

بررسی اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی در تولید چغندر قند و پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS در استان چهارمحال و بختیاری

مرضیه شیروانی بروجنی^۱، حسن ذکی دیزجی^{۲*} و محسن سلیمانی^۳

چکیده

سیستم‌های تولیدات کشاورزی در جهان به دلیل اتکای بیشتر به کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و بذور ترکیبی به شدت تغییر کرده است. امروزه علاوه بر موضوع ارزیابی انرژی در بخش کشاورزی، افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش کشاورزی منجر به افزایش قابل توجه تغییرات اقلی می‌ و گرمایش جهانی شده است. هدف این مطالعه تعیین شاخص‌های انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای واحدهای تولیدکننده چغندر قند در استان چهارمحال و بختیاری است. همچنین عملکرد محصول با استفاده از مدل‌های مختلف هوش مصنوعی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی و انفیس، پیش‌بینی و مدل‌سازی شد. اطلاعات مورد نیاز از طریق تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه حضوری از صاحبان مزارع و مسئولین بخش کشاورزی به دست آمد. به منظور محاسبات ضروری برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی از نرم‌افزار سیمپرو استفاده شد. نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی به ترتیب برابر ۲۰/۹۹، ۱/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول، ۰/۸ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۵۲۴۴۹/۵۳ مگاژول بر هکتار به دست آمد. همچنین میزان کل انرژی ورودی و خروجی تولید چغندر قند به ترتیب برابر ۳۷۶۴۰/۴۶۴ و ۷۹۰۰۹۰ مگاژول در هکتار بود. مقدار کلی انتشار گازهای گلخانه‌ای، ۱۵۵۶/۸۵۹ کیلوگرم معادل CO₂ بر هکتار برآورد شد که بیشترین سهم از کل گازهای منتشر شده، به ترتیب مختص به کود ازت (۴۰/۲۲٪)، سوخت (۳۱/۶۶٪) و برق (۲۱/۷۶٪) بود. مقایسه مدل‌های مختلف برآورد عملکرد نشان داد که هر دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و انفیس، به خوبی عملکرد محصول چغندر قند را پیش‌بینی می‌کنند، اما شبکه‌های عصبی مصنوعی نتایج بهتر و دقیق‌تری داشت. ضریب همبستگی برای پیش‌بینی عملکرد چغندر قند با بهره‌گیری از شبکه‌های عصبی مصنوعی برابر با ۱ بود در حالی که مقدار حاصل شده از انفیس برابر با ۰/۹۹۹۱ به دست آمد. هر چند مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل انفیس، ضریب خطای کمتری داشت که برابر با ۰/۰۰۰۳ بود. چنین استنباط می‌شود که با جایگزینی مقادیر بهینه نهاده‌ها در تولید محصولات کشاورزی، اثرات منفی وارده به محیط زیست کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زیست، چغندر قند، عملکرد، مدل‌سازی، نشر گازهای گلخانه‌ای.

ارجاع: شیروانی بروجنی م.، ذکی دیزجی ح. و سلیمانی م. ۱۳۹۹. بررسی اثرات زیست‌محیطی و مصرف انرژی در تولید چغندر قند و پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS در استان چهارمحال و بختیاری. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۹(۱): ۱۰۷-۱۱۸.

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، رشته مکانیزاسیون کشاورزی، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

2- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

3- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

* نویسنده مسئول: hzakid@scu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۷

مقدمه

چغندر قند^۱ یکی از منابع مهم برای تولید شکر محسوب می‌شود. حدود ۴۰ درصد شکر تولیدی در جهان از چغندر قند به دست می‌آید، علاوه بر تولید شکر، ملاس حاصل از تولید شکر برای تولید بیواتانول حائز اهمیت است. بر اساس آمار FAO، حدود ۲۲/۵ درصد از سطح زیر کشت محصولات صنعتی در کشور ایران مربوط به چغندر قند است و از این مقدار حدود ۱۵۰۰ هکتار در استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. متوسط عملکرد حدود ۶۵ تن در هکتار است. به طور کلی سالانه ۹۷۵۰۰ تن چغندر قند در این استان تولید می‌شود.

امروزه نظام‌های تولید محصولات کشاورزی در دنیا به کودها، سموم شیمیایی و بذور اصلاح‌شده وابسته است. در نتیجه، تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای در الگوی مصرف انرژی در بخش کشاورزی ایجاد شده و وابستگی به منابع سوخت‌های فسیلی نیز بیشتر شده است. با توجه به منابع طبیعی محدود و اثرات مصرف بی‌رویه از منابع مختلف انرژی روی سلامتی انسان و محیط‌زیست، بررسی الگوهای مصرف انرژی به منظور استفاده مؤثر از آن در بخش کشاورزی، حیاتی است (Emami-Meybodi, 2000; Mousavi-Avval et al., 2011). آنالیز جریان انرژی با ثبت انرژی‌های ورودی و خروجی در سامانه تولید، منجر به مدیریت صحیح منابع کمیاب جهت محافظت از منابع و تحقق مدیریت پایدار انرژی خواهد شد. از طرفی تحلیل مصرف انرژی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام تولیدی و افزایش کارایی انرژی باشد (Carman, 1997; Heidari et al., 2011).

امروزه حامل‌های انرژی فسیلی، بزرگ‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. بنابراین علاوه بر ارزیابی انرژی در سامانه‌های کشاورزی، انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز، با توجه به اهمیت پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی، مورد توجه قرار گرفته است. مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن (CO₂)، اکسید نیتروژن (N₂O)، متان (CH₄) و بخار آب هستند. این گازها باعث گرم شدن جو زمین می‌شوند^۲. به پدیده افزایش دمای کره زمین در اثر وجود گازهای گلخانه‌ای در جو زمین، اصطلاحاً اثر گلخانه‌ای^۳ گفته می‌شود (Haroni et al., 2018). تمامی

فعالیت‌های بشری از جمله فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل و کشاورزی، به‌نوعی باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده‌اند و این نیز به نوبه خود افزایش گرمایش جهانی را به دنبال دارد (Hatirli et al., 2006). فعالیت‌های کشاورزی از قبیل عملیات خاک‌ورزی، کاشت و برداشت به‌طور مستقیم و عملیات تولید و حمل‌ونقل ورودی‌های موردنیاز مزرعه از جمله آفت‌کش‌ها و کودها و همچنین تخریب جنگل‌ها، زهکشی مرداب‌ها و غیره، به‌طور غیرمستقیم باعث انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شوند (Reno et al., 2011).

در سال‌های اخیر ارزیابی چرخه حیات به ابزار مناسبی جهت بررسی و تعیین میزان تأثیرات زیست‌محیطی در تولید زیست‌سوخت‌ها تبدیل شده است به‌طوری‌که در بسیاری از کشورها از آن به‌عنوان ابزاری برای تصمیم‌گیری‌های کلان در برنامه‌ریزی‌های زراعی و صنعتی استفاده می‌شود. ارزیابی چرخه حیات روشی است که همه اثرات زیست‌محیطی مرتبط با تولید یک محصول را مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌دهد (Delucchi, 2003). واژه LCA از بررسی انرژی خالص (LCEA) در اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ گرفته‌شده و بسیار گسترده‌تر از ارزیابی انرژی خالص است. امروزه نحوه اجرای LCA از ارزیابی‌هایی که در اوایل ۱۹۹۰ انجام گرفته است، تفاوت زیادی ندارد (Soam et al., 2015).

در حال حاضر ارزیابی چرخه‌ی حیات اتانول زیستی در جهان در مطالعات بسیاری دیده می‌شود؛ برای مثال ارزیابی چرخه حیات تولید اتانول زیستی از سورگوم شیرین (Aguilar-Sánchez et al., 2018)، گندم (Buchspies & Kaltschmitt, 2018)، بقایای موز (Guerrero & Muñoz, 2018)، ذرت (Zhao et al., 2018)، جلبک‌ها (Carneiro et al., 2017)، چغندر قند (Buchspies & Kaltschmitt, 2016) و نیشکر (Morales et al., 2015) را می‌توان نام برد. در ایران چند مطالعه به‌صورت موردی، از آن جمله، کارآیی انرژی، بهره‌وری چغندر قند و انتشار CO₂ در استان اصفهان (Zahedi et al., 2012; Pishgar-komleh et al., 2015)، راندمان انرژی و تحلیل اقتصادی تولید آن در استان آذربایجان غربی (Gholami Ghajelou et al., 2015) و ارزیابی چرخه حیاتی تولید آن در استان خراسان (Soltani et al., 2015) انجام شده است.

1- Beta vulgaris L
2- Global Warming
3- Greenhouse Effect

شرقی و ۳۲ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی است. در این استان ۳۲۷۱ هکتار از کل اراضی کشاورزی به کشت چغندر قند اختصاص یافته که میزان تولید آن ۱۰۲۱۴۴ تن است.

داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای انجام این مطالعه، شامل کلیه ورودی‌ها (از قبیل کودها، آفت‌کش‌ها و سموم، بذر، برق و سوخت مصرفی) و خروجی‌ها، از طریق تکمیل پرسش‌نامه و مصاحبه با کشاورزان گردآوری شد. تعداد ۸۰ پرسش‌نامه بر اساس تئوری نمونه‌برداری کوکران (معادله (۱))، تکمیل شد (Lal, 2004).

$$n = \frac{N(t.s)^2}{Nd^2 + (t.s)^2} \quad (1)$$

که در آن: N، اندازه جامعه آماری یا تعداد زارعین چغندر قند در منطقه مورد مطالعه، t، ضریب اطمینان قابل قبول که با فرض نرمال بودن توزیع صفت مورد نظر، از جدول t-استیودنت به دست می‌آید، s²، برآورد واریانس صفت مورد مطالعه در جامعه (که با تکمیل تعدادی پرسش‌نامه مقدماتی به دست آمد)، d، حداکثر خطای مجاز که بین ۰/۰۱ تا ۰/۰۵ در نظر گرفته می‌شود، و n حجم نمونه است.

همارز انرژی

میزان مصرف انرژی هر یک از نهاده‌ها با در نظر گرفتن همارز انرژی هر نهاده و مقدار مصرف آن نهاده، و کل مصرف انرژی در کشت چغندر قند، از جمع انرژی‌های کلیه نهاده‌ها به دست آمد. انرژی‌های ورودی در تولید چغندر قند شامل انرژی مصرفی در عملیات کشاورزی و انرژی مصرفی در تولید، بسته‌بندی و توزیع کود، سموم و بذر بودند. محاسبه انرژی مصرفی و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای در انجام عملیات مختلف، با استفاده از محتوا (معادل) انرژی مربوط به هر واحد نهاده یا ستانده و ضرب آن در مقدار نهاده مصرف شده یا ستانده تولید شده انجام گرفت. در جدول ۱ محتوای انرژی مربوط به نهاده‌های مصرفی و ستانده‌های تولید شده ذکر شده است.

از طرفی مدل‌سازی، یک موضوع مورد توجه محققان برای حل مسائل پیش‌بینی است. برای تخمین رابطه بین انرژی ورودی، عملکرد محصول و نشر گازهای گلخانه‌ای از توابع ریاضی مانند تابع کاب داگلاس می‌توان استفاده کرد (Haroni et al., 2018). اما در چند سال گذشته، شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ بیش از سایر روش‌ها برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفته است (Aydinalp-Koksal & Ugursal, 2008; Antanasijević et al., 2015; Khoshnevisan et al., 2013).

همچنین سامانه استنتاج عصبی-فازی (انفیس)^۲ یک مدل قدرتمند در حل مسائل غیر خطی است. ساختار مناسب روش ANFIS، متناسب با داده‌های ورودی، درجه عضویت، قوانین و توابع عضویت ورودی و خروجی انتخاب می‌شود؛ انفیس شباهت بسیاری با سامانه استنتاج فازی دارد و تنها تفاوت آن این است که با کاربرد الگوریتم پس انتشار خطا، به حداقل‌سازی خطا می‌پردازد. در این روش از فرآیند آموزش شبکه‌های عصبی به منظور تنظیم توابع عضویت و پارامترهای مربوط به مجموعه داده‌های ورودی استفاده می‌شود. الگوریتم آموزشی انفیس از روش ترکیبی دوگانه استفاده می‌کند که شامل روش‌های پس‌انتشار خطا و حداقل مربعات است (Gheysari et al., 2007). در پژوهش‌هایی از روش ANFIS برای پیش‌بینی عملکرد گندم (Khoshnevisan et al., 2014a)، سیب‌زمینی (Khoshnevisan et al., 2014b) و توت‌فرنگی گلخانه‌ای (Khoshnevisan et al., 2014c) بر اساس انرژی ورودی استفاده شده است.

هدف از این تحقیق ارزیابی مسائل مربوط به مصرف انرژی و چرخه حیات در تولید چغندر قند و نیز پیش‌بینی میزان عملکرد محصول با استفاده از مدل‌های ANN و ANFIS بوده است.

مواد و روش‌ها

محل اجرای تحقیق

شهر بروجن دومین شهر از استان چهارمحال و بختیاری است که ۱۴ درصد از کل مساحت استان را در بر گرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا حدود ۲۲۰۰ متر بوده و دارای مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۷ دقیقه طول

1- Artificial Neural Network (ANN)

2- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

جدول ۱- محتوای انرژی نهاده‌های مورد استفاده در تولید چغندر قند

منبع	محتوای انرژی (مگاژول بر واحد)	واحد	نهاده
Kitani (1999)	۴۷/۸	لیتر	سوخت گازوئیل
Kitani (1999)	۵۰	کیلوگرم	بذر چغندر قند
Kitani (1999)	۷۸/۱	کیلوگرم	کود ازت
Kitani (1999)	۱۷/۴	کیلوگرم	کود فسفات
Kitani (1999)	۱۳/۷	کیلوگرم	کود پتاس
Green, (1987); Kitani (1999)	۲۰۲/۵	کیلوگرم	علف‌کش
Green (1987); Kitani, (1999)	۳۹۳	کیلوگرم	قارچ‌کش
Green (1987); Kitani (1999)	۴۰۲	کیلوگرم	حشره‌کش
Kitani (1999)	۱۶/۸	کیلوگرم	عملکرد (چغندر قند)

انرژی

برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی داده‌های مورد نیاز به نرم‌افزار سیمپرو^۱ (PRE Co. V 9.0.0.48 Developer Edition) منتقل شد. به‌طور کلی انرژی‌های ورودی در یک سامانه کشاورزی، به انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر و ... تقسیم شدند (Mobtaker *et al.*, 2010; Mousavi-Avval *et al.*, 2011). منابع انرژی مستقیم که انرژی آن‌ها به‌طور مستقیم در سامانه آزاد می‌شود، شامل نیروی انسانی، سوخت، آب و برق و منابع انرژی غیرمستقیم که برای تولید آن‌ها انرژی مصرف شده است، شامل بذر، کود، سموم شیمیایی و ماشین هستند. همچنین نیروی انسانی و بذر را در دسته انرژی‌های تجدیدپذیر و برق، سوخت، سم، کود شیمیایی و ماشین را (با فرض این‌که هیچ نوع انرژی تجدیدپذیری در تولید، بسته‌بندی و انتقال آنها مصرف نشده باشد)، در دسته انرژی‌های تجدیدنپذیر می‌توان قرار داد (Mohammadi & Omid, 2010). طبق مطالعات پیشین سهم انرژی مربوط به ماشین‌ها و نیروی انسانی در کل انرژی مصرفی ناچیز است (Shapouri *et al.*, 2004; Renó *et al.*, 2011; Ghadiryanfar *et al.*, 2013). این مقدار در مورد چغندر قند در ایران در حدود ۵ الی ۱۰ درصد گزارش شده است (Zahedi *et al.*, 2015; Gholami *et al.*, 2015). لذا در این مطالعه از آنها صرف نظر شد. به منظور تبدیل مقادیر مختلف نهاده‌های مورد استفاده به واحدهای انرژی، از معادل‌های استاندارد انرژی در جدول ۱ استفاده شده است. همچنین شاخص‌های انرژی از قبیل نسبت انرژی^۲، بهره‌وری انرژی^۳، افزوده

خالص انرژی^۴ و انرژی ویژه^۵ با استفاده از معادلات (۲)،

(۳)، (۴) و (۵) محاسبه شدند (Mandal *et al.*, 2002).

$$ER = E_{out} / E_{in} \quad (2)$$

$$EP = Y / E_{in} \quad (3)$$

$$NEG = E_{out} - E_{in} \quad (4)$$

$$SE = E_{in} / Y \quad (5)$$

که در آن: ER، نسبت انرژی (بدون بعد)، EP، بهره‌وری انرژی (kg/MJ)، E_{out} مقدار انرژی خروجی (MJ/ha)، E_{in} مقدار انرژی ورودی (MJ/ha)، Y، عملکرد محصول (kg/ha)، SE انرژی ویژه (MJ/kg) و NEG افزوده خالص انرژی (MJ/ha) هستند.

ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی چغندر قند با LCA

ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی چغندر قند شامل بررسی اثرات زیست‌محیطی ناشی از کلیه ورودی‌ها در تولید چغندر قند است که در طول چرخه حیات آن محصول انجام می‌گیرد.

تعریف هدف و دامنه

یکی از اقدامات مهم و الزامی در مرحله تعیین هدف و دامنه، انتخاب مرز سامانه است. اهمیت موضوع، زمانی مشخص می‌شود که بدانیم مشکلات زیست‌محیطی سامانه‌های کشاورزی حتی پس از برداشت محصول و در طول فرآیندهای پس از برداشت نیز می‌توانند ادامه داشته باشند (Khoshnevisan *et al.*, 2014c). ارزیابی چرخه حیات یک نگرش "گهواره تا گور" است؛ اما این امکان فراهم شده تا به‌منظور تمرکز بیشتر بر روی فرآیندها، مرز

1- SimaPro

2- Energy Ratio (ER)

3- Energy Productivity (EP)

4- Net Energy Gain (NEG)

5- Specific Energy (SE)

به خوبی تعریف شده که شامل مراحل تهیه زمین و کشت محصول و عملیات داشت (مراحل آبیاری، کوددهی و سم‌پاشی) است.

تحلیل چرخه حیات

در مرحله تعیین مرزهای سامانه، همه‌ی آلاینده‌های منتشر شده در زمان تولید چغندر قند، مشخص خواهند شد. جدول ۲ این آلاینده‌ها را نشان می‌دهد.

سامانه به صورت بخشی از کل فرآیند در نظر گرفته شود و نتایج بر اساس مرز انتخاب شده و برای یک مقیاس کوچک‌تر بیان شوند.

هدف از این مطالعه برآورد اثرات بالقوه زیست‌محیطی تولید چغندر قند در استان چهارمحال و بختیاری است. رویکردی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته، یک LCA توصیفی است. اثرات زیست‌محیطی ناشی از کلیه ورودی‌ها در تولید چغندر قند، در طول چرخه حیات آن، بررسی شد. واحد عملکردی برای این تحقیق یک کیلوگرم چغندر قند است. مرزهای این سیستم برای تجزیه و تحلیل

جدول ۲- کل ورودی‌ها در تولید چغندر قند (Green, 1987; Kitani, 1999; Erdal et al. 2007)

درصد	انرژی (MJ/ha)	هم‌ارز انرژی (MJ/unit)	مقدار در هکتار	واحد	نهادها
۲۲/۲۰	۸۵۳۹/۵۰	۴۷/۸	۱۷۸/۶۵	لیتر	سوخت
۰/۲۹	۱۱۴/۷۰	۴۷/۸	۲/۴۰	کیلوگرم	روغن
۲۲/۱۵	۸۵۱۶/۶۴	۱۵/۲۸	۵۵۷/۳۷	کیلووات ساعت	الکتريسيته
				کیلوگرم	کود شیمیایی
۴۵/۰۲	۱۷۳۰۵/۳۹	۷۸/۱	۲۲۱/۵۸	کیلوگرم	الف) نیتروژن
۵/۲۰	۲۰۰۰/۳۰	۱۷/۴	۱۱۴/۹۶	کیلوگرم	ب) فسفات
۱/۸۸	۷۲۴/۳۸	۱۳/۷	۵۲/۸۷	کیلوگرم	ج) پتاسیم
۵۲/۱۱	۲۰۰۳۰/۴۹			کیلوگرم	کل کود
				کیلوگرم	سموم شیمیایی
۱/۸۹	۷۲۵/۲۶	۳۲۹/۶۶	۲/۲	کیلوگرم	الف) علف‌کش
۰/۹۰	۳۴۹/۳۶	۳۹۷	۰/۸۸	کیلوگرم	ب) قارچ‌کش
۱/۲۸	۴۹۵/۲۱	۴۸۵/۵	۱/۰۲	کیلوگرم	ج) حشره‌کش
۰/۲۴	۹۲/۵	۵۰	۱/۸۵	کیلوگرم	بذر
۱۰۰	۳۸۳۳۷/۱۵				کل انرژی نهادها

ورودی‌های مورد نیاز برای تولید چغندر قند در جدول ۲ نشان داده شده است. این ورودی‌ها شامل کودهای شیمیایی، سموم شیمیایی، سوخت دیزل، برق و آب مصرفی هستند. علاوه بر موارد ذکر شده بذر مونوژرم مصرفی برای کشت چغندر قند، یک ورودی برای چغندر قند محسوب می‌شود.

مدل‌سازی انرژی و عملکرد

به منظور ایجاد یک ابزار قدرتمند مدل‌سازی، در این پژوهش مدل‌سازی عملکرد محصول با در نظر گرفتن انرژی‌های به کار رفته در فرایند تولید با استفاده از روش انفیس انجام پذیرفته است، که به منظور پیش‌بینی انرژی خروجی و شاخص‌های زیست‌محیطی، مدل‌های هوش مصنوعی شامل ANN و ANFIS و کدنویسی در نرم‌افزار

تحلیل سیاهه

در این مرحله به مدل‌سازی سامانه مورد بررسی، فرآیندهای زیست‌محیطی و وزن‌دهی به گروه‌های اثر پرداخته می‌شود. داده‌هایی برای مدل‌کردن سامانه تولید محصول مورد نیاز است که شامل داده‌های پیش‌زمینه^۱ و پس‌زمینه^۲ هستند. هر یک از این دو نوع داده به طور مجزا زیربخش‌هایی را دربر می‌گیرند. داده‌های پیش‌زمینه شامل تمامی داده‌های ورودی و خروجی در تولید چغندر قند و خروجی‌ها در یک فرآیند تولیدی هستند. داده‌های مواد کلی، انرژی، حمل‌ونقل و... را که در پایگاه داده و منابع یافت می‌شوند داده‌های پس‌زمینه (آلاینده‌های مرتبط با تولید مواد ورودی) می‌نامند. در مطالعه حاضر از پایگاه داده‌های نرم‌افزار سیماپرو برای این داده‌ها استفاده شد.

1- Foreground Data

2- Background Data

نتایج و بحث

بر اساس جدول ۲ عملکرد محصول چغندر قند در منطقه مورد نظر در یک دوره زراعی، ۴۷۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و مقدار انرژی ورودی (نهادها) و خروجی (عملکرد) در تولید چغندر قند به ترتیب برابر با ۳۷۶۴۰/۴۶۴ و ۷۹۰۰۹۰ و ۱۷۳۰۵/۸۵ مگاژول بر هکتار است. نهاد کود ازت با مقدار ۱۷۳۰۵/۸۵ مگاژول بر هکتار بیشترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد که ۴۵/۹۷ درصد از کل انرژی ورودی است. پس از آن نهاد سوخت و برق به ترتیب با مقادیر ۸۵۳۸/۲۷۵ مگاژول بر هکتار و ۸۵۱۶/۶۴ مگاژول بر هکتار در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج، نهاد قارچ کش با مقدار انرژی ۵۱/۶۸۹ مگاژول بر هکتار، تنها ۰/۱۳۷ درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد. برای کاهش مصرف سوخت نیز با توجه به اینکه بیشتر سوخت مصرفی مربوط به عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت است، اصلاح نظام خاکورزی و متناسب‌سازی ادوات و تراکتور توصیه می‌شود. پس از نهاد کود اوره و سوخت، نهاد برق سهم زیادی در مصرف انرژی تولید چغندر قند دارد که توسط پمپ‌های به کار گرفته شده برای آبیاری مصرف می‌شود. در پژوهشی بیشترین سهم انرژی مصرفی به کودهای شیمیایی اختصاص یافته بود. همچنین نهادهای بذر و سموم قارچ کش کمترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده بودند (Pishgar-komleh et al. 2012).

شاخص‌های انرژی بررسی شده در جدول ۳ آمده است. بر این اساس، میزان انرژی ورودی به شکل انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم، تجدیدپذیر و غیرتجدیدپذیر به ترتیب برابر ۹۱۵/۱۷، ۲۰۵۸۵/۵۵، ۹۲/۵۶ و ۳۷۵۴۷/۹۰ مگاژول بر هکتار است. نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی به ترتیب برابر ۲۰/۹۹، ۱/۲۴ کیلوگرم بر مگاژول، ۰/۸۰ مگاژول بر کیلوگرم و ۷۵۲۴۴۹/۵۳ مگاژول بر هکتار به دست آمد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش مشابهی که در ترکیه انجام شد، مطابقت خوبی دارد (Erdal et al., 2007). اما با نتایج پژوهش‌هایی که برای منطقه اصفهان (Zahedi et al., 2015; Pishgar-komleh et al., 2012) و آذربایجان غربی (Gholami et al., 2015) انجام یافته‌است اختلاف کمی دارد. علت احتمالی این اختلاف می‌تواند ابعاد و اندازه مزرعه و نظام کشاورزی رایج منطقه باشد.

متلب^۱ (MathWorks Co. V. 2015a) به کار گرفته شد. در مدلسازی ANN از شبکه‌های چند لایه پرسپترون استفاده شد که در آن تمامی نرون‌ها به یکدیگر وصل شده‌اند. در این شبکه، برای آموزش، از الگوریتم پس انتشار خطا استفاده می‌شود. برای آموزش شبکه، اطلاعات به صورت تصادفی به سه قسمت تقسیم شد که ۷۰ درصد داده‌ها به آموزش، ۱۵ درصد به آزمون و ۱۵ درصد به اعتبارسنجی مدل اختصاص یافت. در نهایت بهترین مدل استخراج شد. به منظور دستیابی به بهترین شبکه با بیشترین دقت و کمترین خطا، ایجاد تغییراتی در شبکه اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. یکی از این تغییرات، چیدمان شبکه یا به عبارتی تعداد لایه‌های مخفی به کار رفته در شبکه است. تغییر دیگر شامل نوع تابع فعال‌سازی یا محرک است. توابع محرک مختلفی از جمله تابع تانژانت سیگموئید و تانژانت هایپربولیک برای یافتن حالت بهینه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

برای یافتن شبکه‌هایی با توپولوژی مناسب به کمک الگوریتم‌های آموزش، از معیارهای ضریب همبستگی (R) و خطای میانگین مربعات شبکه استفاده می‌شود. این دو معیار قادر هستند هر نوع رابطه بین ورودی و خروجی را با دقت دلخواه تخمین بزنند.

روش ANFIS ترکیبی از شبکه‌های عصبی و سامانه‌های فازی است. یادگیری در ANFIS عملکردی مشابه با شبکه‌های عصبی دارد. از آنجایی که در چنین مدل منطق فازی پیشرفت‌های از ANN استفاده شده است، با استفاده از یک الگوریتم یادگیری پارامترها را تا آنجا که به جواب بهینه دست یافت، می‌توان تغییر داد. در حقیقت در این روش، منطق فازی با استفاده از قابلیت‌های ANN پارامترهای خود را تنظیم می‌نماید. بدیهی است که در ANN با استخراج تفاوت بین خروجی حاصل از مدل و خروجی واقعی، عملکرد سامانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. ANFIS با استفاده از دو الگوریتم پس انتشار خطا و یا الگوریتم ترکیبی که مشتمل بر دو الگوریتم تخمین حداقل مربعات خطا و پس انتشار خطا است، پارامترهای توابع عضویت را تخمین می‌زند. در این تحقیق از روش آزمون هیبریدی استفاده شد که یکی از مهم‌ترین روش‌های آموزش سامانه‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی است.

دی‌اکسیدکربن منتشرشده به‌ترتیب ۴۷ گیگاژول بر هکتار و ۹۹۲/۸۸ کیلوگرم معادل CO₂ بوده است (Pishgar-komleh et al. 2012). یکی از عوامل مؤثر در مقدار انتشار CO₂، نوع نظام کشاورزی است. به‌طوری‌که از لحاظ کارایی زیست محیطی، نظام‌های مکانیزه نسبت به نظام‌های سنتی برتری دارند (Soltani et al., 2015).

سهم هر نهاده در میزان نشر گازهای گلخانه‌ای، در جدول ۴، آورده شده است. با توجه به این جدول، کود ازت، سوخت و برق به‌ترتیب با ۴۰/۲۲٪، ۳۱/۶۶٪ و ۲۱/۷۶٪، بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید چغندر قند دارا بودند. در مطالعه‌ای پیرامون مصرف انرژی و انتشار دی‌اکسیدکربن در کشت سیب‌زمینی در استان اصفهان مشخص شد که مقدار کل انرژی مصرفی و

جدول ۳- درصد شاخص‌های انرژی در تولید محصول چغندر قند

شاخص	واحد	مقدار	درصد
انرژی مستقیم	مگاژول بر هکتار	۹۱۵/۱۷۰۵۴	۴۵/۳۱
انرژی غیرمستقیم	مگاژول بر هکتار	۲۰۵۸۵/۵۵	۵۴/۶۸
انرژی تجدیدپذیر	مگاژول بر هکتار	۹۲/۵۶	۰/۲۵۴
انرژی تجدیدناپذیر	مگاژول بر هکتار	۳۷۵۴۷/۹۰۱	۹۹/۷۵۴
انرژی ورودی	مگاژول بر هکتار	۳۷۶۴۰/۴۶۴	۱۰۰
انرژی خروجی	مگاژول بر هکتار	۷۹۰۰۹۰	-
کارایی (نسبت) انرژی	۱	۲۰/۹۹	-
بهره‌وری انرژی	کیلوگرم بر مگاژول	۱/۲۴	-
انرژی ویژه	مگاژول بر کیلوگرم	۰/۸۰۶	-
افزوده خالص انرژی	مگاژول بر هکتار	۷۵۲۴۴۹/۵۳	-

جدول ۴- ضرایب استاندارد و میزان نشر گازهای گلخانه‌ای برای تولید چغندر قند

درصد	میزان نشر گاز گلخانه‌ای kgCO _{2eq} /ha	منبع	ضریب GHG kgCO _{2eq} /unit	واحد	نهاده واحد
۳۱/۶۶	۴۹۳/۰۰۵	Lal (2004)	۲/۷۶	لیتر	سوخت
۲۱/۷۶	۳۳۸/۸۵۶	Lal (2004)	۰/۶۰۸	کیلووات ساعت	برق
۴۰/۲۲	۶۲۶/۲۲۰	Kitani (1999)	۱/۳	کیلوگرم	کود ازت
۳/۲۱	۴۹/۹۸۲	Kitani (1999)	۰/۲	کیلوگرم	کود فسفات
۱۳۵	۲۱/۱۵۰	Kitani (1999)	۰/۲	کیلوگرم	کود پتاس
۱/۳۴	۲۰/۹۰۳	Lal (2004)	۶/۳	کیلوگرم	علف‌کش
۰/۰۶۴	۱/۰۰۶	Lal (2004)	۳/۹	کیلوگرم	قارچ‌کش
۰/۳۶	۵/۷۳۷	Lal (2004)	۵/۱	کیلوگرم	حشره کش
-	۱۵۵۶/۸۵۹	-	-	-	کل نشر گازهای گلخانه‌ای

مدل‌سازی انرژی چغندر قند با استفاده از ANN

پارامترهای ورودی در مدل موردنظر، انرژی‌های مورد استفاده در تولید چغندر قند بوده است. به منظور دستیابی به بهترین ساختار شبکه عصبی، تعداد مختلفی از ساختارها با یک و دو لایه مخفی آموزش داده شده و تست و اعتبارسنجی شدند. از بین الگوریتم‌های آموزش مورد استفاده در این تحقیق، الگوریتم آموزش لونیبرگ مارکواریت انتخاب شد.

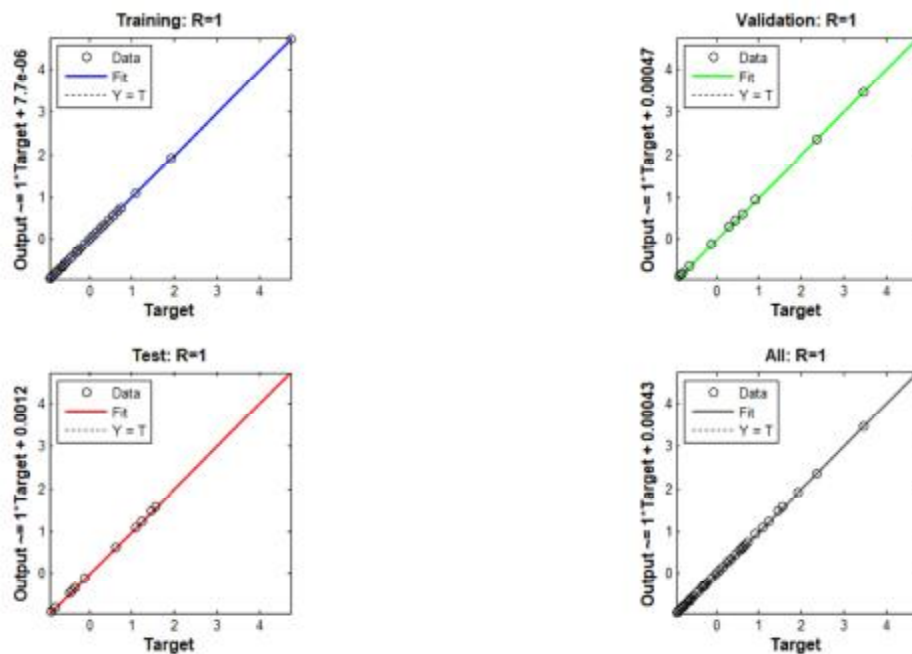
بر اساس نتایج این مدل‌سازی، مدل با ساختار ۱-۱-۲-۹ با نه ورودی، دو لایه مخفی با دو نورون در لایه اول و یک

نورون در لایه دوم و یک لایه خروجی با یک پارامتر خروجی به‌عنوان بهترین ساختار برای پیش‌بینی عملکرد چغندر قند استفاده شد. توابع محرک تانژانت سیگموئید و لگاریتم سیگموئید در لایه‌های مخفی و تابع محرک خطی در لایه خروجی به‌عنوان بهترین شبکه به‌کار گرفته شده بود. ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و آزمون، ۱ و میانگین مربعات خطا $10^{-6} \times 3/04$ برای بهترین مدل برای تخمین عملکرد با استفاده از نهاده‌ها به دست آمد. شکل ۱ مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی انرژی و مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد چغندر قند را نشان می‌دهد.

مورد استفاده در این تحقیق، الگوریتم آموزش هیبرید انتخاب شد. در این بخش انفیس یک لایه بهترین نتایج را تولید کرد. ضریب همبستگی $0/9991$ و میانگین مربعات خطا $0/102$ برای بهترین مدل برای تخمین عملکرد با استفاده از نهاده‌ها به دست آمد.

مدل‌سازی انرژی چغندر قند با استفاده از ANFIS

نهاده‌های مورد استفاده جهت مدل‌سازی عبارتند از سوخت دیزل، آب آبیاری، کودهای شیمیایی، کود حیوانی، سموم شیمیایی و الکتریسیته. آرایش‌های مختلف انفیس چندلایه به‌منظور دستیابی به بهترین ترکیب برای عمل پیش‌بینی استفاده شده است. از بین الگوریتم‌های آموزش



شکل ۱- مقایسه ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده عملکرد چغندر قند

نتایج ارزیابی چرخه حیات تولید چغندر قند

شکل ۲ نمودار تولید یک کیلوگرم چغندر قند به همراه اثرات زیست‌محیطی نهاده‌های ورودی در کشت چغندر قند را نشان می‌دهد. ضخامت خطوط واصل به زیربخش‌ها نشانگر مقادیر بار منفی زیست‌محیطی آن زیربخش است. همچنین سهم ورودی‌های سامانه، در هر زیر بخش برای محصول خروجی با واحد مربوطه بیان شده است (برای مثال $0/103$ کیلوگرم کود نیتروژن). مقدار تاثیر منفی زیست‌محیطی هر بخش به‌صورت درصد در داخل آن بخش نوشته شده است.

بر اساس نمودار مشاهده می‌شود که بیشترین بار منفی زیست‌محیطی با $3/09$ ، $1/8$ و $1/63$ درصد به ترتیب مربوط به سوخت دیزل، الکتریسیته و کود نیتروژن است. به‌دلیل جلوگیری از شلوع شدن نمودار درختی اثرات زیست‌محیطی در نرم‌افزار سیمپرو، تنظیمات نمودار خروجی طوری تعریف شده است که تنها زیربخش‌هایی

مقایسه مدل‌های پیش‌بینی عملکرد

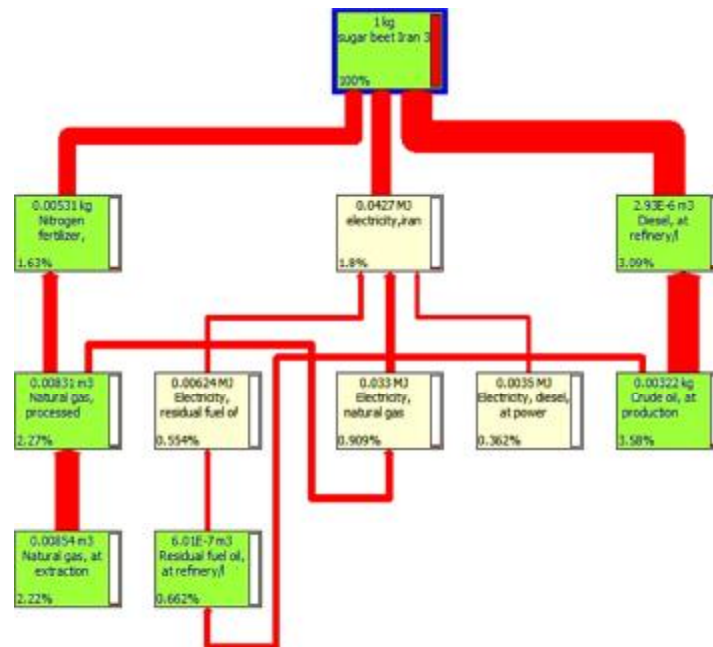
بر اساس نتایج، روش‌های هوش مصنوعی توانایی بیشتری در پیش‌بینی عملکرد چغندر دارند. همچنین از مقایسه‌ی دو روش هوش مصنوعی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است، نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌طور نسبی از نتایج حاصل از انفیس بهتر بوده و شبکه عصبی مصنوعی قادر است با همبستگی بیشتر و خطای کمتری مدل‌سازی را انجام دهد. مقایسه روش‌های پیش‌بینی عملکرد از لحاظ ضریب همبستگی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- مقایسه عملکرد انفیس و شبکه عصبی مصنوعی در

تولید چغندر قند		
عنوان	R	MSE
انفیس	$0/9991$	$0/102$
شبکه عصبی مصنوعی	۱	$3/04 \times 10^{-6}$

مزارع کشت چغندر قند تا کارخانه تولید شکر و همچنین مسافت بین کارخانه تولید شکر تا کارخانه تولید اتانول نیز سهم زیادی در بالا بردن این اثرات داشته است.

که بیشترین اثرات زیست‌محیطی در تولید محصول مورد نظر را دارند، نمایش داده می‌شوند. دلایل بالا بودن اثرات زیست‌محیطی سوخت دیزل، مصرف زیاد آن در بخش کشاورزی است. طولانی بودن مسافت حمل و نقل بین



شکل ۲- شبکه ورودی‌های تولید یک کیلوگرم چغندر قند در مزرعه با تأکید بر اثرات زیست‌محیطی با وضع موجود

کشاورزی به منظور پمپاژ آب آبیاری است که با مدیریت صحیح در مقدار مصرفی آن در بخش کشاورزی می‌توان صرفه‌جویی نمود. این یافته‌ها با نتایج پژوهش پیشین مطابقت دارد (Soltani *et al.*, 2015).

برای این منظور می‌توان نوع پمپ مورد نظر برای پمپاژ آب را با استفاده از روش‌های مهندسی و علمی طوری انتخاب نمود که بیشترین راندمان مصرف برق به دست آید. به منظور کاهش انرژی مصرفی در جهت تولید برق نیز پیشنهاد می‌شود تا حد امکان از منابع انرژی تجدیدپذیر و انرژی‌های نو با توجه به پتانسیل منطقه مورد نظر استفاده شود. همچنین با توجه به پایین بودن بازده نیروگاه‌های حرارتی تولید برق در ایران، بازسازی نیروگاه‌ها و استفاده بهینه از انرژی مصرفی برای موارد دیگر توصیه می‌شود (به‌عنوان مثال از بخار خروجی توربین‌ها، به‌عنوان یک انرژی ورودی برای صنایع تولیدی دیگر استفاده شود، و از هدررفت آن جلوگیری نمود).

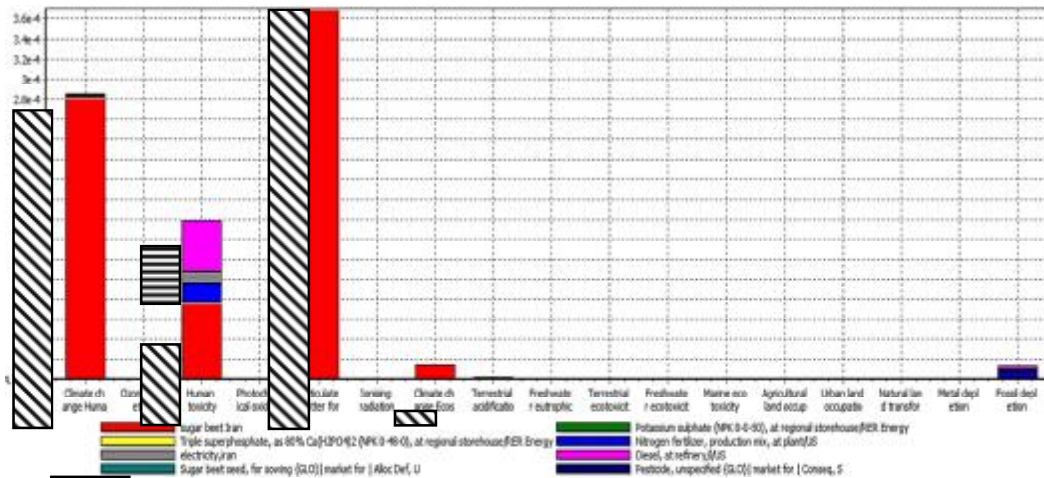
شکل ۳ اثرات زیست‌محیطی حاصل از تولید یک کیلوگرم چغندر قند در گروه‌های اثر را نشان می‌دهد. با توجه به

کودها نیز به دلیل مصرف انرژی زیاد در بخش تولید، اثرات زیست‌محیطی فراوانی دارند. جهت کاهش اثرات ناشی از آنها توصیه می‌شود مقادیر کود مورد استفاده، متناسب با نیاز محصول مورد نظر و با آگاهی از درصد عناصر موجود در خاک، انتخاب شود. در پژوهش مشخص شد که در سیستم‌های مختلف تولید چغندر قند در خراسان فرآیند آبیاری (برق الکتریسیته) و کودهای شیمیایی بیشترین سهم را در ایجاد اثرات زیست‌محیطی تولید چغندر قند داشته‌است (Soltani *et al.*, 2015). یکی از راهکارهای کاهش مصرف کود شیمیایی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، ترویج کشاورزی خاص مکانی و کشاورزی دقیق است.

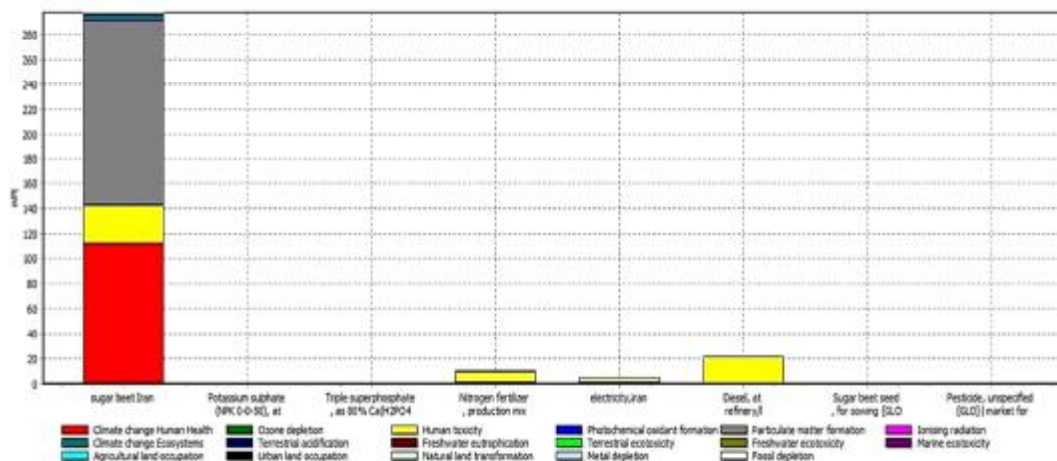
برق تولیدی در ایران هم از منابع انرژی تجدیدپذیر و هم از منابع انرژی تجدیدناپذیر تولید می‌شود اما سهم منابع انرژی تجدیدناپذیر در این زمینه بسیار بیشتر است (Ghadiryfar *et al.*, 2013). مصرف زیاد سوخت‌های فسیلی جهت تولید برق اثرات منفی زیست‌محیطی زیادی را به همراه دارد و عمدتاً منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نهایت گرمایش جهانی می‌شود. مصرف برق در

شکل ۴ نشان دهنده میزان اثرات زیست‌محیطی تولید یک کیلوگرم چغندر قند در گروه‌های اثر به تفکیک ورودی‌ها است که در واقع شکلی دیگر از نمودار درختی ارائه شده در تولید یک کیلوگرم چغندر قند است.

شکل، تنها اثر گروه‌های نقصان سوخت‌های فسیلی، تغییرات آب و هوایی، ذرات معلق و سمیت انسانی معنی‌دار شده‌اند.



شکل ۳- اثرات زیست‌محیطی حاصل از تولید یک کیلوگرم چغندر قند و میزان گروه‌های اثر ناشی از هر ورودی



شکل ۴- نمودار سهم ورودی‌ها از میزان گروه‌های اثر در تولید یک کیلوگرم چغندر قند

سوخت، برقی و کود ازت، بیشترین سهم را در نشر گازهای گلخانه‌ای در تولید چغندر قند داشتند. به‌طور کلی با بهینه‌سازی مصرف انواع نهاده‌های به‌کاررفته در سامانه کشت، استفاده از منابع انرژی کارآمدتر می‌شود. این کار از طریق انتخاب درست نوع، مقدار، روش و زمان مصرف نهاده‌ها خصوصاً کودهای شیمیایی ممکن می‌شود. این امر با افزایش کارایی نهاده‌ها موجب مصرف کمتر انرژی‌های ورودی به مزرعه و افزایش راندمان انرژی خواهد شد. استفاده صحیح از ماشین‌آلات و مدت‌زمان بهینه استفاده از آنها باعث کاهش سوخت و به دنبال آن منجر به

نتیجه‌گیری

میزان کل انرژی مصرفی در تولید چغندر قند ۳۷۶۴۰/۴۶۴ مگاژول بر هکتار تخمین زده شد که از بین نهاده‌های انرژی مصرفی، کود ازت بیشترین سهم را در مصرف انرژی به خود اختصاص داد، با توجه به مصرف بالای کود ازت در سطح مزرعه، به منظور کاهش آن پیشنهاد می‌شود با اعمال مدیریت مناسب از اتلاف این نهاده جلوگیری نمود و آن را به‌صورت بهینه به کار برد.

همچنین مقدار کل نشر گازهای گلخانه‌ای ۱۵۵۶/۸۵۹ کیلوگرم CO₂ بر هکتار محاسبه شد که به‌ترتیب نهاده‌های

- environmental impacts of multiple concepts of co-product processing in the context of the European Renewable Energy Directive. *Biofuels*, 7(2): 141-153.
5. Buchspies, B., & Kaltschmitt, M. (2018). A consequential assessment of changes in greenhouse gas emissions due to the introduction of wheat straw ethanol in the context of European legislation. *Applied Energy*, 211: 368-381.
 6. Carman, K. (1997). Effect of different tillage systems on soil properties and wheat yield in Middle Anatolia. *Soil and Tillage Research*, 40: 201-207.
 7. Carneiro, M. L. N. M., Pradelle, F., Braga, S. L., Gomes, M. S. P., Martins, A. R. F. A., Turkovics, F., & Pradelle, R. N. C. (2017). Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73: 632-653.
 8. Delucchi, M. (2003). *A lifecycle emissions model (LEM): lifecycle emissions from transportation fuels, motor vehicles, transportation modes, electricity use, heating and cooking fuels, and materials*. Institute of transportation Studies. University of California, Davis, USA. <https://escholarship.org/uc/item/9vr8s1bb>.
 9. Emami-Meybodi, A. (2000). Principles of efficiency and productivity Measurement. Institute trade publication. *Energy*, 86(7-8): 1354-8. (In Persian).
 10. Erdal, G., Esengun, k., Erdal. H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economic analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32: 35-41.
 11. Ghadiryanfar, M., Keyhani, A., & Omid, M. (2013). Full chain of energy in ethanol production from sugar cane molasses in Iran. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 44(2): 135-142. (In Persian),
 12. Gheysari, K., Mehrno, H., & Jafari Moghadam. A. R. (2007). Fuzzy Data Envelopment Analyses. Scientific Publishing Center of Islamic Azad University, Ghazvin Branch. 187 p. (In Persian).
 13. Gholami Ghajelou, J., Ghanbarian, D., Maleki, A., & Torki Harchegani, M. (2015). Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet fields in Miandoab city, West Azerbaijan province. *Journal of Sugar Beet*, 31(1): 109. (In Persian).
 14. Green, M. R. (1987). Energy in pesticide manufacture, distribution and use. *Energy in World Agriculture*, 2: 268-279.
 15. Guerrero, A. B., & Muñoz, E. (2018). Life cycle assessment of second-generation
- کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. همچنین رعایت تناوب زراعی و انجام آزمایش‌های مربوط به درصد مواد معدنی خاک و آگاهی از آن‌ها باعث استفاده بهینه در مصرف کودهای شیمیایی خواهد شد.
- در بخش مدل‌سازی به کمک شبکه عصبی مصنوعی ضریب همبستگی برای داده‌های آموزش و آزمون ۱ و میانگین مربعات خطا $3/04 \times 10^{-6}$ به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین عملکرد با استفاده از نهاده‌ها به دست آمد. همچنین در بخش انفیس، انفیس یک لایه بهترین نتایج را تولید کرد. ضریب همبستگی $0/9991$ و میانگین مربعات خطا $0/0102$ به‌عنوان بهترین مدل برای تخمین عملکرد با استفاده از نهاده‌ها به دست آمد.
- بر اساس نتایج به دست آمده از این پژوهش پیشنهاد می‌شود به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف منابع و همچنین کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای ناشی آن، با اعمال مدیریت مناسب در سطح مزرعه و آموزش صحیح کشاورزان و صاحبان مزارع، استفاده از منابع انرژی جهت کشت به‌صورت بهینه و با آگاهی از نیاز مزرعه و محصول موردنظر، انجام پذیرد.
- ### سپاس‌گزاری
- نویسندگان مقاله از خانم سپیده هارونی برای کمک به تجزیه و تحلیل داده‌ها، تشکر و سپاس‌گزاری می‌نمایند.
- ### منابع
1. Aguilar-Sánchez, P., Navarro-Pineda, F. S., Sacramento-Rivero, J. C., & Barahona-Pérez, L. F. (2018). Life-cycle assessment of bioethanol production from sweet sorghum stalks cultivated in the state of Yucatan, Mexico. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(7): 1685-1696.
 2. Antanasijević, D., Pocajt, V., Ristić, M., & Perić-Grujić, A. (2015). Modeling of energy consumption and related GHG (greenhouse gas) intensity and emissions in Europe using general regression neural networks. *Energy*, 84: 816-824.
 3. Aydinalp-Koksal, M., & Ugursal, V. I. (2008). Comparison of neural network, conditional demand analysis, and engineering approaches for modeling end-use energy consumption in the residential sector. *Applied Energy*, 85(4): 271-296.
 4. Buchspies, B., & Kaltschmitt, M. (2016). Life cycle assessment of bioethanol from wheat and sugar beet discussing

27. Mohammadi, A., & Omid, M. (2010). Economic analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Applied energy*, 87: 191-196.
28. Morales, M., Quintero, J., Conejeros, R., & Aroca, G. (2015). Life cycle assessment of lignocellulosic bioethanol: Environmental impacts and energy balance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42: 1349-1361.
29. 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.
30. Pishgar-komleh, S. H., Ghahderjani, N., & Sefeedpari, P. (2012). Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Clear Production*, 33: 183-191.
31. Reno, M. L. G., Lora, E. E. S., Palacio, J. C. E., Venturini, O. J., Buchgeister, J., & Almazan, O. (2011). A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy*, 36: 3716-3726.
32. Shapouri, H., Duffield J., & McAloon A. J. (2004). The 2001 net energy balance of corn-ethanol. In *Proc. Conf. on Agriculture as a Producer and Consumer of Energy*. Arlington, Va. USA: June 24-25. www.usda.gov/oce/reports/energy/net_energy_balance.pdf.
33. Soam, S. R., Kumar, R. P., Gupta, P. K., Sharma, D., Tuli K., & Das B. 2015. Life cycle assessment of fuel ethanol from sugarcane molasses in northern and western India and its impact on Indian biofuel programme. *Energy*, 83: 307-315.
34. Soltani, A., Bazrgar, A. B., Koochaki, A. R., Zeinali, E., Ghaemi, A. R., & Hajarpoor, A. (2015). Life Cycle Assessment (LCA) of sugar beet production in various production systems in Khorasan. *Electronic Journal of Crop Production*, 8(1): 43-62. (In Persian).
35. Zahedi, M., Eshgizadeh, H. R., & Mandani, F. (2015). Energy Efficiency and Productivity in Potato and Sugar Beet Production Systems in Isfahan Province. *Journal of Crop production and processing*, 5(17). 181-191. (In Persian).
36. Zhao, Y., Damgaard, A., & Christensen, T. H. (2018). Bioethanol from corn stover – a review and technical assessment of alternative biotechnologies. *Progress in Energy and Combustion Science*, 67: 275-291.
- ethanol derived from banana agricultural waste: Environmental impacts and energy balance. *Journal of Cleaner Production*, 174: 710-717.
16. Haroni S., Sheykhdavodi M. J., & KianiDehKiani M. (2018). Application of Artificial Neural Networks for Predicting the yield and GHG Emissions of Sugarcane Production. *Journal of Agricultural Machinery*, 8(2): 389-401. (In Persian).
17. Hatirli, VP., Ozkan, B., & Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31: 427-438
18. Heidari, M. D., Omid, M., & Akram, A. (2011). Optimization of energy consumption of broiler production farms using Data Envelopment Analysis approach. *Modern Applied Science*, 5(3): 69-78.
19. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2014a). Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. *Information processing in agriculture*, 1(1): 14-22.
20. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., & Mousazadeh, H. (2014b). Prediction of potato yield based on energy inputs using multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system. *Measurement*, 47: 521-530.
21. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. (2014c). Application of multi-layer adaptive neuro-fuzzy inference system for estimation of greenhouse strawberry yield. *Measurement*, 47: 903-910.
22. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., Omid, M., Mousazadeh, H., & Sefeedpari, P. (2013). Prognostication of environmental indices in potato production using artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 52: 402-409.
23. Kitani, O. C. (1999). *CIGR Handbook of agricultural engineering*. volume 5, Energy and Biomass Engineering. ASAE publication., St Joseph, MI. 351 p.
24. Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment*, 30: 981-990.
25. Mandal, K. G., Saha, K. P., Ghosh, P. K., Hati, K. M., & Bandyopadhyay, K. K. (2002). Bioenergy and economic analysis of soybean based crop production systems in central India. *Biomass Bioenergy*, 23(5): 337-345.
26. Mobtaker, H. G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee S., & Akram, A. (2010). Sensitivity analysis of energy inputs for barley production. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 137: 367-72.