

چرخه کامل انرژی در تولید اتانول از ملاس نیشکر در ایران

محسن غدیریان^۱، علیرضا کیهانی^{۲*}، محمود امید^۳

۱، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۲، ۳، استادان، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

(دریافت: ۱۳۹۱/۸/۷ - تصویب: ۱۳۹۲/۸/۲۱)

چکیده

در این مطالعه روند انرژی از کشت نیشکر تا تولید اتانول از ملاس، در ایران بررسی شد. با توجه به نتایج، انرژی مصرفی به ازای هر لیتر الکل، ۲۲/۳۲ مگاژول است. از این رو، مقدار نسبت انرژی (ER) برابر ۹۵ درصد و محتوای انرژی خالص (NEV)، ۱/۱۲- مگاژول است. توسعه نیافتن صنایع جانبی و صنایع تبدیلی محصولات جانبی کشت و صنعت‌های نیشکر در ایران، از دلایل بالابودن نسبی محتوای انرژی خالص است. در بین نهاده‌ها نیز سوخت مازوت که برای تولید برق در کارخانه تولید ملاس و شکر مصرف می‌گردد، با ۴۵/۷۵ درصد بیشترین سهم را دارد. پس از مازوت، برق مصرفی در مرحله تولید اتانول از ملاس و همچنین برای پمپاژ آب با ۳۴/۵۷ درصد قرار دارد. پس از آن هم نهاده‌هایی همانند سوخت دیزل، ترکیبات فسفات (سوپر فسفات تریپل)، و اوره به ترتیب بیشترین سهم را از انرژی ورودی به خود اختصاص داده‌اند. از آنجاکه هنوز صنایع جانبی و تبدیلی نیشکر در ایران شرح و بسط نیافته است و محصولات جانبی مانند سرشاخه‌های نیشکر در مزرعه و باگاس هیچ مصرفی ندارند، بنابراین، مطالعات روی تولید اتانول از ملاس یا تولید بیوگاز یا الکتروسیسته از باگاس در حیطه مدیریت ضایعات قرار می‌گیرند. در این موارد حتی اگر ER عددی کوچک‌تر از ۱ بود، با توجه به مسائل جانبی دیگر، همانند منافع زیست‌محیطی یا اشتغال‌زایی، ادامه تولید این محصولات، توجیه‌پذیر است. نوع تخصیص انرژی مصرفی به محصولات جانبی تأثیر شگرفی در مقدار ER دارد.

کلیدواژه‌گان: اتانول، انرژی، مدیریت، نیشکر.

مقدمه

گفته می‌شود. زیست‌سوخت‌های تولیدی از محصولات لیگنوسلولزی که به تکنولوژی‌های نسل دوم معروف‌اند، پتانسیل زیادی برای بالابردن عملکرد انرژی در هکتار دارند (FAO, 2008). در سال‌های اخیر تجارت اتانول ۱۰ درصد از مصرف جهانی را تشکیل داده است (FAO, 2008). برای مشخص کردن مقدار تجدیدپذیری زیست‌سوخت باید انرژی‌های لازم برای تولید زیست‌سوخت در کل چرخه حیات آن اندازه‌گیری شود. بنابراین، به راه‌هایی برای تعریف اندازه‌گیری کارایی انرژی زیست‌سوخت‌ها نیاز است (Worldwatch Institute, 2007). مقادیر زیادی از انرژی تجدیدناپذیر در عملیات کشاورزی و حمل‌ونقل برای تولید مواد بیولوژیکی و تبدیل آن‌ها به زیست‌سوخت مصرف می‌شود. انرژی فسیلی مورد نیاز برای تولید زیست‌سوخت، شاخصی کلیدی برای دانستن اندازه تجدیدپذیری انواع منابع انرژی زیست‌سوخت است. روابط ۱ و ۲ بیانگر درجه تجدیدپذیری زیست‌سوخت است. با توجه به مطالعه (Sheehan et al., 1998):

براساس ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۱، ذخایر استحصال‌پذیر نفت خام و میعانات گازی کشور ۱۵۷ میلیارد بشکه (۳۴۵۴۰ میلیارد لیتر) و مصرف فراورده‌های عمده نفتی در ایران در همین سال، ۸۳۸۳۵ میلیون لیتر بوده است. از این رو اگر همه منابع استحصال‌پذیر نفتی ایران در داخل کشور مصرف گردد و همچنین مصرف آن در سال‌های متمادی ثابت بماند، ۴۰۰ سال طول خواهد کشید تا همه این منابع به مصرف برسد. از طرفی، در سال ۱۳۹۰، ۱۱/۸ میلیارد متر مکعب گاز وارد و ۹/۵ میلیارد متر مکعب صادر شده است، یعنی کشور ما از هم‌اکنون واردکننده این محصول است (Anon., 2013). بنابراین، تولید و استفاده از سوخت‌های جایگزین در کشور ایران برای رفع وابستگی به سوخت‌های فسیلی و همچنین کاهش آلودگی هوا ضروری است. به سوخت‌های مایعی که از مواد غذایی و برای استفاده در حمل و نقل تولید می‌گردد، زیست‌سوخت نسل اول

* نویسنده مسئول: akeyhani@ut.ac.ir

FER= $\frac{\text{محتوای انرژی خروجی زیست‌سوخت}}{\text{سهم انرژی زیست‌سوخت از انرژی فسیلی ورودی}}$ (رابطه ۱)

$$\text{ER} = \frac{\text{محتوای انرژی خروجی زیست‌سوخت}}{\text{سهم زیست‌سوخت از کل انرژی ورودی}} \quad (\text{رابطه ۲})$$

اگر هیچ سوخت تجدیدپذیری در تولید زیست‌سوخت استفاده نشود، FER با ER برابر خواهد بود. راه معمول دیگر برای بیان مزایای زیست‌سوخت، مقدار انرژی خالص (NEV) است. NEV تفاوت بین مقدار انرژی زیست‌سوخت و مقدار انرژی فسیلی مصرف شده است. مزیت استفاده از NEV مشخص شدن مقدار انرژی مطلق به دست آمده است که به صورت شفاف با FER مشخص نمی‌شود (Nguyen *et al.*, 2008; Pradhan, 2010). همه مطالعات همچون اتانول مزیت‌های زیست‌سوخت‌ها را تأیید نکرده است و نتایج ضد و نقیضی از پژوهش‌های گوناگون منتشر شده است. برای مثال (Hodge, 2002) نتیجه گرفت که انرژی استفاده شده برای تولید اتانول برای گازوهول در ایالت متحده آمریکا در کل حیات آن بیشتر از محتوای انرژی آن است. (Pimentel, 2003) به این نتیجه رسید که اتانول منبع انرژی ناخالص و غیراقتصادی است و همچنین سیستم تولیدی آن تأثیر جدی بر محیط زیست می‌گذارد. از دلایل نتایج منفی این مطالعه، چگونگی تخصیص انرژی به محصول نهایی است. در مطالعه (Pimentel, 2003) برای محصولات جانبی، انرژی در نظر گرفته نشده است. همچنین مرزهای سیستم تولیدی، متفاوت از مطالعات دیگر است. در این پژوهش برای آبیاری، نیروی کاری، ادوات کشاورزی، سیمن، و آهن کارخانه‌های به‌عنوان ورودی‌ها در محاسبات انرژی در نظر گرفته شده است در صورتی که در مطالعات مشابه برای این موارد به‌عنوان ورودی، انرژی خاصی در نظر گرفته نشده است (Nguyen *et al.*, 2007; Silalertruksa & Gheewala, 2009; Nguyen *et al.*, 2008). تفاوت نتایج مطالعات ارزیابی چرخه حیات، تفاوت در مفروضات، مرزهای سیستم، منابع داده‌ها، و معادل انرژی، و حتی تفاوت در تعریف نسبت انرژی فسیلی به وسیله محققان گوناگون بوده است. دلیل اولیه برای این نتایج متناقض، تفاوت تخصیص سهم انرژی بین زیست‌سوخت و محصولات جانبی است (Pradhan, 2010). Nguyen *et al.* (2008) زنجیره کامل ارزیابی انرژی سوخت اتانول از ملاس نیشکر در تایلند را بررسی کردند. بر این اساس هرچند که آنالیز مقدار انرژی خالص (NEV) منفی است اما اتانول برپایه ملاس، اگر به‌جای استفاده از انرژی فسیلی، محصولات جانبی همانند پسماند تقطیر برای تولید انرژی وارد خط تولید انرژی شود، ظرفیت بالایی برای شرح و بسط دارد. هدف از این پژوهش، معرفی زنجیره کامل تحلیل انرژی سوخت اتانول تولیدی از ملاس نیشکر در ایران است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها: اطلاعات مورد نیاز از کاشت محصول تا تولید اتانول، از شرکت کشت و صنعت و توسعه نیشکر، کشت و صنعت کارون، و از اطلاعات ثبت شده و تکمیل پرسش‌نامه از طریق مصاحبه با مسئولان بخش‌های کشاورزی، برنامه‌ریزی کشاورزی و محیط زیست، صنعتی، سلولزی، رانندگان و صاحبان ماشین‌ها، و مسئولان مرتبط دریافت شد.

زراعت نیشکر: دوره تناوب محصول نیشکر ۲ تا ۵ ساله است. به مزرعه نیشکر در سال اول کشت مزرعه پلنت و به مزارع سال‌های بعد بازرویی (Ratoon) (راتون ۱، راتون ۲، ...) می‌گویند. عملیات آماده‌سازی زمین شامل مراحل زیر است: ۱. احداث زهکش زیرزمینی ۲. کرت‌بندی ۳. آبخوئی ۴. دیسک اولیه یا سبک (دو بار در جهت عمود برهم) ۵. ماله پشت تراکتوری (دو بار) ۶. عملیات شیارزنی (دو بار) ۷. دیسک سنگین (دو بار) ۸. ماله‌زنی (دو بار) ۹. تعیین مسیر کاشت نی ۱۰. عملیات پشته‌سازی (هم‌زمان با جوی و پشته‌سازی کوددهی فسفات‌ها نیز انجام می‌گیرد). عملیات ۱ تا ۳ در کل عمر مزرعه یک بار انجام می‌شود. بقیه عملیات در طول دوره زراعی یعنی یک سال پلنت به‌همراه ۳ تا ۷ سال بازرویی (به‌طور متوسط ۴ سال) فقط یک‌بار انجام می‌گیرد. بعد از هر برداشت، سه عملیات شیارزنی (زیرشکن)، دیسک‌زنی (دیسک راتونینگ) و عملیات ترمیم جوی و پشته انجام می‌گیرد. در زمانی که ارتفاع بوته به ۳۰ سانتی‌متر می‌رسد، عملیات هیلینگ آپ با بولدوزرهای D8 یا D9 صورت می‌گیرد.

کاشت نیشکر معمولاً به‌شکل دستی انجام می‌گیرد. قلمه‌ها از مزارع تهیه قلمه، تهیه می‌شوند و معمولاً ۱۰-۱۵ هکتار برای تهیه قلمه برای ۱۰۰ هکتار مزرعه نیشکر نیاز است. میزان آب مورد نیاز برای یک هکتار، ۲۸۰۰۰ متر مکعب است. کودهای استفاده شده، کود فسفات‌ها به‌میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌فرم سوپر فسفات تریپل و کود ازته به‌فرم کود اوره و به‌مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار هستند. آفت غالب، کرم ساقه‌خوار است که با آن به‌صورت بیولوژیکی و با دشمن طبیعی‌اش (زنبوری به‌نام تله‌نموس)، مبارزه می‌شود. ترکیبی از سموم علف‌کش برای کنترل علف‌های هرز استفاده می‌شوند. آترازین بعد از کشت نیشکر در مزارع پلنت و یا پس از برداشت نیشکر در مزارع راتون، با سم‌پاش پشت تراکتوری مصرف می‌گردد. بقیه سموم با سم‌پاش پشتی مصرف می‌گردند. در عملیات برداشت با ماشین برداشت نیشکر، ظرفیت برداشت، $35-40 \text{ ton.h}^{-1}$ است. میزان عملکرد نیشکر 80 ton.ha^{-1} است. شاخ‌وبرگ به‌میزان 20 ton.ha^{-1} در مزرعه سوزانده می‌شود که می‌توان آن را به‌جای سوزاندن، به‌عنوان منبع انرژی برای تولید

توزیع گردد، بسیار ناچیز است (Shapouri *et al.*, 2002; Shapouri & MacAloon, 2004). در تحقیقات مرتبط با انرژی در ایران نیز سهم انرژی ماشین‌ها بسیار پایین بوده است (Safaiinejad, 2010; Fadavi, 2008; Salami, 2009). انرژی مورد نیاز برای ساخت تأسیسات اتانول نیز همانند انرژی ماشین‌ها، بازی هر لیتر اتانول خیلی پایین است (Shapouri *et al.*, 2002; Shapouri & MacAloon, 2004; *al.*, 2002). سهم بسیار کمی از کل انرژی مصرفی را در برمی‌گیرد (Musavi, 2008; Safaiinejad, 2010; Fadavi, 2009). از این‌رو، انرژی کارگری در این پژوهش محاسبه نگردید. پس در این مطالعه انرژی بخش ماشینی شامل انرژی سوخت و روغن است.

برق (الکتریسیته): در رابطه با هم‌ارز انرژی الکتریسیته، با توجه به

جدول ۱ و تولید ۲۲۴۹۱۱ گیگاوات ساعت برق و تلفات ۱۴/۷۹ درصدی (Anon., 2010) خطوط انتقال، انرژی معادل یک کیلووات ساعت برق در ایران، ۱۵/۲۸ مگاژول خواهد بود.

جدول ۱. اطلاعات تولید و توزیع برق در ایران در سال ۱۳۸۹ (Anon., 2011)

سوخت مصرفی	واحد	مقدار مصرف	محتوای انرژی	ارزش حرارتی انرژی مصرفی
گازوئیل	میلیون لیتر	۵۹۱۹	۴۷/۸ MJ/lit	2928443×10^6
نفت کوره	میلیون لیتر	۸۸۵۹	۴۷/۸ MJ/lit	مگاژول
گاز طبیعی	میلیون متر مکعب	۴۴۸۹۰	۴۹/۵ MJ/m ³	

تخصیص (انرژی) به محصولات جانبی: در ایران هدف از کشت نیشکر، تولید شکر به‌عنوان محصول اصلی و اتانول، خمیرمایه و... به‌عنوان محصولات جانبی‌اند. در این پژوهش از روش تخصیص بر مبنای ارزش اقتصادی استفاده گردید. با توجه به روابط ۴ (وزنی) و ۵ (اقتصادی)، میزان تخصیص انرژی ورودی به ملاس، به‌دست می‌آید.

$$PE = \frac{M}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$PE = \frac{PM}{\sum_{i=0}^n P_i M_i} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این روابط، PE: درصد انرژی تخصیصی، P: قیمت محصول و M: وزن (یا جرم) محصول هستند. میزان تخصیص انرژی به شکر و ملاس در روش تخصیص اقتصادی به ترتیب، ۹۱/۶۲ و ۸/۳۸ درصد است. در روش وزنی، ۶۸/۵ درصد از انرژی ورودی باید به باگاس اختصاص داده شود که غیرمنطقی است، چرا که هدف از زراعت نیشکر، تولید باگاس برای سوزاندن

زیست‌سوخت (Biogas) استفاده کرد به طوری که ۵۰ درصد آن برای بهبود کیفیت خاک مزرعه باقی بماند (Gabara, 1995).

بخش صنعت: در بخش تولید شکر، محصول اصلی شکر است و ملاس و باگاس به‌عنوان محصولات جانبی تولید می‌گردند. در کارخانه‌های تولید شکر از سوخت مازوت برای تولید برق و بخار استفاده می‌شود. کارخانه‌های تولید اتانول در شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی به‌صورت سری با کارخانه‌های تولید شکر قرار گرفته‌اند و ملاس تولیدی در کارخانه تولید شکر به کارخانه تولید الکل پمپ می‌گردد، از این‌رو، برق مصرفی برای انتقال ملاس به کارخانه تولید الکل در همان مازوت مصرفی نهفته است.

نهاده‌های انرژی در تولید

بذر: برای ارزیابی انرژی بذرهای متفاوتی وجود دارد. ۱. محتوای انرژی گرمایی قلمه نیشکر به‌عنوان انرژی معادل. ۲. کم کردن مقدار بذر مصرف‌شده از عملکرد محصول. ۳. در این مطالعه، مقدار انرژی لازم برای تولید یک واحد نیشکر را در یک مزرعه پلنت محاسبه می‌کنند و از آن به‌عنوان انرژی معادل قلمه نیشکر استفاده می‌شود.

آبیاری، ابزار، ماشین‌ها، ادوات، و نیروی انسانی: در روش مستقیم، انرژی مورد نیاز برای بالا آوردن و تحت فشار قراردادن آب مورد نیاز از رابطه ۳ محاسبه می‌شود (Kitani *et al.*, 1999).

$$DE = \frac{\gamma g H Q}{\epsilon_1 \epsilon_0} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه DE: انرژی مستقیم ($J \cdot ha^{-1}$)؛ چگالی آب ($1000 \cdot kg \cdot m^{-3}$)؛ g: شتاب گرانش ($9.81 \cdot m \cdot s^{-2}$)؛ Q: میزان کل آب مورد نیاز محصول در یک فصل زراعی (به‌طور متوسط برای نیشکر، $28000 \cdot m^3 \cdot ha^{-1}$ است)؛ H: هد دینامیکی چاه (اختلاف ارتفاع بین محل پمپاژ آب و محل مصرف آن در مزرعه، به‌طور متوسط ۱۸/۵ متر)؛ ϵ_1 : بازدهی پمپ (برای پمپ‌های برقی معمولاً بین ۰/۲۲-۰/۱۸ در نظر گرفته می‌شود) و ϵ_0 : بازدهی وسیله تولید توان (الکتروموتور یا موتور دیزل) (۹۰-۷۰ درصد) (Kitani *et al.*, 1999). برای انرژی غیر مستقیم (مواد خام و انرژی مورد نیاز برای ساخت و انتقال ادوات) درصدی از انرژی مستقیم (۲۰ درصد) را در نظر می‌گیرند (Kitani *et al.*, 1999).

انرژی مورد نیاز برای تولید ماشین‌های استفاده‌شده در زراعت نیشکر در اکثر مطالعات ارزیابی انرژی نادیده گرفته شده‌اند (Silertruksa & Gheewala, 2009; Nguyen *et al.*, 2008; Renó *et al.*, 2011).

این انرژی، اگر در کل عملکرد محصولات (اصلی و جانبی) که ماشین مورد نظر در طول عمرش در زمینه آن کار می‌کند

و هدر دادن آن و همچنین آلودگی محیط زیست نیست. جدول (۲)، ورودی‌ها و خروجی‌ها از کشت نیشکر تا تولید اتانول را همراه با مقدار و هم‌ارز انرژی آن‌ها و منابع استفاده‌شده در رابطه با هم‌ارزهای انرژی را نشان می‌دهد.

جدول ۲. ورودی‌ها و خروجی‌ها از زمان کشت نیشکر تا تولید اتانول

ورودی	ورودی	هم‌ارز انرژی ^c	ورودی	مقدار (تن)	هم‌ارز انرژی ^c	خروجی	مقدار (تن)
سوخت (lit.ha ⁻¹)	دیزل	۵۰۷	نیشکر	۱۰۰		شکر	۹/۱
	روغن	۶/۷	آهک	۹		باگاس	۳۵
کود (kg.ha ⁻¹)	N	۱۶۱	P2o5	۱/۶۸		ملاس	۷
	P ₂ O ₅	۱۳۸	مازوت (لیتر)	۵۳۰۰		گل	۳۰
سم (kg.ha ⁻¹)	آترازین	۴	ملاس	۱۰۰			
	ارادیکان ^a	۴/۱۷۶	اسید سولفوریک	۰/۳۴			
	پاراکوات ^d	۰/۲۵	N	۰/۱۰۵۲		لجن	۲۷۳
	سنکور ^b	۱/۱۵۲	P2o5	۰/۰۶۵		الکل (لیتر)	۲۹۷۰۰
	تیوسان ^c	۱/۲	برق (kWh)	۱۵۰			
	گزاپاکس ^b	۱/۹					
	راندآپ	۰/۳۶					
	توفوردی	۱/۹۵					
خروجی (تن)	نیشکر	۸۰۰۰۰					

a, b, c, d: به ترتیب هم‌خانواده با تری‌آلات، سیانازین، لینورون، و دیکوات؛ e: مگاژول بر واحد؛ f: (Kitani *et al.*, 1999)؛ g: (Clark & Kelly, 2004)؛ h: (Bhat *et al.*, 1994)؛ i: (Mudahar & Hignett, 1987)؛ j: (Audsley *et al.*, 2009)؛ k: (Bhat *et al.*, 1994)؛ z: (Mudahar & Hignett, 1987)؛

نتایج و بحث

۲۴۰۱۲ مگاژول خواهد بود. در مزارع پلنت و راتون عملیات مشترکی انجام می‌شود. عملیات آماده‌سازی زمین در سال اول عملیاتی است که فقط در مزارع پلنت انجام می‌گیرد ولی در مزارع راتون انجام نمی‌پذیرد. بنابراین، در این مطالعه نهاده‌های مزارع پلنت با مزارع راتون در میزان سوخت و روغن مصرفی متفاوتند. بقیه مصارف نهاده‌های انرژی در هر دو نوع مزرعه فقط از نظر مقدار مصرف باهم تفاوت دارند. مثلاً از آن‌جاکه در سال اول کشت، مقدار و نوع علف‌های هرز با بقیه سال‌ها فرق دارد، مقدار مصرف سموم علف‌کش در مزرعه پلنت با مزرعه راتون متفاوت است. مقدار انرژی مصرفی در مزارع پلنت با توجه به جدول ۳، برابر با ۱۹۴۲۸۳ مگاژول است.

انرژی بذر (روند انرژی در مزرعه راتون): از آنجا که قلمه‌ها از مزارع پلنت تهیه می‌گردند، مقدار انرژی لازم برای تولید نیشکر در مزرعه پلنت برابر با انرژی معادل قلمه نیشکر خواهد بود. در محاسبه چرخه انرژی در مزرعه پلنت، بذر، نهاده محسوب نمی‌شود و مقدار قلمه مورد نیاز برای کشت یک هکتار، از عملکرد نیشکر کم می‌گردد. با کم کردن مقدار قلمه (۱۱ تن) از عملکرد واقعی مزرعه پلنت (۱۰۰ تن)، عملکرد مزرعه ۸۹ تن در نظر گرفته می‌شود. با توجه به جدول ۳، انرژی لازم برای تولید هر کیلوگرم قلمه نیشکر، ۲/۱۸ مگاژول خواهد بود. از این‌رو، مقدار انرژی مصرفی قلمه نیشکر در یک هکتار برابر

جدول ۳. نهاده‌های انرژی در مزرعه پلنت

نوع نهاده	واحد	مقدار	هم‌ارز انرژی (مگاژول بر واحد)	انرژی (مگاژول)	درصد
سوخت	دیزل	لیتر	۴۷/۸	۳۳۴۶۰	۱۷/۲۲
	روغن	لیتر	۴۷/۸	۳۸۲/۴	۰/۲
کل					
آبیاری	الکتریسیته	کیلووات‌ساعت	۱۵/۲۸	۱۳۴۹۲۲	۶۹/۴۵
	غیر مستقیم	مگاژول	۱	۶۳۵۲	۳/۲۷
کل					
کود و سم	P ₂ O ₅	کیلوگرم	۱۷/۵	۱۴۰۰	۰/۷۲
	ازت	کیلوگرم	۷۸/۲۳	۱۵۶۴۶	۸۰/۵
سم					
					۱۰۰
کل					۱۹۴۲۸۳

از طرفی انرژی‌های دیگر (سوخت و روغن، کود و سم، و آبیاری) در انرژی مصرفی قلمه نهفته است. اگر در جدول ۴ انرژی قلمه به انرژی‌های نهفته آن (جدول ۳) تجزیه شود، به ترتیب، آبیاری با ۷۶/۱۹ درصد و پس از آن سوخت و روغن با ۱۳/۷۹ و کود و سم با ۱۰/۰۲ درصد، نهاده‌های تشکیل‌دهنده بخش زراعت نیشکر هستند. آبیاری مزارع نیشکر به صورت سنتی با کانال‌های آبیاری انجام می‌شود. از آنجاکه بیشترین مصرف انرژی در بخش آبیاری مشاهده می‌گردد، تغییر سیستم‌های آبیاری به سیستم‌های مفیدتر و استفاده بهینه از آب پمپاژ شده نقش به‌سزایی در مدیریت مصرف انرژی در زراعت نیشکر دارد. همچنین با توجه به تک‌تک نهاده‌ها، بعد از برق مصرفی برای پمپاژ آب آبیاری (۷۲/۷۶)، سوخت دیزل (۱۳/۶۲)، و کود ازته (۶/۹۷) درصد قرار دارند.

روند انرژی در کل بخش کشاورزی: جدول ۴، نهاده‌های

انرژی در مزرعه نیشکر از زمان تهیه زمین و کاشت تا انتقال به کارخانه تولید شکر را نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، مقدار انرژی مصرفی در یک هکتار، ۲۰۸۳۴۴ مگاژول است و از آنجاکه عملکرد متوسط نیشکر، ۸۰ تن است، مقدار انرژی مصرفی، ۲/۶ مگاژول بر کیلوگرم است. این عدد، با انرژی مصرفی برای یک کیلو قلمه نیشکر (جدول ۳) متفاوت است. از آنجاکه در جدول ۴، قلمه نیشکر با ۱۱/۵۳ درصد، پس از آبیاری و سوخت به ترتیب با ۶۷/۸۱ و ۱۱/۷۹ درصد، بیشترین سهم را از نهاده‌های انرژی در مزرعه نیشکر دارد. پس از این موارد، کود و سم با ۸/۸۸ درصد بیشترین سهم نهاده‌ها را تشکیل می‌دهند. دلیل این که قلمه سهم بالایی را از ورودی‌های انرژی دارد، مصرف زیاد آن در یک هکتار (۱۱ تن) است.

جدول ۴. نهاده‌های انرژی در بخش زراعت نیشکر (در هکتار)

در صورتی که قلمه به‌عنوان یک نهاده باشد.		در صورتی که انرژی قلمه به‌اجزای آن تجزیه گردد.	
نوع نهاده	انرژی درصد	انرژی درصد	درصد
بذر (قلمه)	۲۴۰۱۳	۱۱/۵۳	-
روغن	۳۲۰	۰/۱۵	۱۳/۶۲
سوخت و روغن	۲۴۲۳۵	۱۱/۶۳	۰/۱۸
کل	۲۴۵۵۵	۱۱/۷۹	۱۳/۷۹
برق	۱۳۴۹۲۲	۶۴/۷۶	۷۲/۷۶
غیرمستقیم	۶۳۵۲	۳/۰۵	۳/۴۳
کل	۳۸۱۱۲	۶۷/۸۱	۷۶/۱۹
ازته	۱۲۵۹۵	۶/۰۵	۶/۹۷
فسفات	۲۴۱۵	۱/۱۶	۱/۲۴
کل	۱۵۰۱۰	۷/۲	۸/۲۲
سم	۳۴۹۲	۱/۶۸	۱/۸
کل	۲۰۸۳۴۳	۱۰۰	۲۰۸۳۴۴

ورودی، ۲۹۷۰۰ لیتر اتانول تولید می‌گردد، انرژی مصرفی به‌ازای هر لیتر الکل، ۲۲/۳۲ مگاژول خواهد بود. با توجه به اینکه ارزش گرمایی اتانول برابر با ۲۱/۲ (Prakash et al., 1998) مگاژول بر کیلوگرم است، نسبت انرژی (ER، رابطه ۲) برابر ۹۵ درصد خواهد بود. همچنین محتوای انرژی خالص (NEV، رابطه ۱)، ۱/۱۲- مگاژول خواهد بود. این بدان معنی است که به‌ازای هر لیتر اتانول تولیدی در سامانه تولید اتانول از ملاس نیشکر، ۱/۱۲ مگاژول انرژی از دست می‌رود. مقدار ER در شرایط مشابه در تایلند (Nguyen et al., 2008)، برابر ۱/۳۹، در مکزیک (García et al., 2011) برابر ۱/۱، در نپال (Khatiwada et al., 2009)، ۷/۴۷ و در هند (Prakash et al., 1998) برابر ۲

تولید ملاس از نیشکر و اتانول از ملاس: نهاده‌ها در این

بخش عبارت‌اند از: نیشکر، سوپر فسفات تریپل، آهک، و مازوت، و ستانده‌ها نیز عبارت‌اند از: شکر، باگاس، و ملاس. با توجه به جدول ۵، در مرحله تولید ملاس از نیشکر، بازای هر کیلوگرم ملاس همراه با محصولات جانبی، ۷۸/۲۲ مگاژول انرژی مصرف می‌گردد. براساس نحوه تخصیص انرژی (ارزش اقتصادی)، از این مقدار انرژی، ۶/۵۵ مگاژول (۷۸/۲۲ × ۱۰۸۳۸) به ملاس اختصاص می‌یابد. بنابراین، انرژی مصرفی برای تولید هر کیلوگرم ملاس، ۶/۵۵ مگاژول خواهد بود.

جدول ۵، نهاده‌های انرژی را در مرحله تولید اتانول از ملاس نیشکر نشان می‌دهد. از آنجاکه بازای هر ۱۰۰ تن ملاس

محصولات جانبی (استفاده از باگاس به جای مازوت در تایلند و مکزیک)، و همچنین ارزش اقتصادی متفاوت محصولات جانبی (که منعکس کننده میزان پیشرفت صنایع جانبی و تبدیلی است)، در این کشورهاست.

به دست آمده است. عمده ترین دلایل این همه تغییر، تفاوت در نهاده های مصرفی (در ایران کود پتاسه یا آهک مصرف نمی شود)، تفاوت در عملکرد محصول، چگونگی تخصیص انرژی (تخصیص براساس محتوای انرژی در مکزیک)، استفاده از

جدول ۵. نهاده های انرژی برای تولید یک کیلوگرم ملاس و تولید اتانول (بازای ۱۰۰ تن ملاس)

ورودی	مقدار	هم ارز انرژی (مگاژول بر واحد)	انرژی (MJ)	درصد	ورودی	مقدار	هم ارز انرژی (مگاژول بر واحد)	انرژی (MJ)	درصد
ملاس (ton)	۱۰۰۰۰۰	۶/۵۵	۶۵۵۴۵۹	۹۸/۸۷	نیشکر (kg)	۱۴/۲۹	۲/۶	۳۷/۲	۴۷/۵۷
N(kg)	۵۱/۷۸	۷۸/۲۳	۴۰۵۱	۰/۶۱	آهک (kg)	۱/۲۹	۰/۵۳	۰/۶۸	۰/۸۷
P ₂ O ₅ (kg)	۶۵/۳۲	۱۷/۵	۱۱۴۲	۰/۱۷	P2O5 (kg)	۰/۲۴	۱۷/۵	۴/۱۴	۵/۲۹
برق (kWh)	۱۵۰ کیلووات ساعت	۱۵/۲۸	۲۲۹۲	۰/۳۵	مازوت (lit)	۰/۷۶	۴۷/۸	۳۶/۱۹	۴۶/۲۷
جمع (MJ)			۶۶۲۹۴۳	۱۰۰	کل			۷۸/۲۲	۱۰۰

همچنین برای پمپاژ آب با ۳۴/۵۲ درصد قرار دارد. پس از آن هم نهاده هایی چون سوخت دیزل، ترکیبات فسفات (سوپر فسفات تریپل)، و اوره به ترتیب بیشترین سهم را از انرژی ورودی دارند.

جدول ۶. نهاده های انرژی از کاشت محصول تا تولید اتانول بازای تولید ۱۰۰

لیتر اتانول			
عملیات	نهاده	انرژی (مگاژول)	درصد
تولید نیشکر	سوخت (دیزل)	۱۴۴/۷۹	۶/۴۸
	آبیاری (برق)	۷۶۳/۸۲	۳۴/۱۷
	آبیاری (تجهیزات)	۳۵/۹۶	۱/۶۱
	کود از ته	۷۳/۲	۳/۲۷
	کود فسفات	۱۳/۰۴	۰/۵۸
تولید ملاس	سم	۱۸/۹۱	۰/۹۹
	کل	۱۰۵۲/۸۹	۴۷/۱
	آهک	۱۹/۲۳	۰/۸۶
تولید اتانول	P2O5	۱۱۶/۸۱	۵/۲۳
	سوخت مازوت	۱۰۲۱/۱۶	۴۵/۷۵
	کل	۹۸۰/۴۴	۵۱/۸۴
تولید اتانول	N	۱۳/۶۴	۰/۶۱
	P2O5	۳/۸۴	۰/۱۷
	برق	۷/۷۲	۰/۳۵
کل		۲۵/۲	۱/۱۳
کل		۲۲۳۲	۱۰۰

نتیجه گیری

با توجه به نتایج، انرژی مصرفی بازای هر لیتر الکل، ۲۲/۳۲ مگاژول است. مقدار نسبت انرژی (ER) برابر ۹۵ درصد و همچنین محتوای انرژی خالص (NEV)، ۱/۱۲- مگاژول است. از آنجاکه که هنوز صنایع جانبی و تبدیلی نیشکر در ایران شرح و بسط نیافته است و محصولات جانبی همچون سرشاخه های نیشکر در مزرعه، باگاس و محصول گل ماندی به نام پسماند تقطیر، هیچ مصرفی ندارند، بنابراین، مطالعات بر تولید اتانول از ملاس یا تولید بیوگاز یا الکتروسیته از باگاس در حیطه مدیریت ضایعات قرار می گیرند. در این موارد حتی اگر ER عددی کوچکتر از ۱ بود، با توجه به مسائل جانبی دیگر مانند منافع زیست محیطی و یا اشتغال زایی، ادامه تولید این محصولات، توجیه پذیر است. نوع تخصیص انرژی مصرفی به محصولات جانبی تأثیر شگرفی در مقدار ER دارد. امروزه، از آنجاکه اکثر باگاس تولیدی سوزانده می شود و این منبع غنی انرژی به هدر می رود، در تخصیص انرژی ورودی به سیستم، باگاس سهمی ندارد.

با شرح و بسط صنایع جانبی و افزایش ارزش اقتصادی باگاس و ملاس، نحوه تخصیص انرژی به محصولات جانبی نیز می بایست تغییر کند. به نظر می رسد در شرایط صنایع شرح و بسط یافته که محصولات جانبی از نظر اقتصادی برای رقابت با محصول اصلی مناسب هستند، ترکیبی از تخصیص به روش وزنی و محتوای

روند انرژی در چرخه تولید اتانول از ملاس نیشکر:

جدول ۶، روند انرژی مصرفی از زمان کاشت نیشکر تا تولید اتانول را بازای ۱۰۰ لیتر اتانول تولیدی، به تفکیک مراحل کاری نشان می دهد. با توجه به این جدول، مراحل تولید ملاس، کشت نیشکر، و تولید اتانول به ترتیب ۵۱/۸۴، ۴۷/۱، و ۱/۱۳ درصد از نهاده های انرژی را به خود اختصاص داده اند. در بین نهاده ها نیز سوخت مازوت که برای تولید برق در کارخانه تولید ملاس و شکر مصرف می گردد با ۴۵/۷۵ درصد بیشترین سهم را دارد. پس از مازوت برق مصرفی در مرحله تولید اتانول از ملاس و

انرژی حرارتی در کارخانه‌های تولید شکر و اتانول گردد. در این صورت مقدار زیادی از انرژی ورودی سامانه در داخل آن تهیه و انرژی ورودی به سامانه کاسته می‌شود و سامانه از نظر کارایی انرژی، بهبود خواهد یافت. برای افزایش کارایی انرژی سامانه، می‌بایست برای استفاده بهینه از سایر منابع غنی انرژی در درون سامانه نیز برنامه‌ریزی نمود. راه‌حل پیشنهادی استفاده از پسماند تقطیر برای تولید زیست‌سوخت و سرشاخه‌های نیشکر برای تولید زیست‌سوخت و یا منبع سوخت بویلرهای تولید برق در بخش صنعتی سامانه است.

REFER NCES

- Anonymous, (2011). Energy balance in 2011. Power and Energy Affairs Ministry. (In Farsi).
- Anonymous, (2013). Energy balance in 2011. Power and Energy Affairs Ministry. (In Farsi).
- Anonymous. (2010). Detailed statistics of the power industry, power generation in 2010. Tavanir Holding Company, Vice President of Human Resources and Research. (In Farsi).
- Audsley, E., Stacey, K., Parsons, D. and Williams, A. (2009). Estimation of the greenhouse gas emissions from agricultural pesticide manufacture and use. Cranfield University, Cranfield, Bedford, MK43 0AL.
- Bhat, M. G., English, B. C. and Tur, A. F. (1994). Energy and synthetic fertilizers and pesticides: Revisited (Vols. TN 37901-107). Department of Ekonopolics and Rural Sociology, University of Tennessee, Knoxville.
- Clark, W. G. and Kelly, E. P. (2004). Energy efficiency in fertilizer production and use, in *Efficient Use and Conservation of Energy*, [Eds. Clark W. G. and K. Blok], in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Developed under the Auspices of the UNESCO, Eolss Publishers, Oxford ,UK, [http://www.eolss.net].
- Fadavi, R. (2008). Indices of mechanization and energy in apple orchards and their relation to economic efficiency (Case study: city of Urmia). M. Sc. dissertation, University of Tehran. (In Farsi)
- FAO. (2008). Bioenergy, food security and sustainability – towards an international framework. High-level conference on world food security: The challenges of climate change and bioenergy. Rome 3 -5 June.
- Gabara, M. (1995). Sugarcane Residual Fuels: a viable substitute for fossil fuels in the Tanzanian sugar industry. *Renewable Energy for Development*, 8 (2), 1101-8267.
- García, C. A., Fuentes, A., Hennecke, A., Riegelhaupt, E., Manzini, F. and Masera, O. (2011). Life-cycle greenhouse gas emissions and energy balances of sugarcane ethanol production in Mexico. *Applied Energy*, 88, 2088-2097.
- Hodge, C. (2002). Ethanol use in US gasoline should be banned, not expanded. *Oil and Gas Journal*, OGI, 200/100.
- Khatiwada, D. and Silveira, S. (2009). Net energy balance of molasses based ethanol: The case of Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13, 2515-2524.
- Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R. M. and Ramdani, A. (1999). *Handbook of agricultural engineering* (Vol. 5), Energy & Biomass Engineering, the American Society of Agricultural Engineers.
- Mudahar, M.S. and Hignett, T.P. (1987). Energy requirements, technology and resources in the fertilizer sector. In Z.R. Helsel. Energy in plant nutrition and pest control. *Energy in World Agriculture 2*, Elsevier, Amsterdam.
- Musavi, S. H. (2009). Comparison and analysis of the energy consumption pattern of mechanization in the production of soybean, rapeseed and sunflower in the city of Gorgan, Aliabad and Stigma in Golestan province. M. Sc. Thesis, University of Tehran. (In Farsi)
- Nguyen, T. L., Gheewala, S. H. and Garivait, S. (2007). Full chain energy analysis of fuel ethanol from cassava molasses in Thailand. *Environ. Sci. Technol*, 41, 4135-4142.
- Nguyen, T. L., Gheewala, S. H. and Garivait, S. (2008). Full chain energy analysis of fuel ethanol from cane molasses in Thailand. *Applied Energy*, 85, 722-734.
- Pimentel, D. (2003). Ethanol fuels: Energy balance, economics, and environmental impacts are negative. *Natural Resources Research*, 12 (2), 127-134.
- Pradhan, A. (2010). Life cycle analysis of soybean biodiesel production. Ph. D. dissertation, University of Idaho.
- Prakash, R., Henham, A. and Bhat, I. K. (1998). Net energy and gross pollution from bioethanol production in India. *Fuel*, 77 (14), 1629-1633.
- Renó, M. L., Lora, E. E., Palacio, J. C., Venturini, O. J., Buchgeister, J. and Almazan, O. (2011). A LCA (life cycle assessment) of the methanol production from sugarcane bagasse. *Energy*, 36, 3716-3726.
- Safaiinejad, M. (2010). The trend of energy consumption and economic efficiency of maize production in the city Kouhdasht. M. Sc. dissertation, University of Tehran. (In Farsi)
- انرژی محصولات روش مطلوبی است. در زمان حاضر اگر فرض کنیم که از باگاس استفاده خاصی نشود (مقدار تخصیص انرژی مصرفی به آن همان صفر باشد)، اما صنایع تبدیلی ملاس شرح‌وبسط یابد و قیمت ملاس افزایش یابد، مقدار تخصیص انرژی به ملاس نیز افزایش می‌یابد و مقدار انرژی خالص دریافتی بازهم منفی‌تر می‌گردد. زمانی که درصد تخصیص انرژی بین ملاس و شکر به نرخ (۱۱/۶۲ به ۸۸/۳۸) برسد یعنی قیمت شکر تقریباً ۸/۶ برابر ملاس شود، ER برابر یک می‌گردد. راه حل پیشنهادی این است که باگاس جایگزین مازوت برای تولید

- Salami, P. (2009). Analysis of energy input - output and wasted in strawberry production in Kurdistan. M. Sc. Thesis, University of Tehran. (In Farsi).
- Shapouri, H. and MacAloon, A. (2004). The 2001 net energy balance of corn ethanol. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture.
- Shapouri, H., Duffield, J. A. and Wang, M. (2002). The energy balance of corn ethanol: an update/ AER-813. U.S. Department of Agriculture, Washington, DC: Office of Energy Policy and New Uses.
- Sheehan, J., Comobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. and Shapouri, H. (1998). Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. NREL/SR-580-24089 Golden, CO: National renewable energy laboratory. U.S. Department of Energ.
- Silalertruksa, T. and Gheewala, S. H. (2009). Environmental sustainability assessment of bio-ethanol production in Thailand. *Energy*, 34, 1933-1946.
- Worldwatch Institute. (2007). Biofuels for transport: global potential and implications for sustainable energy and agriculture. Earthscan, London. Sterling, VA.