوند. انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در هر فعالیتی با مقدار محتوای انرژی (هم‌ارز انرژی) آن‌ها مشخص می‌شود (Kitani, 1999). در کارخانه، چغندر قند، نیروی کارگری، آب، الکتریسیته، سنگ آهک، سوخت (دیزل، گاز و مازوت) و ماشین‌ها و تجهیزات، نهاده‌های کارخانه تولید شکر هستند. شکر، تفاله و ملاس محصول یا ستاده‌ی این فرآیند می‌باشد. برای محاسبه انرژی معادل نهاده‌ها و ستاده‌ها از هم‌ارز انرژی متناظر با هر یک از آن‌ها استفاده شد. هم‌ارز انرژی برای نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شکر در جدول (۱) آمده است. شاخص‌های انرژی ایزاری هستند که امکان مقایسه سامانه‌ها با یکدیگر و مطالعه جز به جز آن‌ها را با یکدیگر فراهم می‌کنند. شاخص‌های انرژی در کارخانه قند فریمان شامل نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی مورد مطالعه قرار گرفت (Payandeh et al., 2016).

$$(1) \text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی (مگاژول بر تن)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر تن)}}$$

$$(2) \text{شدت انرژی} = \frac{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر تن)}}{\text{عملکرد (تن)}}$$

$$(3) \text{بهره‌وری انرژی} = \frac{\text{عملکرد (تن)}}{\text{انرژی ورودی (مگاژول بر تن)}}$$

$$(4) \text{انرژی ورودی} - \text{انرژی خروجی} = \text{افزوده خالص انرژی}$$

جدول ۱. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها در تولید شکر

عنوان	واحد	محتوای انرژی (MJ/Unit)	منبع
نهاده			
چغندر قند	kg	۵/۰۴	Ozkan et al., (2005)
نیروی انسانی	h	۱/۹۶	Taghavifar and Mardani (2015)
دیزل	l	۵۶/۳۱	Hamedani et al. (2011)

انرژی ورودی در فعالیت های مختلف به دو دسته تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر طبقه بندی نمود (Ozkan et al., 2000; Singh et al., 2004). دسته‌بندی دیگر انرژی به صورت انرژی مستقیم و انرژی غیرمستقیم می‌باشد (Ozkan et al., 2004).

۲-۳- شاخص های زیست محیطی

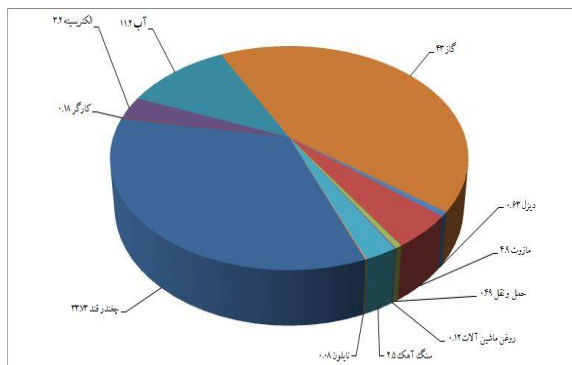
شاخص های زیست محیطی فعالیت های مختلف همان اثراتی هستند که در روش ارزیابی چرخه حیات محاسبه می شوند. روش ارزیابی چرخه حیات به صورت جمع‌آوری و محاسبه ورودی‌ها، خروجی‌ها، انتشارات، و اثرات زیست محیطی یک فعالیت در طول چرخه حیات آن تعریف شده است (ISO 14040, 2006). چهار مرحله در یک مطالعه LCA الزامی است که به هم وابسته و مکمل یکدیگر می‌باشند (مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران / ایزو ۱۴۰۴۰، ۱۳۸۶): تعریف هدف و دامنه کاربرد، تجزیه و تحلیل سبانه، ارزیابی پیامد، و تفسیر. به منظور انجام محاسبات چرخه حیات در این تحقیق، از نرم‌افزار سیماپرو (SimaPro V8.2) استفاده گردید و نتایج به‌دست آمده برای محصولات مورد مطالعه مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. سیماپرو نرم‌افزار سیماپرو شامل گستره وسیعی از پایگاه داده‌ها مانند اکواینونت^۱ سویس، ورودی و خروجی ایالات متحده آمریکا، ورودی و خروجی دانمارک، داده‌های صنعت، پایگاه داده LCA Food Buwal 250، ICI JDEMAT 2001^۲ ایالت فرانکلین آمریکا، آرشیو داده‌ها و ... می‌باشند. در مرحله اول فعالیت مورد نظر تعریف و توصیف می‌شود. همچنین سامانه تحت مطالعه، مرزهای سامانه و واحد کارکردی مشخص می‌شوند (Boguski et al., 1996). هدف از ارزیابی چرخه حیات در این مطالعه، نشان دادن اثرات زیست محیطی تولید شکر در منطقه مورد مطالعه و شناسایی ورودی‌های تأثیرگذار در ایجاد آلاینده‌ی در سامانه تعریف شده است. مرز سامانه از ابتدای ورود چغندر

1- Ecoinvent

2- Life Cycle Inventory

نیروی انسانی	h	۴۴۵۷/۰۴	۸۷۳۵/۸	۰/۱۸
حمل و نقل	ton.km	۷۷۲۳	۲۳۵۵۴/۸	۰/۴۹
سوخت				
مازوت	l	۴۸۶۳	۲۳۲۹۳۷/۷	۴/۹
دیزل	l	۵۳۸	۳۰۲۹۴/۷۸	۰/۶۳
گاز طبیعی	m ³	۴۱۵۹۰/۳۳	۲۰۵۸۷۲۱/۳۳	۴۳
روغن ماشین‌ها	l	۱۲۰	۵۷۳۶	۰/۱۲
نایلون	kg	۲۲۰	۳۹۴۰/۲	۰/۰۸
آب	m ³	۸۵۱۱۲۰/۹	۵۳۶۲۰۶/۲	۱۱/۲
الکتریسته	kWh	۱۲۸۱۰/۳۷	۱۵۵۰۰۵/۵	۳/۲
سنگ آهک	kg	۷۴۳۸۴/۶۵	۱۱۸۲۷۱/۶	۲/۵
کل انرژی ورودی			۴۷۸۸۶۹۰/۱۲	-
ستاده				
شکر	kg	۱۰۰۰۰۰	۱۵۴۰۰۰۰	-
تفاله	kg	۶۷۷۷۶/۷۵	۷۶۵۸۷۷/۳	-
ملاس	kg	۲۷۱۵۴/۲۱	۴۰۷۳۱۳/۱۵	-
کل انرژی خروجی			۲۷۱۳۱۹۰/۴۲	-

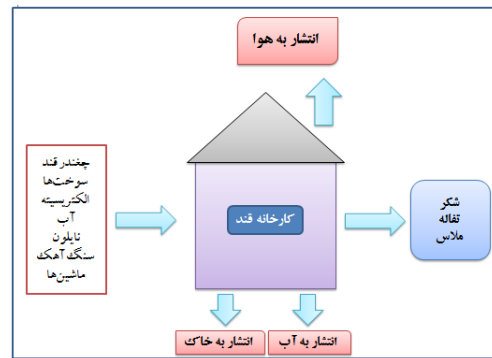
بر اساس شکل ۴، گاز طبیعی با ۴۳ درصد بیشترین سهم از انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص داده است. گاز طبیعی تأمین‌کننده بخش قابل توجهی از نیاز انرژی واحد تولیدی است، به طوری که انرژی مورد نیاز دیگ‌های بخار، سامانه گرمایش و بالابردن میزان دمای آب و تبدیل آن به بخار جهت تولید الکتریسته را تأمین می‌کند.



شکل ۴. سهم نهاده‌های مختلف از کل انرژی ورودی برای تولید یکصد تن شکر.

این نتیجه را می‌توان با نتایج کرامتی اصل و همکاران مقایسه کرد که سهم انرژی گاز طبیعی را بیشترین مقدار در تولید شکر در استان خوزستان گزارش کردند (کرامتی اصل، ۱۳۹۲). هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر، پیمان و نبوی پله سرایی (۱۳۹۴) بیان کردند که گاز طبیعی با سهم ۸۰/۰۲ درصدی و پس از آن شلتوک با سهم ۱۹/۸۴ درصدی بیشترین مصرف انرژی را یک کارخانه شالی‌کوبی در گیلان به خود اختصاص داده‌اند. پس از گاز طبیعی، انرژی معادل چغندر قند و آب با میانگین ۳۳/۷۳ و ۱۱/۲ درصد از دیگر داده‌های انرژی بر تأثیرگذار محسوب می‌شوند. از آب برای شستشو و انتقال چغندر از سیلو به محل فرآیند، استخراج شربت خام از خلال چغندر، تهیه شیرآهک و همچنین تولید بخار برای چرخش توربین‌ها برای تولید الکتریسته استفاده

قند به کارخانه تا مرحله‌ی تولید شکر در نظر گرفته شد (شکل ۳). واحد کارکردی یکصد تن شکر خروجی در نظر گرفته شد



شکل ۳. مرز سامانه تولید شکر از چغندر قند.

در مرحله دوم کلیه منابع مورد استفاده در فعالیت مورد مطالعه شناسایی و کمی‌کردن می‌باشد. منابع مورد استفاده شامل انرژی، آب، مواد خام و فرآوری شده و کلیه مواد منتشر شده به محیط زیست مانند انتشار مواد آلاینده به هوا، خاک و آب و ضایعات ناشی از تولید و مصرف محصول می‌باشد (رحیمیان، ۱۳۹۴). در مرحله سوم باید مشخص شود که کدام طبقات اثر^۱ لحاظ شوند و نیز برای ارزیابی تأثیر آن‌ها از چه روشی استفاده گردد (خیرعلی پور، ۱۳۹۹). در این مطالعه از مدل CML baseline برای تعیین شاخص‌های زیست محیطی استفاده شد. این مدل در مطالعات LCA کشاورزی به طور رایج مورد استفاده قرار می‌گیرد که توسط انجمن محیط‌زیست دانشگاه لیدن^۲ ایجاد شده است (Khoshnevisan et al., 2014). در مرحله چهارم نتایج ارزیابی طبقات اثر و صورت برداری‌ها ارزشیابی می‌گردد تا مراحل یا نقاطی که در مسیر تولید دارای بیشترین اثرات سوء زیست محیطی هستند شناسایی شوند (خیرعلی پور، ۱۳۹۹).

۳- نتایج

۳-۱- انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها

جدول (۲) مقدار نهاده‌ها و ستاده‌ها و انرژی معادل آن‌ها برای تولید یکصد تن شکر را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده کل انرژی ورودی ۴۷۸۸۶۹۰/۱۲ مگاژول و انرژی خروجی برابر ۲۷۱۳۱۹۰/۴۲ مگاژول به ازای تولید یکصد تن شکر می‌باشد. پیمان و نبوی پله سرایی (۱۳۹۴) انرژی مصرفی در یک کارخانه شالی‌کوبی مدرن در گیلان را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها کل انرژی ورودی را برای تبدیل یکصد تن شلتوک به برنج سفید ۷۴۰۹۲۵۶/۰۹ مگاژول و کل انرژی خروجی را ۱۲۲۴۰۰۰ مگاژول عنوان کردند. شکل (۴) سهم هر یک از نهاده‌های ورودی را در تولید شکر نشان می‌دهد.

جدول ۲. میانگین مقادیر و انرژی ورودی و خروجی برای تولید یکصد تن شکر.

عنوان	واحد	مقدار	انرژی (MJ.100ton ⁻¹)	سهم (%)
نهاده				
چغندر قند	kg	۳۲۰۴۹۳/۳	۱۶۱۵۲۸۶/۲۳	۳۳/۷۳

1- Impact categories

2- Institute of Environmental Science of Leiden University

دسته از انرژی‌هایی هستند که امکان تشکیل و دوباره بهره‌مندی از آن‌ها تقریباً غیرممکن است. در تحقیق حاضر، متأسفانه نسبت استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر در مقایسه با انرژی‌های تجدید شونده بسیار زیاد است و همچنان که ملاحظه می‌شود بیش از ۹۷ درصد انرژی لازم جهت تولید شکر از انرژی‌های تجدیدناپذیر تأمین می‌شود. همچنین تمامی نهادهای مصرفی به غیر از نیروی انسانی جز منابع انرژی تجدیدناپذیر شناخته می‌شوند.

۳-۳- شاخص‌های انرژی

جدول (۴) شاخص‌های انرژی، را در تولید شکر نشان می‌دهد. نسبت انرژی در واقع نشان دهنده میانگین کل انرژی خروجی در تولید یکصد تن محصول شکر است که برابر با تقسیم کل انرژی خروجی به انرژی ورودی می‌باشد. نسبت انرژی، شاخصی بدون واحد است. نسبت انرژی در کارخانه قند مورد مطالعه برای تولید شکر برابر ۰/۵۶ به دست آمد.

جدول ۰. میزان شاخص‌های انرژی در تولید محصول مورد مطالعه.

شاخص	واحد	مقدار
نسبت انرژی	-	۰/۵۶
بهره‌وری انرژی	kg/MJ	۰/۰۲
شدت انرژی	MJ/kg	۴۷/۸۹
افزوده خالص انرژی	MJ/100ton ⁻¹	-۲۰۷۵۴۹۹/۷

شاخص بهره‌وری انرژی یکی دیگر از شاخص‌های مهم در تجزیه و تحلیل انرژی می‌باشد و واحد آن kg/MJ است. همچنان که از واحد آن بر می‌آید، این شاخص نشان می‌دهد که به ازای مصرف هر مگاژول انرژی چه مقدار محصول تولید شده است. در این تحقیق بهره‌وری انرژی در تولید شکر ۰/۰۲ کیلوگرم بر مگاژول می‌باشد. شدت انرژی بیان کننده مگاژول انرژی ورودی جهت تولید یک کیلوگرم محصول است که عکس بهره‌وری انرژی است. شدت انرژی برای تولید هر کیلوگرم شکر ۴۷/۸۹ مگاژول می‌باشد. افزوده خالص انرژی، حاصل تفریق کل انرژی خروجی از انرژی ورودی است. میزان این شاخص برای تولید شکر -۲۰۷۵۴۹۹/۷ مگاژول بر یکصدتن است. همچنان که در جدول ۳-۴ نمایان است افزوده خالص انرژی در تولید شکر منفی شده است و این نشان می‌دهد که کل انرژی معادل خروجی کمتر از کل انرژی ورودی است. باستانی (۱۳۹۵) نسبت انرژی را برای تولید کمپوت سیب ۰/۱۹۵ به دست آوردند. آن‌ها همچنین بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی را به ترتیب برابر ۰/۲۵۳ kg/MJ، ۲۰/۲۶ MJ/kg و ۱۶۲۹۸/۳۲ MJ/ton- عنوان کردند. در مطالعه‌ای دیگر پاینده و همکاران (۱۳۹۵) بهره‌وری انرژی در مرغداری‌های اصفهان را ۰/۰۱۶ کیلوگرم بر مگاژول ذکر کردند. آن‌ها نسبت انرژی، افزوده خالص انرژی و شدت انرژی را به ترتیب برابر ۰/۱۷، ۱۲۵۵۱۴/۲۶ MJ/1000bird و ۶۲/۸۳ MJ/kg به دست آوردند.

۳-۴- شاخص‌های زیست محیطی

مقادیر شاخص‌های زیست محیطی محاسبه شده در تولید یکصد تن شکر در جدول (۵) آمده است.

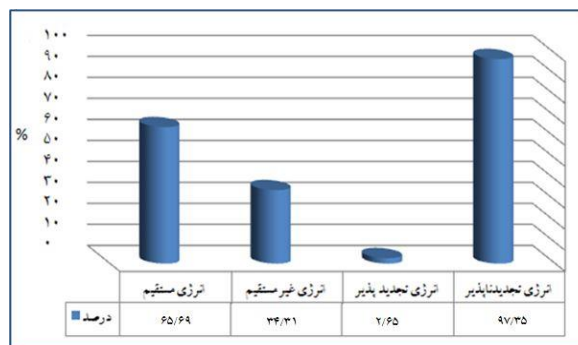
می‌شود. مازوت نیز چهارمین نهاده پرمصرف با سهم ۴/۹ درصدی می‌باشد. از مازوت برای گرم کردن کوره آهک در کارخانه قند استفاده می‌شود. الکتريسيته و سنگ آهک نیز به ترتیب با ۳/۲ و ۲/۵ درصد جز نهاده‌های انرژی بر به شمار می‌روند. با توجه به آنکه بیشتر عملیات توسط ماشین‌ها و سامانه‌ها انجام می‌شود، انرژی معادل نیروی انسانی کمتر از یک درصد کل انرژی‌های ورودی را تشکیل می‌دهد. سهم نایلون و روغن ماشین‌ها نیز در انرژی ورودی تولید شکر بسیار پایین، و در واقع کمترین میزان مصرف انرژی مربوط به این نهاده‌ها بود.

۳-۲- شکل‌های انرژی

تقسیم‌بندی انرژی ورودی شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید محصولات مورد مطالعه در جدول (۳) و سهم آن‌ها در شکل (۵) آمده است.

جدول ۳. دسته‌بندی انرژی‌های مصرفی در کارخانه قند بر اساس شکل آن‌ها

توضیحات	مقدار (MJ/100ton ⁻¹)	شکل انرژی ورودی
نیروی انسانی، سوخت- های فسیلی، روغن ماشین‌آلات و روان‌کننده- ها، الکتريسيته، آب، سنگ آهک	۳۱۴۵۹۰۸/۸۵	انرژی مستقیم
چغندر قند، نایلون، حمل و نقل	۱۶۴۲۷۸۱/۲۷	انرژی غیرمستقیم
نیروی انسانی	۱۲۷۰۰۷/۴	انرژی تجدیدپذیر
همه‌ی انرژی‌ها به غیر از نیروی انسانی	۴۶۶۱۶۸۲/۷۳	انرژی تجدیدناپذیر



شکل ۵. سهم درصدی شکل‌های مختلف انرژی در تولید شکر.

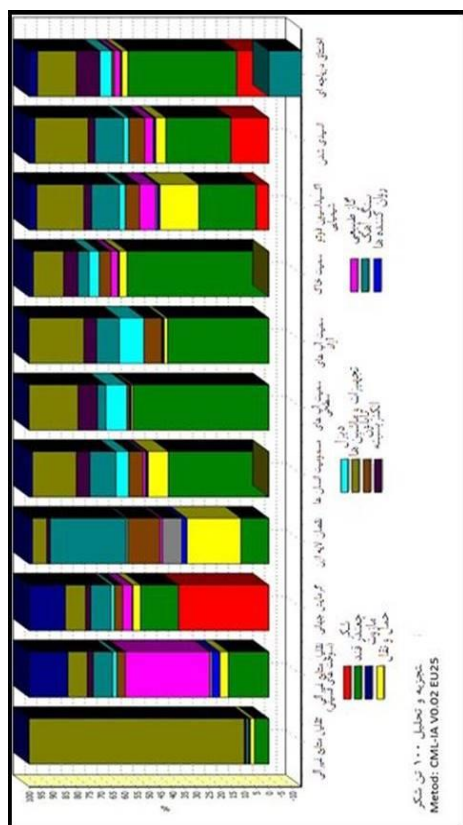
انرژی‌های مستقیم شامل انرژی نهاده‌های سوخت دیزل، گاز طبیعی، نیروی انسانی، الکتريسيته، آب، سنگ آهک و روغن می‌باشد در حالی که انرژی‌های غیر مستقیم شامل انرژی چغندر، نایلون، حمل و نقل و انرژی ماشین‌ها می‌شود. انرژی غیرمستقیم نهاده‌ها شامل انرژی لازم جهت ساخت و تولید آن‌ها می‌باشد. انرژی مستقیم موادی را شامل می‌شود که به طور مستقیم در تولید محصول دخالت دارند. در این تحقیق آب جزء انرژی‌های تجدیدناپذیر قرار گرفت و دلیل آن نیز، استفاده از نیروی الکتريسيته برای پمپاژ آب به قسمت‌های مختلف کارخانه بود. برای تولید شکر به طور قابل توجهی از انرژی‌های تجدیدناپذیر استفاده می‌شود. شکل ۳-۴ تفاوت مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر را در مقایسه با انرژی‌های تجدیدناپذیر نشان می‌دهد. انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل آن

سمیت آب‌های آزاد به مقدار $3640000 \text{ kg 1,4-DB eq}$ موثرترین بار محیطی در تولید شکر به شمار می‌آید، همچنین تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)، گرمایش جهانی، سمیت آب‌های سطحی و پتانسیل اسیدی شدن به ترتیب بیشترین سهم را در انتشار آلاینده‌های در تولید شکر دارند. میرحاجی و همکاران (۱۳۹۰) اثر تخلیه منابع آبی در تولید چغندر قند در استان خراسان جنوبی را بیشتر از سایر اثرات به محیط زیست ذکر کردند. پیمان و نوی پله سرابی (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای به بررسی شاخص‌های زیست محیطی یک کارخانه شالی‌کوبی مدرن در گیلان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان دادند که شاخص‌های تقلیل منابع فسیلی، مسمومیت انسان‌ها و سمیت آب‌های آزاد بیشترین سهم را در انتشار آلاینده‌های در تولید برج سفید داشته است. در مطالعه‌ای دیگر خیرعلی پور و همکاران (۱۳۹۶) چرخه حیات کلزا در استان اردبیل در چهار سناریو مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد شاخص‌های سمیت آب‌های آزاد، تقلیل منابع فسیلی و پتانسیل گرمایش جهانی بیشترین اثرات زیست محیطی در منطقه مورد مطالعه را دارا بودند. در شکل (۶) میزان تاثیر هر یک از نهاده‌های ورودی برای تولید شکر در هر یک از شاخص‌های اثر مشاهده می‌شود. با بررسی این شکل مشخص می‌شود که تأثیرگذارترین نهاده در گروه‌های اثر برای تولید شکر، چغندر قند می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، چغندر قند در تمام شاخص‌ها، به جز شاخص‌های تقلیل منابع غیرآلی و نقصان لایه ازن که چغندر قند درصد ناچیزی از آن‌ها را دارد، بیشترین تأثیر را دارد. سهم چغندر قند در شاخص سمیت خاک ۵۴ درصد، سمیت آب‌های سطحی ۵۰ درصد، در شاخص مسمومیت انسان‌ها ۴۰ درصد و در شاخص اختناق دریاچه‌ای ۴۳ درصد می‌باشد. این مساله به دلیل این است که حدود ۳۲۰ تن چغندر قند برای تولید یکصد تن شکر نیاز است.

جدول ۵. شاخص‌های زیست محیطی در تولید یکصد تن شکر.

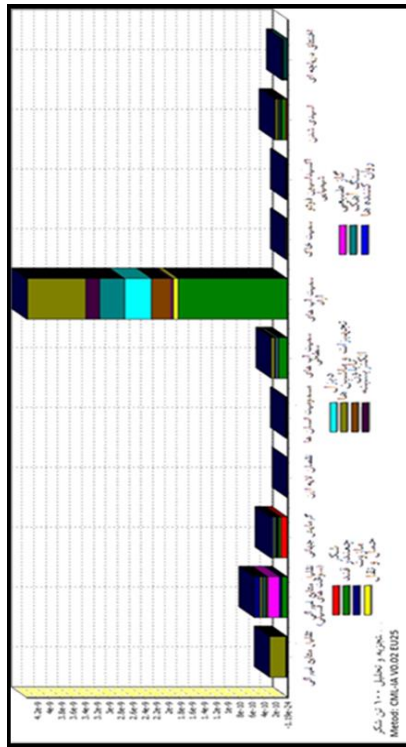
مقدار	واحد	شاخص
۴۵۴۰۰	kg CO ₂ eq	گرمایش جهانی
۱۹۴۷	kg 1,4-DB eq	مسمومیت انسان
۳۶۹۰۰	kg 1,4-DB eq	سمیت آب‌های سطحی
۹۱/۷	kg PO ₄ ³⁻ eq	پتانسیل اختناق دریاچه‌ای
۵/۲۶	kg Sb eq	تقلیل منابع غیرآلی
۱۶۸۵۲۶۲	MJ	تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)
۷۷۹	kg 1,4-DB eq	سمیت خاک
۱۹۸۸۷	kg SO ₂ eq	پتانسیل اسیدی شدن
۳۶۴۰۰۰۰	kg 1,4-DB eq	سمیت آب‌های آزاد
۱۰/۹	kg C ₂ H ₄ eq	پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی
۱/۷۶	kg CFC-11 eq	نقصان لایه ازن

شاخص پتانسیل گرمایش جهانی^۱ (GWP) به منظور بیان سهم گازهای منتشر شده از سامانه‌های کشاورزی که سبب ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌شود، استفاده می‌گردد. پتانسیل مسمومیت انسان‌ها^۲ (HTP) و سمیت خاک^۳ (TE) شاخص‌هایی هستند برای بررسی تأثیر مواد سمی منتشر شده از مصرف نهاده‌ها که به ترتیب بر روی انسان‌ها و موجودات خاکی تأثیرگذار هستند. این شاخص‌ها بر حسب kg 1,4-DB eq بیان می‌شوند. منابع غیر آلی به بخشی از منابع طبیعی (شامل منابع انرژی مانند نفت خام، انرژی باد و غیره) اطلاق می‌گردد که موجودات و منابع زنده مانند درختان و جنگل‌ها را در بر نمی‌گیرد. در حقیقت تقلیل منابع غیرآلی^۴ (AD)، به بررسی میزان مصرف منابع غیرآلی در طول چرخه زندگی محصولات می‌پردازد. یوتروفیکاسیون یا پتانسیل اختناق دریاچه‌ای^۵ (EU) پوشش دهنده تأثیرات ناشی از مصرف ریزمغذی‌های است که مهم‌ترین آن‌ها ازت و فسفر می‌باشد. واحد این شاخص $\text{kg PO}_4^{3-} \text{ eq}$ است. پتانسیل اسیدی شدن^۶ (AC) تأثیر بسیار گسترده‌ای بر روی خاک، آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، ارگانسیم‌ها، اکوسیستم و مواد دارد و واحد آن $\text{kg SO}_2 \text{ eq}$ می‌باشد. پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی^۷ (PHO) بیانگر تشکیل ازن در لایه تحتانی اتمسفر می‌باشد. شاخص تخلیه یا نقصان لایه ازن^۸ (OD) تأثیر مواد انتشار یافته در از بین بردن لایه ازن را بیان می‌کند.



شکل ۶. سهم نهاده‌های مختلف در گروه‌های اثر برای تولید یکصد تن شکر.

- 1- Global Warming Potential
- 2- Human Toxicity Potential
- 3- Terrestrial Ecotoxicity
- 4- Abiotic Depletion
- 5- Eutrophication potential
- 6- Acidification potential
- 7- Photochemical Oxidation
- 8- Ozone Depletion potential



شکل ۷. بخش‌های اثر نرمال شده به ازای یکمقد تن شکر.

پس از نرمال‌سازی داده‌ها، مهم‌ترین بار محیطی که به واسطه‌ی تولید شکر رخ می‌دهد، سمیت آب‌های آزاد می‌باشد. شاخص گرمایش جهانی، تقلیل منابع فسیلی، سمیت آب‌های سطحی و پتانسیل اسیدی شدن از دیگر شاخص‌هایی هستند که به واسطه تولید شکر، بر محیط زیست تأثیرگذار می‌باشند. پس از نرمال‌سازی در شاخص سمیت آب‌های آزاد بیشترین بارهای محیطی، به ترتیب مربوط به چغندر قند، تجهیزات و ماشین‌ها، ناپلون، سنگ آهک، دیزل، الکتریسته و حمل و نقل بوده است. در شاخص تقلیل منابع فسیلی نیز مهمترین عامل بارهای محیطی مربوط به گاز طبیعی و مازوت می‌باشد. در شاخص گرمایش جهانی نیز شکر بیشترین تأثیر را در انتشار بارهای محیطی را دارا می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برای تولید یکمقد تن شکر، به طور متوسط $4788690/12$ مگاژول انرژی از منابع مختلف مصرف می‌گردد که در این میان سهم انرژی گاز طبیعی ۴۳ درصد بیش از سایر نهاده‌ها است. پس از گاز طبیعی، انرژی معادل چغندر قند، آب، مازوت، الکتریسته و سنگ آهک به ترتیب با میانگین $33/73$ ، $11/20$ ، $4/9$ ، $3/2$ و $2/5$ درصد از دیگر داده‌های انرژی بر تأثیرگذار محسوب می‌شوند. متوسط نسبت انرژی، شدت انرژی، بهره‌وری انرژی و افزوده خالص انرژی در این تحقیق برای تولید شکر به ترتیب برابر $0/56$ درصد، $47/9$ مگاژول بر کیلوگرم، $0/2$ کیلوگرم بر مگاژول و $2075499/7$ مگاژول بر یکمقد تن محاسبه شد. سهم انرژی‌های تجدیدشونده بسیار کم است و بیشتر انرژی لازم جهت تولید این محصولات از انرژی‌های تجدیدناپذیر تأمین می‌شود. در تولید شکر شاخص‌های سمیت آب‌های آزاد مؤثرترین بار محیطی در تولید شکر به شمار می‌آید، همچنین تقلیل منابع غیرآلی (سوخت‌های فسیلی)، گرمایش جهانی، سمیت آب‌های سطحی و مسمومیت انسان به ترتیب بیشترین سهم را در انتشار آلاینده‌ها در تولید شکر دارند. در تولید شکر، نهاده‌های چغندر قند، تجهیزات و ماشین‌ها، ناپلون، سنگ آهک، دیزل و الکتریسته بیشترین تأثیر را در تشکیل بارهای محیطی داشته-

در شاخص تقلیل منابع غیرآلی بیشترین سهم آلاینده‌ی مربوط به تولید تجهیزات و ماشین‌ها حدود ۹۰ درصد است. در شاخص تقلیل منابع فسیلی نیز بیشترین سهم مربوط به گاز طبیعی و مازوت می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که در تولید شکر به دلیل استفاده از نهاده‌هایی چون گاز طبیعی، مازوت، الکتریسته و غیره، مؤثرترین نهاده‌ها در شاخص گرمایش جهانی است. از نتایج قابل تأمل در این بخش منفی شدن شاخص اختناق دریاچه‌ای (یوتریفیکاسیون) می‌باشد. این شاخص به واسطه‌ی مصرف سنگ آهک باعث اجتناب انتشار شده است. به عبارتی دیگر از انتشار گازهای آلاینده جلوگیری شده است. دلیل منفی شدن شاخص زیست محیطی یوتریفیکاسیون در تولید شکر، استفاده از پسماند و ضایعات تولید شده در بخش تصفیه شربت خام می‌باشد. در فرآیند تولید شکر از چغندر قند، در مرحله تصفیه رسوبات حاصل از شیر آهک و شربت خام توسط صافی‌ها گرفته می‌شود و به گل صافی معروف است. گل صافی جزء ضایعات تولید شکر می‌باشد؛ اما به واسطه‌ی استفاده از آن و جلوگیری از مصرف مواد خام و دست اول، اختناق دریاچه‌ای به واسطه‌ی بازیافت آن منفی شده است. از گل صافی برای حاصلخیز کردن زمین و همچنین استحکام بخشیدن به بتن استفاده می‌شود (دهکردی و حیدری، ۱۳۹۱). در شاخص گرمایش جهانی نیز سهم ۳۰ درصدی شکر مؤثرترین عامل انتشار را در محیط زیست دارا می‌باشد. باستانی (۱۳۹۵) مطالعه‌ای در زمینه‌ی چرخه حیات تولید کمپوت سیب در استان آذربایجان غربی انجام دادند. در تحلیل و ارزیابی تأثیرات زیست‌محیطی مشخص شد که بیش‌ترین بارهای محیطی تولید کمپوت سیب به دلیل استفاده بسیار زیاد از نهاده‌ی سیب درختی می‌باشد. با بررسی دقیق تر این تحقیق و مقایسه یک تن کمپوت تولیدی در کارخانه تولید کمپوت و یک تن شکر تولیدی در کارخانه قند و استفاده از جدول ۴، مشخص شد که انتشارات مربوط به نهاده‌های کارخانه قند بیشتر از انتشارات مربوط به نهاده‌های کارخانه کمپوت‌سازی است. و دلیل آن هم استفاده زیاد از سوخت‌های فسیلی و همچنین تعداد بیشتر نهاده‌های دیگر برای تولید شکر در مقابل نهاده‌های مصرفی تولید کمپوت است. در مطالعه‌ی Payandeh et al. (2016) بر روی ارزیابی چرخه حیات مرغ گوشتی در اصفهان انجام داد. بررسی‌ها نشان داد که بیشترین بارهای محیطی از مرحله تولید خوراک بوده است. خیرعلی پور و همکاران (۱۳۹۶) چرخه حیات کلزا در استان اردبیل در چهار سناریو مورد ارزیابی قرار داد. نتایج نشان داد مصرف نهاده‌های کود شیمیایی، الکتریسته و سوخت موجب افزایش اثرات زیست محیطی در منطقه مورد مطالعه بود. به منظور بی بعد کردن شاخص‌های زیست محیطی، فراهم کردن امکان مقایسه آن‌ها و درک بهتر نتایج، عمل وزن‌دهی انجام می‌شود. در واقع وزن‌دهی شاخص‌ها، نتایج را نرمال کرده و بی بعد می‌سازد تا امکان مقایسه صورت گیرد. نرمال‌سازی، نتیجه شاخص را با تقسیم آن بر یک مقدار مرجع انتخاب شده تغییر می‌دهد. اطلاعات مرجع می‌تواند مربوط به تعداد افراد یک شهر، کشور، و یا یک قاره باشد. انتخاب سامانه مرجع بایستی با در نظر گرفتن سازگاری مقیاس‌های مکانی و زمانی مکانیسم زیست محیطی و مقادیر مرجع انجام گیرد (خوشنویسان، ۱۳۹۲). نتایج نرمال‌سازی در شکل ۷ نشان داده شده است.

خورشیدی، زیست توده و غیره می تواند اثرات زیست محیطی را کاهش دهد.

قدردانی

از دانشگاه ایلام جهت حمایت از تحقیق حاضر و همچنین رئیس و پرسنل محترم کارخانه قند فریمان جهت در اختیار قرار دادن اطلاعات مورد نیاز تحقیق تشکر و قدردانی می گردد.

اند. مصرف نهاده‌های کودهای شیمیایی، الکتریسیته و سوخت موجب افزایش اثرات زیست محیطی چغندر قند در تولید شکر شده است. در تولید چغندر قند، آموزش صحیح به کشاورزان جهت مکانیزه کردن کشت و استفاده از کودهای دامی و ارگانیک به جای مصرف کودهای شیمیایی و همچنین ارائه روش‌های نوین کشاورزی و آبیاری برای تولید محصول پاک‌تر ضروری می باشد. علاوه بر بهره گیری از مدیریت مصرف صحیح در مصرف انرژی های فسیلی و مواد شیمیایی در کارخانه‌ها، ایجاد نیروگاه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر نظیر نیروگاه بادی،

منابع

- آل محمد، س.، رضانی طلایری، ک.، پیریایی، م. ۱۳۹۲. استفاده از ارزیابی چرخه‌ی حیات برای مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای نیروگاه‌های برق. سومین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، ۵ آذرماه، تهران، ایران.
- احمدی، م. ۱۳۸۸. برآورد شاخص‌های انرژی تولید نیشکر در کشت و صنعت کارون شوشتر و روش‌های افزایش آن‌ها. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مکانیزاسیون کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.
- ایرنا. ۱۳۹۲. ایران رتبه دهم تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و رتبه هشتم شهرهای آلوده جهان. در: <http://www.irna.ir/fa/News/80979964/>
- باستانی، ا. ۱۳۹۵. تحلیل و ارزیابی چرخه حیات تولید کمپوت سیب در استان آذربایجان غربی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ایلام.
- بی‌نام. ماهنامه شکر. ۱۳۹۵. انجمن صنفی کارخانه‌های قند و شکر ایران. شماره ۱۵۸.
- پابنده، ز. خیرعلی پور، ک. کریمی، م. ۱۳۹۵. بررسی کارایی واحدهای پرورش مرغ گوشتی به روش تحلیل پوششی داده ها، مطالعه موردی: استان اصفهان. مهندسی بیوسیستم ایران، ۷۴(۳)، ۱۸۱-۱۴۴.
- پیرایه، م. ۱۳۸۴. بررسی جهانی شدن اقتصاد بر وضعیت بازار داخلی شکر ایران. موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی. چاپ اول.
- پیمان، س. ح.، نبوی پله سرایی، ا. ۱۳۹۴. بررسی انرژی مصرفی و شاخص های زیست محیطی یک واحد شالیکوبی مدرن در استان گیلان. نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون. ۲-۳ اردیبهشت ماه، تهران، ایران.
- ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱. ۱۳۹۳. معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.
- حاجی احمد، ع.، میربازل، ف.، سلکی چشمه سلطانی، ف.، پیشگر کومله، س. ح. ۱۳۹۸. بررسی شاخص های انرژی و اثرات زیست‌محیطی تولید نان صنعتی به روش چرخه حیات. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۰، ۱۵۵-۱۶۸.
- خداداد کاشی، ف.، حیدری، خ. ۱۳۸۷. اهمیت شکر در امنیت غذایی و ضرورت حفظ آن در بسته حمایتی. پژوهشنامه بازرگانی، ۱۲، ۹۵-۱۲۲.
- خانعلی، م.، اکرم، ا.، محمدنیا، م.، حسین زاده بندبافها، ه.، الهامی، ب. ۱۳۹۸. ارزیابی جریان انرژی و اثرات زیست محیطی تولید کیک در استان گیلان با رویکرد ارزیابی چرخه زندگی. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۵۰، ۵۶۹-۵۷۹.
- خیرعلی پور، ک. ۱۳۹۹. ارزیابی زیست محیطی چرخه حیات. چاپ اول. انتشارات دانشگاه ایلام. ایلام، ایران.
- خیرعلی پور، ک.، جعفری ثمرین، ح.، سلیمانی، م. ۱۳۹۶. تعیین اثرات زیست محیطی در تولید کلزا به روش ارزیابی چرخه حیات، مطالعه موردی: استان اردبیل. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۸(۴)، ۵۱۷-۵۲۶.
- مرکز آمار ایران. ۱۳۹۴. نتایج تفصیلی سرشماری عمومی کشاورزی کل کشور - ۱۳۹۳.
- دهکردی، ح.، حیدری، ع. ۱۳۹۱. کاربرد ضایعات آهکی کارخانه قند به عنوان مصالح سنگی در بتن. اولین همایش بین‌المللی بحران‌های زیست محیطی و راهکارهای بهبود آن. ۲۵-۲۶ بهمن ماه، کیش، ایران.
- رحیمیان، ب. ۱۳۹۴. تعیین شاخص های اقتصادی، انرژی و زیست محیطی در کشت چند محصول (چغندر قند، گندم و نخود) در استان آذربایجان غربی (شهرستان بوکان) به کمک تکنیک های هوش محاسباتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- سلطانی، ا.، رجبی، م.، زینلی، ا.، سلطانی، ا. ۱۳۸۹. ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گیاهان زراعی با روش LCA: گندم در گرگان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۳(۳)، ۲۰۱-۲۱۸.
- طیب‌طاهر، م.، الماسی، م.، افضلی، س. م. ج. ۱۳۸۷. بررسی چگونگی سیر مصرف انرژی در تولید نیشکر و ارائه راه‌کارهای مناسب جهت افزایش بهره‌وری در یک واحد کشت و صنعت شمال خوزستان. پنجمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون. ۶-۷ شهریورماه، مشهد، ایران.
- علیرضا لوه، ک.، قره خانی، م. ۱۳۸۸. شرح جامع تکنولوژی مواد غذایی (قند). انتشارات ارشد. چاپ اول.
- غفاری قره‌باغ، ا.، آقی‌خانی، م. ح.، عمادی، ب. ۱۳۹۲. تحلیل سیر انرژی و اقتصادی تولید انگور در شهرستان ارومیه با بررسی تاثیر نظام کشت و اندازه باغات. هشتمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی (بیوسیستم) و مکانیزاسیون. ۹-۱۱ بهمن ماه، مشهد، ایران.
- فهندژسعدی، ا. ۱۳۸۸. بررسی بازار شکر ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته اقتصاد کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس.
- کرامتی اصل، م. ص.، مرزبان، ا.، کاظمی، ن. ۱۳۹۳. بررسی مصرف انرژی تولید شکر در استان خوزستان. اولین همایش الکترونیکی یافته‌های نوین در محیط زیست و اکوسیستم‌های کشاورزی. ۱ آذرماه، تهران، ایران.

- مرادی، ا.، امینیان، م. ۱۳۹۱. میزان نشر گازهای گلخانه ای ایران در سال ۱۳۸۹. نشریه نشاء علم، سال سوم، شماره اول.
- مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ایزو ۱۴۰۴۰. ۱۳۸۷. مدیریت زیست محیطی - ارزیابی چرخه حیات - اصول و چهارچوب. چاپ اول.
- مصباحی، غ. ۱۳۸۸. اصول صنایع تولید شکر. نشر علم کشاورزی ایران. چاپ اول.
- مندی، ف.، ریاحی نیا، ش.، اصغری پور، م. ۱۳۹۲. مطالعه سیر انرژی و شاخص های اقتصادی در سیستم های تولید سیب زمینی و چغندر قند در استان خراسان رضوی. مجله کشاورزی بوم شناختی، ۳(۱)، ۸۲-۶۹.
- میرحاجی، م.، خجسته پور، م.، عباس پورفرد، م.، مهدوی شهری، م. ۱۳۹۰. ارزیابی تخلیه منابع در تولید چغندر قند با روش ارزیابی چرخه حیات (مطالعه موردی: استان خراسان جنوبی، شرکت سهامی زراعی خضری). پنجمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، ۳۰ آبان ماه، تهران، ایران.
- یونسی، ا.، جوادی، ا.، رحمتی، م. ه. ۱۳۹۳. تعیین شاخص های کارایی انرژی در پرورش ماهی قزل آلا (استان البرز). سومین کنفرانس بین المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی. ۱۱-۱۲ اسفندماه، تهران، ایران.
- Boguski, T.K., Hunt, R.G., Cholakis, J.M., Franklin, W.E. 1996. LCA methodology. In: Curran, M.A. (Ed), Environmental life cycle assessment. Library of Congress Cataloging-in-publication Data, 15-33.
- Erdal, G., Esengu, K., Erdal, H. and Gunduz, O. 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy, 32, 35-41.
- Hamedani, S. R., Keyhani, A., Alimardani, R. 2011. Energy use patterns and econometric models of grape production in Hamadan province of Iran. Energy, 36(11), 6345-6351.
- Kheiralipour, K., Payandeh, Z., Khoshnevisan, B. 2017. Evaluation of Environmental Impacts in Turkey Production System in Iran. Iranian Journal of Applied Animal Science, 7(3), 507-512.
- Khoshnevisan, B., Rajaeifar, M. A., Clark, S., Shamahirband, S., Anuar, N. B., Shuib, N. L. M., Gani, A. 2014. Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. Science of the Total Environment, 481, 242-251.
- Kitani, O. 1999. Energy and biomass engineering, CIGR handbook of agricultural engineering. ASAE Publications, St Joseph, MI.
- Kizilaslan, H. 2009. Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. Applied Energy, 86(7), 1354-1358.
- Mousavi-Avval, S.H., Rafiee, S., Jafari, A., Mohammadi, A. 2011. Improving energy use efficiency of canola production using data envelopment analysis (DEA) approach. Energy, 36, 2765-2772.
- Omidi-Arjenaki, O., Ebrahimi, R., Ghanbarian, D. 2016. Analysis of energy input and output for honey production in Iran (2012-2013). Renewable and Sustainable Energy Reviews. 59, 952-957.
- Ozkan, B., Akcaoz, H., Fert, C. 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy, 29, 39-51.
- Ozkan, B., Hatirli. S., Fert. C. 2005. An econometric analysis of energy input-output in Turkish agriculture, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9, 608-623.
- Payandeh, Z., Kheiralipour, K., Karimi, K., Khoshnevisan, B. 2016. Joint data envelopment analysis and life cycle assessment for environmental impact reduction in broiler production systems. Energy, 127, 768-774.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W., Suh, S., Weidema, B.P., Pennington, D.W. 2004. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environ. Int. 30, 701-720.
- Ramedani, Z., Alimohammadian, L., Kheialipour, K., Delpisheh, P., Abbasi, Z. 2019. Comparing energy state and environmental impacts in ostrich and chicken production systems. Environmental Science and Pollution Research, 26, 28284-28293.
- Saniz, R. D. 2003. Livestock-environment initiative fossil fuels component: Farmework for calculating fossil fuel use in livestock system.
- Singh, S., Singh, S., Pannu C.J.S., Singh, J. 2000. Optimization of energy input for raising cotton crop in Punjab. Energy Conversion & Management, 41, 110-118.
- Taghavifar, H., Mardani, A. 2015. Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using Artificial Neural Network. Journal of Cleaner Production, 87, 159-167.
- Taseska, V., Markovska, N., Causevski, A., Bosevski, T., Pop-Jordanov, J. 2011. Greenhouse gases (GHG) emissions reduction in a power system predominantly based on lignite. Energy, 36, 2266-2270.