یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بررسی وضعیت انرژی در تولید شکر

کامران خیرعلی‌پور[1]، حسن غلامرضایی[2] و شاهین رفیعی[3]

[1]استادیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام؛ k.kheiralipour@ilam.ac.ir
[2]دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه ایلام، ایلام؛ hasan3942@gmail.com
[3]استاد گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج؛ shahinrafiee@ut.ac.ir

چکیده

امروزه هدف اصلی در کشاورزی و صنایع تبدیلی افزایش عملکرد، کاهش هزینه‌ها، مصرف انرژی و آلایندگی‌های زیست محیطی است. با بررسی و تحلیل آنالیز انرژی‌های ورودی و خروجی می‌توان به شناسایی جریان سامانه تولید محصولات و شناخت نقاط ضعف و قدرت آن پرداخت. تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۵ در کارخانه قند فریمان انجام شد. در این مطالعه به بررسی انرژی نهاده‌ها و ستاده‌ها مصرفی در تولید شکر پرداخته شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که میزان کل انرژی نهاده در تولید یکصد تن شکر MJ ۴۷۸۸۶۹۰/۱۲ است. مؤثرترین نهاده‌ی انرژی‌بر برای تولید شکر، گاز طبیعی با سهم ۴۳ درصدی می‌باشد. شاخص‌های نسبت انرژی، بهره‌وری انرژی، شدت انرژی و افزوده خالص انرژی نیز به ترتیب ۰/۵۶، ۰/۰۲ Kg/MJ، ۴۷/۹ MJ/kg و $MJ/100ton^{-1}$ ۲۰۷۵۴۹۹/۷- محاسبه شد. در این مطالعه سهم مصرف انرژی تجدیدناپذیر ۹۷/۳۵ درصد بود.

کلمات کلیدی: نهاده، ستاده، انرژی، کارخانه قند، شکر.

Investigation of Energy Status in Sugar Production

Kamran Kheiralipour[1], Hassan Gholamrezaee[2], Shahin Rafiee[3]
[1]Assistance Professor. Mechanical Engineering of Biosystems, Ilam University, Ilam.
[2]M.Sc. Student, Mechanical Engineering of Biosystems, Ilam University, Ilam.
[3]Professor. Agricultural Machinery Department, University of Tehran, Karaj.

ABSTRACT

Todays, the main goals of agriculture and industry are increasing the yield, reducing the production costs, Energy consumption as well as the environmental impacts. By investigation and analysis the input and output energies, the energy flow of production system can be identified as well as understanding the strengths and weaknesses of the system. In this research, energy consumption of sugar production was studied. The results showed that the total energy input in the production of one hundred tons of sugar was 4788690.12 MJ. The most effective energy input for the production of sugar was natural gas with share of 43 percent. Indicators energy ratio, energy productivity, energy intensity and net energy gain respectively, 0.56, 0.02 Kg/MJ, 47.9 MJ/Kg and -2075499.7 $MJ/100ton^{-1}$. The share of nonrenewable energy consumption in the study was 97.35 percent.
Keywords: Input, Output, Energy, Sugar factory.

۱- مقدمه

شکر ماده‌ای شیرینی است که از بعضی نباتات مانند چغندر قند و نیشکر استخراج می‌کنند. در سال ۱۷۴۷ 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 (Alirezalo and Gharehkhani, 2009). این ماده یکی از مهمترین مواد غذایی مورد نیاز بدن است که ایجاد حرارت و انرژی در بدن می‌کند به طوری که شکر و قند به ترتیب چهارمین و پنجمین کالا، از نظر رتبه‌بندی کالاها در تأمین انرژی بشر قرار گرفته است (Pirayeh, 2005). تولید سالانه حدود یک و نیم میلیون تن

۱- کامران خیرعلی‌پور، دانشگاه ایلام، تلفن و نمابر: ۰۸۴۳۲۲۲۷۰۱۵.

شکر ایران را به بیستمین تولیدکننده این محصول در جهان مبدل ساخته است (FAO, 2016). کارخانه قند فریمان با سهم سه درصدی، رتبه شانزدهم را در بین سی و پنج کارخانه چغندری، به خود اختصاص داده است (Anonymous, 2015).

بخش کشاورزی با افزایش مصرف نهاده‌ها برای تأمین امنیت غذایی جامعه، باعث افزایش آلایندگی‌های زیست محیطی شده است (Mirhaji et al., 2011). در سال ۱۹۷۰ پس از افزایش قیمت محصولات نفتی، آنالیز انرژی به عنوان مبحثی مهم در علوم کشاورزی مطرح شد (Teyebtaher et al., 2008). کلیه نظام‌های کشاورزی شامل انواع ساده آن در کشاورزی سنتی تا نظام‌های کشاورزی فشرده و نوین امروزی به مصرف انرژی به شکل انرژی نیروی انسانی و آنچه به وسیله خورشید در اختیار قرار می‌گیرد، نیاز دارند (Sefidpari et al., 2012).

مصرف انرژی در سامانه‌های کشاورزی، به نهاده‌هایی که در فرآیند تولید شرکت می‌کنند مرتبط می‌شود. این نهاده‌ها یا ورودی‌ها با توجه به محتوای انرژی خود تعریف و اندازه‌گیری می‌شوند. در یک سامانه تولید کشاورزی، نهاده‌های مختلفی موجب مصرف انرژی می‌باشند. مصرف نهاده‌ها با مقدار محتوای انرژی آن‌ها مشخص می‌شود (Kitani, 1999). مجموع محتوای انرژی نهاده‌های مصرف شده در طی فرآیند تولید را انرژی ورودی برای یک سامانه تولیدی می‌گویند. انرژی خروجی نیز به مجموع انرژی محصولات تولید شده در همان سامانه تولیدی گفته می‌شود (Blancard & Martin, 2014).

مطالعات زیادی نیز در زمینه بررسی بیلان انرژی در کشاورزی و صنایع تبدیلی مربوطه انجام شده است. در تحقیق Strapatsa et al. (2006) در تحقیقی برای انرژی مصرفی در باغ‌های سیب یونان بین سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۹ به این نتایج رسیدند که برای نهاده‌های مصرفی سوخت٪ ۳۳، ماشین‌ها ٪ ۲۵ و کودها به ویژه ازته ٪ ۱۵ بیشترین سهم انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده بودند. کل انرژی مصرفی (۳۹۶۸۵ مگاژول بر هکتار) برای تولید چغندر قند در کشور ترکیه حدود ۴۹ درصد مربوط به انرژی کودهای شیمیایی و ۲۴ درصد مربوط به سوخت‌های فسیلی بود (Erdal et al., 2007). نسبت انرژی در تولید گندم دیم در شهرستان اقلید را مورد مطالعه قرار گرفته است (Molaee et al., 2008). در تحقیقی که Kizilaslan (2009) در شهر توکات ترکیه در باغات آلبالو انجام داد گزارش دادند که نسبت انرژی برابر ۰/۹۶ به دست آمد و بیشترین سهم انرژی مربوط به کودها ٪ ۴۲، الکتریسیته ٪ ۲۲ و سوخت ٪ ۲۱ بود. Mandi et al. (2013) به بررسی سیر انرژی چغندر قند در خراسان رضوی پرداختند. نتایج آن ها حاکی از مصرف ۴۲۲۳۲ مگاژول در هکتار انرژی در مزارع چغندر قند بود. در تحقیق دیگر Amid et al., (2014) به بررسی شاخص‌های مصرف انرژی برای پرورش مرغ گوشتی در منطقه اردبیل پرداختند. Hoseinzadeh et al. (2015) به تعیین شاخص‌های انرژی مصرفی در واحدهای پرورش گاو شیری در شهرستان قزوین پرداخته و نتایجه گرفتند که مجموع انرژی ورودی در واحدهای پرورش گاو شیری ۵۶۵۶۶۳/۴۶ مگاژول برای هر رأس گاو است. Payandeh et al. (2016a:b) شاخص های انرژی مصرفی در مرغداری‌های مرغ گوشتی و سالن پرورش بوقلمون در شهرستان نجفآباد را مورد بررسی قرار دادند.

با توجه به بررسی منابع تا اکنون تحقیقی در زمینه بررسی انرژی در تولید قند یا شکر گزارش نشده است. بنا بر این با توجه اهمیت قند و شکر و جایگاه آن در کشور و همچنین اهمیت بررسی انرژی از نظر مصرف نهاده‌ها و انتشار آلاینده‌های زیست محیطی متعاقب آن در کارخانه تولید قند و شکر، انجام تحقیقی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد.

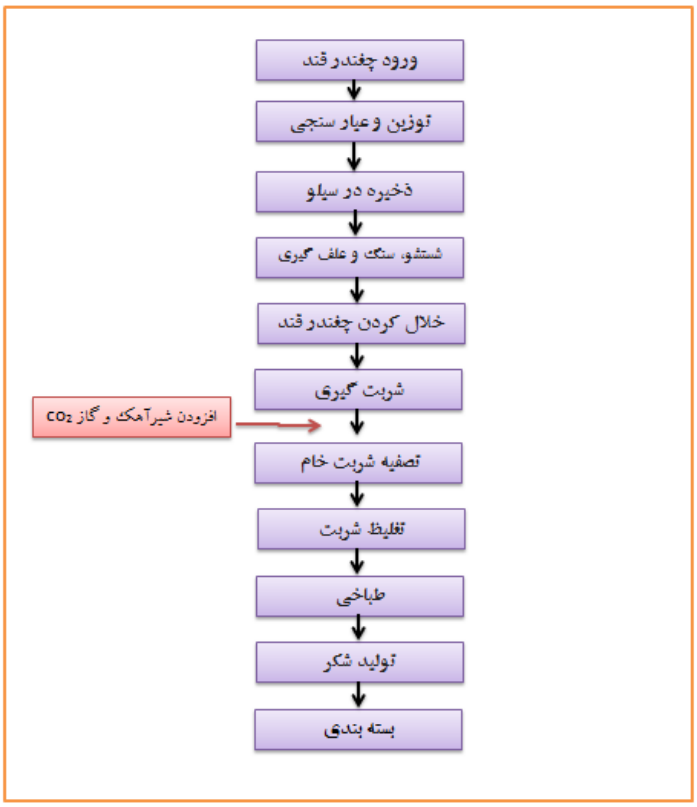
۲- مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۴ در کارخانه قند فریمان در استان خراسان رضوی صورت گرفت. فاصله این شهرستان با مرکز استان خراسان یعنی مشهد، ۷۵ کیلومتر می‌باشد. شهرستان فریمان، با پهنه‌ای حدود ۲۳۵۰ کیلومتر مربع در خراسان، از سوی شمال و غرب با شهرستان مشهد، از شرق با شهرستان تربت‌جام و از جنوب با شهرستان تربت‌حیدریه مجاور است. کارخانه قند فریمان در ۱۰ کیلومتری جنوب فریمان قرار گرفته و تا مشهد ۸۰ کیلومتر فاصله دارد. ماشین‌ها و تجهیزات کارخانه از لهستان خریداری شده و توسط مهندسان لهستانی نیز نصب گردیده است. کارخانه مذکور در زمینی به وسعت ۵۴۰۰۰ متر مربع بنا شده است. مواد اولیه این کارخانه چغندر قند است که توسط زمین‌های مزروعی خود کارخانه قند و کشاورزان منطقه بالابند و خود شهرستان تأمین می‌شود. تولیدات این کارخانه شکر، ملاس و تفاله می‌باشد.

تولید شکر دارای مراحل مختلفی می‌باشد (شکل ۱). چغندر معمولا با کامیون به کارخانه حمل شده و پس از توزین توسط بخش تخلیه، چغندرها توسط نوار نقاله به محل سیلوها هدایت و در حین جابجایی در کارخانه درصد قند (عیار) نمونه‌ها اندازه‌گیری می‌شود. غالبا برای انتقال چغندر از سیلو به محل فرآیند از جریان آب استفاده می‌شود و حین انتقال اعمالی دیگر مانند سنگ‌گیری و علف‌گیری نیز انجام می‌شود. شستشوی چغندر با استفاده از آب و در تجهیزات شستشو به شکل نیم استوانه انجام می‌شود. برای تسهیل استخراج قند لازم است که چغندر به صورت رشته‌های باریکی به نام خلال تبدیل شود. اندازه و شکل خلال بر بازده عصاره‌گیری تأثیر زیادی دارد. عمل استخراج قند از خلال در سامانه دفیوژن انجام می‌شود. معمولا در دفیوژن آب گرم و خلال در دو جهت مخالف هم حرکت کرده و مواد قندی به تدریج از خلال استخراج می‌شود و در نهایت از یک طرف سامانه، شربت خام و از طرف دیگر آن تفاله خارج می‌شود. تفاله خروجی از دفیوژن مرطوب بوده که پس از متراکم شدن توسط پرس آب آن گرفته شده و دوباره به

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

دفیوژن برمی‌گردد. تفاله متراکم شده به سمت تفاله خشک‌کن می‌رود و در آنجا به تفاله خشک تبدیل می‌شود. تفاله خشک به عنوان خوراک دام مصرف می‌شود. شربت خام خروجی از دفیوژن ناخالصی‌های زیادی دارد و باید تصفیه شود. در متداول‌ترین روش تصفیه شربت خام از شیرآهک و گازکربنیک برای جداسازی ناخالصی‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱. مراحل تولید شکر.

Fig. 1. Sugar production steps.

از آنجا که شربت رقیق غلظت کمی دارد، با استفاده از سامانه تغلیظ کننده‌یا اواپراتور غلظت آن بالا می‌رود. در این سامانه‌ها برای تغلیظ کردن و همچنین برای تغییر رنگ شربت از بخار با حرارت بالا استفاده می‌شود. سپس برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، عمل تغلیظ شربت در چند مرحله و تحت خلاء در دمای پایین‌تری انجام می‌شود. هدف از این مرحله آن است که شربت در حد بیشتری تغلیظ شود به طوری که بتوان از آن قند ساکارز را به شکل شکر متبلور (کریستال) جداسازی کرد. پس از آن عمل طباخی در طول یک تا سه مرحله انجام می‌شود. در مرحله اول شربت به حالت فوق اشباعی می‌رسد. سپس عمل دانه‌بندی انجام شده و پس از عبور از مخازن سردکننده وارد سامانه سانتریفوژ می‌شود تا کریستال‌های شکر از پساب جدا شود. پساب خروجی را ملاس می‌گویند که حاوی ۵۰ درصد قند است. برای تولید شکر در کارخانه، محصول حاصل از طباخی به خشک‌کن منتقل شده و پس از خشک‌کردن و بسته‌بندی به انبار یا بازار فروش ارسال می‌گردد. برای تولید قند (قند حبه یا قند کله)، محصولی که از سانتریفوژها خارج می‌شود به جای اینکه خشک شود، در آب حل شده و کلرس تهیه می‌شود. کلرس به آپارات پخت قند انتقال یافته و پس از طی مراحل طباخی در قالب‌های مخصوص ریخته و پس از سرد شدن، سانتریفوز شدن و خشک شدن، قند به دست می‌آید (Mesbahi, 2004). لازم به ذکر است که کارخانه قند فریمان و نیز بسیاری از کارخانجات قند و شکر در ایران قسمت تولید قند را حذف کرده و فقط شکر تولید می‌کنند، چرا که اخیرا کارخانه‌های کوچکتر، کم مصرفتر و با بازده بالاتر احداث شده‌اند تا شکر را به قند (قند حبه یا کله) تبدیل کنند.

در مراحل مختلف پژوهش، از آمار و اطلاعات موجود در بایگانی مدیریت جهاد کشاورزی استان، سازمان صنعت، معدن و تجارت و همچنین آمارنامه مربوط به انجمن صنفی کارخانجات قند و شکر نیز استفاده گردید. با مدیرعامل کارخانه، مهندسین تولید، مهندسین فنی و کارکنان بخش‌های مربوطه برای تکمیل پرسش‌نامه برای حصول اطلاعات، مصاحبه‌هایی انجام شد. سپس پرسش‌نامه‌ای شامل تمام مراحل تولید شکر از مرحله تحویل چغندر تا

بسته‌بندی شکر تهیه گردید. تناژ ورودی کارخانه در هر شیفت، تعداد کارگر در هر شیفت، تعداد پرسنل ثابت و موقت، میزان مصرف آب، میزان مصارف انرژی فسیلی (نفت، گاز، گازوییل و نفت گاز) و برق، میزان تولید و غیره از جمله سوالات پرسش‌نامه بود.

اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق شامل مصرف نهاده و حصول ستاده در تولید شکر در کارخانه قند فریمان است. 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 (جدول ۱).

جدول ۱. محتوای انرژی نهاده‌ها و ستانده‌ها در تولید شکر.

Table 1. Energy contents of inputs and outputs in sugar production.

منبع انرژی	واحد	محتوای انرژی (MJ/Unit)	مرجع
نهاده‌ها			
چغندر قند	kg	5.04	Ozkan (2005)
نیروی انسانی	h	1.96	Kitani, (1999)
دیزل	l	56.31	Hamedani et al., (2011)
گاز طبیعی	m^3	49.50	Kitani, (1999)
مازوت	l	47.80	Kitani, (1999)
روغن ماشین‌ها	l	47.80	Ghafari Gharehbagh et al. (2013)
نایلون	kg	17.91	Kitani, (1999)
حمل و نقل	t.km	3.05	Unesi et al. (2013)
سنگ آهک	kg	1.59	Saniz (2003)
آبرسانی	m^3	0.63	Kizilaslan (2009)
الکتریسیته	kWh	12.1	Taghavifar & Mardani (2015)
ستاده‌ها			
شکر	kg	15.40	Arjenaki Omidi (2016)
تفاله	kg	11.30	*
ملاس	Kg	15.00	Keramati et al. (2014)

* هر کیلو تفاله ۲۷۰۰ کیلو کالری انرژی دارد (Koucheki & Hoseini, 1994) و هر کالری معادل ۴/۶۸۱۸ ژول می‌باشد

۳- نتایج و بحث

جدول (۲) مقدار نهاده‌های ورودی و انرژی معادل آن‌ها و همچنین انرژی معادل ستاده برای تولید یکصد تن شکر را نمایش می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده کل انرژی ورودی ۴۷۸۸۶۹۰/۱۲ مگاژول و انرژی خروجی آن ۲۷۱۳۱۹۰/۴۲ مگاژول به ازای تولید یکصد تن شکر می‌باشد. Peyman & Nabavi Pelesaraee (2015) 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.

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 طوری‌که انرژی مورد نیاز دیگ‌های بخار، سامانه گرمایش و بالابردن میزان دمای آب و تبدیل آن به بخار جهت تولید الکتریسیته را تأمین می‌کند. 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 (Keramati et al., 2014). همچنین در مطالعه‌ای دیگر، Peyman & Nabavi Pelesaraee (2015) 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.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران

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

Table 2. The mean of amounts and energy of input and output for producing 1 Tonne sugar.

منبع انرژی Energy source	واحد Unit	مقدار Value	انرژی ($MJ.100ton^{-1}$) Energy	سهم (٪) Share
نهاده **Input**				
چغندر قند Sugar beet	kg	320493.3	1615286.2	33.73
نیروی انسانی Labor	h	4457.0	8735.8	0.18
حمل و نقل Transport	ton.km	7723.0	23554.8	0.49
سوخت **Fuel**				
مازوت Mazut	l	4863.0	232937.7	4.9
دیزل Diesel	l	538.0	30294.8	63.0
گاز طبیعی Natural gas	m^3	41590.3	2058721.3	43.0
روغن ماشین‌ها Machinery oil	l	120.0	5736.0	0.1
نایلون Nylon	kg	220.0	3940.2	0.1
آبرسانی Watering	m^3	851120.9	536206.2	11.2
الکتریسیته Electricity	kWh	12810.4	155005.5	3.2
سنگ آهک	kg	74384.7	118271.6	2.5
کل انرژی ورودی Total input energy			4788690.1	-
ستاده **Output**				
شکر Sugar	kg	100000	1540000	-
تفاله Scum	kg	67776.8	765877.3	-
ملاس Malas	kg	27154.2	407313.2	-
کل انرژی خروجی Total output energy			2713190.4	-

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 الکتریسیته استفاده می‌شود. مازوت نیز چهارمین نهاده پرمصرف با سهم ۴/۹ درصدی می‌باشد. از مازوت برای گرم کردن کوره آهک در کارخانه قند استفاده می‌شود. الکتریسیته 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.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

جدول (۳) 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. 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. یکی دیگر از شاخص‌های انرژی، شدت انرژی است که بیان کننده مگاژول انرژی ورودی جهت تولید یک کیلوگرم محصول است و در واقع 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. افزوده خالص انرژی در تولید شکر منفی شده است و این نشان می‌دهد که کل انرژی معادل خروجی کمتر از کل انرژی ورودی است.

جدول ۳. میزان شاخص‌های انرژی در تولید شکر.

Table 3. The energy indexes in sugar producing.

شاخص Index	واحد Unit	مقدار Value
نسبت انرژی Energy ratio	-	0.56
بهره‌وری انرژی Energy productivity	kg/MJ	0.02
شدت انرژی Energy intensity	MJ/kg	47.89
افزوده خالص انرژی Net energy gain	$MJ/100ton^{-1}$	-2075499.70

Bastani (2016) 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 Payandeh ert al (2016) 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.

تقسیم‌بندی انرژی ورودی شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید محصولات مورد مطالعه در جدول (۴) آمده است. انرژی‌های تجدیدناپذیر شامل آن دسته از انرژی‌هایی هستند که امکان تشکیل و دوباره بهره‌مندی از آن‌ها تقریبا 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 نهاده‌های مصرفی به غیر از نیروی انسانی جز منابع انرژی تجدیدناپذیر شناخته می‌شوند.

جدول ۳. دسته‌بندی انرژی‌های مصرفی در در تولید شکر.

Table 4. clustering of consumption energies in sugar producing.

Input energy انرژی ورودی	مقدار ($MJ/100ton^{-1}$) Value	ورودی Input
تجدیدپذیر Renewable	127007.4	نیروی انسانی
تجدیدناپذیر Nonrenewable	4661682.7	همه‌ی انرژی‌ها به غیر از نیروی انسانی

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

۴- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برای تولید یکصد تن شکر، به طور متوسط ۴۷۸۸۶۹۰/۱۲ 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، الکتریسیته و سنگ آهک به ترتیب با میانگین ۳۳/۷۳ ، ۱۱/۲۰ ، ۴/۹، ۳/۲ و ۲/۵ 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 ۰/۵۶ درصد، ۴۷/۹ مگاژول بر کیلوگرم، ۰/۰۲ کیلوگرم بر مگاژول و ۲۰۷۵۴۹۹/۷- مگاژول بر یکصد تن محاسبه شد. همچنین پس از بررسی انرژی‌های ورودی در تولید شکر مشخص شد که سهم انرژی‌های تجدیدشونده بسیار کم است و بیشتر انرژی لازم جهت تولید این محصولات از انرژی‌های تجدیدناپذیر تأمین می‌شود.

مراجع

Alirezalo K., & Gharehkhani, M. (2009). Comprehensive Description of Food Technology (Sugar), (First Edition): Arshad Publication, Tehran. (Persian).

Anonymous. (2016). Sugar. Iranian Sugar Factories Syndicate. No. 158.

Amid, S., Gandoshmin, T., & Rafiee, S. (2014). Study of energy consumption indices for broiler chicken breeding in Ardebil region. *1st National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources*, Tehran. (Persian).

Arjenaki Omidi, 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.

Bastani, A. (2016). Analysis and evaluation of life cycle of apple compote production in West Azerbaijan Province. M.Sc. Thesis. Ilam University. (Persian).

Blancard, S., & Martin, E. (2014). Energy efficiency measurement in agriculture with imprecise energy content information. *Energy Policy*, *66*, 198-208.

Erdal, G., Esengu, K., Erdal, H., & Gunduz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy*, 32, 35-41.

FAO. (2015). http://www.faostat.fao.org.

Ghafari Gharehbagh, A., Aghkhani, M.H., & Emadi, B. (2013). Analysis of energy and economic flow of grape production in Urmia Township by investigating on the effect of planting system and garden size. 8th *National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*, Mashhad. (Persian).

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.

Hoseinzadeh, H., Safarzadeh, D., & Ahmadi, A. (2015). Estimation of energy indicators and assessment of greenhouse gas emissions in dairy cow units. *9th national congress on Agricultural Machinery Engineering (Mechanic of Biosystems) and Mechanization*. Karaj. (Persian).

Keramati Asl, M.S., Marzban, A., & Kazemi, N. (2014). Investigation of energy consumption of sugar production in Khuzestan Province. *1st Electronic Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems.* Tehran. (Persian).

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.

Koucheki, A., & Hoseini, M. (1994). Energy efficiency in agricultural ecosystems. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. (Persian).

Mandi, F., Riahinia, S., & Asgharipour, M. (2013). Study of energy flow and economic indicators in potato production and sugar beet production systems in Khorasan Razavi Province. Ecological Agriculture Magazine*Journal of Agroecology*, 3(1), 69-82. (Persian).

Mesbahi, G. (2004). Principles of Sugar Industry. (First Edition): Elm-e-Keshavarzi Iran. (Persian).

Mirhaji, H., Khojastehpour, M.H., Abasspour Fard, M., & Mahdavi Shahri, S.M. (2011). Evaluation of resource depletion in production of sugar beet using life cycle assessment (case study: South Khorasan Province, Khezri Agricultural Stock Company. *5th National Conference and Technical Exhibition* of Environmental Engineering, Tehran. (Persian).

Molaee, K., Keyhani, A.R., Karimi, M., Kheiralipour, K., & Ghasemi Varnamkhasti, M. (2008). Energy ratio of dry land wheat, case study: Eghlid Township. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 39(1): 13-19. (Persian).

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. (2016a). Evaluation of energy efficiency of broiler production farms using data envelopment analysis technique, case study: Isfahan Province. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 74(3): 577-585. (Persian).

Payandeh, Z., Kheiralipour, K., & Karimi, K. (2016b). Investigation of the energy indicates of turkey production in Najafabad Township, *8th National Congress on Agricultural Research Findings*, Sanandej. (Persian). (Persian).

Peyman, M.H., & Nabavi Pelesaraei, A. (2015). Investigation of energy consumption and environmental indicators of a modern Shalykobi unit in Guilan Province. *9th national congress on Agricultural Machinery Engineering (Mechanic of Biosystems) and Mechanization*. Karaj. (Persian).

Pirayeh, M. (2005). Study of the economy globalization on the state of the domestic sugar market of Iran. Institution of Business Studies and Research. (Persian).

Saniz, R.D. (2003). Livestoke-enviroment initiative fossil fuels component: Farmework for calculating fossil fuel use in livestock system.

Sefidpari. P. (2012). Management and optimization of energy consumption in dairy cattle units and laying hens using fuzzy optimization methods, case study: Ray and Karaj Townships. M.Sc. Thesis. University of Tehran. (Persian).

Strapatsa, A.V., Nanos G.D., & Tsatsarelis, C.A. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystem & Environment,* 116:176-180.

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.

Teyebtaher, M., Almasi, M., & Afzali, S.M.J. (2008). Study of energy consumption in sugar cane production and providing suitable strategies for increasing productivity in a north of Khuzestan. *5th National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*, Mashhad. (Persian).

Unesi, A., Javadi, A., Rahmati, M.H. (2013). Determination of energy efficiency indices in salmon fish production (Alborz Province). *3rd Emerging Trends in Energy Conservation.* March, 2. Tehran.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران