تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی/جلد ۱۹/ شماره ۷۱/ پاییز و زمستان ۱۳۹۷/ص ۴۲-۲۹

بررسی انرژی مصرفی در تولید چای سیاه در کارخانه‌های چای‌سازی

سیدبابک صلواتیان[1*]، کوروش مجد سلیمی[2] و ارژنگ جوادی[3]

۱ و ۲- به ترتیب: محققین بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، پژوهشکده چای، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لاهیجان، ایران

۳- استاد موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۳/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۷

چکیده

این پژوهش به‌منظور تعیین میزان انرژی مصرفی در مراحل مختلف فرآوری چای سیاه در کارخانه‌های چای‌سازی استان گیلان اجرا شده است. انرژی مستقیم (انرژی حرارتی و الکتریسیته) و انرژی غیر مستقیم (انرژی نیروی انسانی، استهلاک و روان‌کننده‌ها) در ۹ کارخانه چای‌سازی شامل ٤ کارخانه گازوئیل سوز و ٥ کارخانه گازسوز، اندازه‌گیری و ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد انرژی مصرفی در فرآیند تولید چای سیاه مربوط به انرژی حرارتی است که از این مقدار، ۳۱ درصد در مرحلهٔ پلاس و ٦۹ درصد در مرحلهٔ خشک‌کردن مصرف می‌شود. مقدار انرژی حرارتی مصرفی در کارخانه‌های چای‌سازی گازسوز حدود ٥ درصد کمتر از کارخانه‌های گازوئیل سوز به‌دست آمد. سهم انرژی الکتریکی از کل انرژی مصرفی در فرآیند تولید چای سیاه، ۲۸ درصد است؛ عملیات پلاس و مالش و کورهٔ هوای گرم به ترتیب با ٥۸/١٦، ١٦/٥۸ و ۱۱/۳۹ درصد بیشترین مقدار مصرف انرژی الکتریکی در فرآیند تولید چای سیاه را دارند. نیروی انسانی، کمترین سهم انرژی مصرفی در تولید چای سیاه در کارخانه‌های چای‌سازی را دارد. عوامل مهم و مؤثر بر تلفات انرژی در کارخانه‌های چای‌سازی عبارت‌اند از: طراحی نامناسب کوره‌ها فرسودگی کوره‌ها، استفاده نکردن از عایق‌بندی مناسب در کوره‌ها و ساختار نامناسب قطعات مکانیکی. طراحی کوره‌های جدید متناسب با سوخت مصرفی، عایق‌بندی کوره‌ها و دستگاه‌های خشک‌کن موجود، اصلاح سیستم برق کارخانه‌های چای‌سازی می‌تواند نقشی مهم در کاهش مصرف انرژی در فرآیند تولید چای سیاه داشته باشد.

واژه‌های کلیدی

بهینه‌سازی انرژی، تلفات انرژی، شاخص انرژی، فرآوری چای، کیفیت چای

مقدمه

به‌طورکلی فرآوری چای یعنی فرآیند خشک‌کردن برگ‌های سبز چای که باعث می‌شود رطوبت برگ‌های تازه برداشت شده از حدود ۸۳ به ۳ درصد پایهٔ خشک کاهش یابد (Anon, 2002a).

فرآوری چای شامل مراحل پلاس، مالش، تخمیر، خشک‌کردن و درجه‌بندی است. فرآوری چای فرآیندی است که به انرژی زیاد حرارتی و انرژی الکتریکی با نسبت ۸۵ به ۱۵ نیاز دارد (این نسبت تنها مربوط به انرژی مستقیم است) (Baruah *et al.*, 2012). بررسی انرژی مصرفی در کارخانه‌های چای‌سازی در کشورهای هند، سریلانکا و ویتنام نشان می‌دهد که انرژی مصرفی در صنایع چای‌سازی ۳ درصد از کل انرژی مصرفی در این کشورها است (Anon, 2002b). در این کشورها، انرژی الکتریکی مورد نیاز ماشین‌ها در مراحل مختلف چای‌سازی بین ۴ تا ۷ کیلووات ساعت (۱۴/۴ تا ۲۵/۲ مگاژول) بر

* نگارنده مسئول: salvation@yahoo.com

http://doi: 10.22092/erams.2017.106506.1100

Archive of SID

www.SID.ir

کیلوگرم چای سیاه گزارش شده است. هم‌چنین، دامنهٔ مصرف انرژی به‌ازای هر کیلوگرم چای سیاه بین ۴ تا ۱۸ کیلووات ساعت (۱۴/۴ تا ۶۴/۸ مگاژول) است (Anon, 2002b).

چوب (هیزم) منبع اصلی و ارزان انرژی در صنعت چای‌سازی برخی از کشورها مانند سریلانکا و هند است (Jayah *et al*., 1999). در هند، هر کیلوگرم چای سیاه به ۳/۵ تا ۶ کیلووات ساعت (۱۲/۶ تا ۲۱/۶ مگاژول) انرژی حرارتی و ۰/۲ تا ۰/۵ کیلووات ساعت (۰/۷۲ تا ۱/۸ مگاژول) انرژی الکتریکی نیاز دارد (Kumar *et al*., 2004) اما در سریلانکا، انرژی حرارتی مورد نیاز بین ۴/۴۵ تا ۶/۸۴ کیلووات ساعت (۱۶ تا ۲۴/۶ مگاژول) و در ویتنام ۱۰ کیلووات ساعت (۳۶ مگاژول) به‌ازای هر کیلوگرم چای سیاه گزارش شده است (Baruah *et al*., 2012). هیزم مصرفی در هند ۱/۹ کیلوگرم به‌ازای هر کیلوگرم چای سیاه است (Anon, 2012) در حالی‌که این مقدار در تانزانیا ۳/۶ کیلوگرم به‌ازای هر کیلوگرم چای سیاه گزارش شده است. در سریلانکا، میزان انرژی مورد نیاز حدود ۲۲/۴ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه به‌دست آمده که سهم انرژی حرارتی ۹۵ درصد و الکتریکی ۵ درصد است (Jayah *et al*., 1999).

از نظر تئوری، خارج کردن رطوبت از یک کیلوگرم چای سیاه به ۶/۸۴ مگاژول انرژی نیاز دارد. هرچند در عمل میزان انرژی مورد نیاز برای خشک کردن یک کیلوگرم چای خشک به ۱۴/۴ تا ۳۷/۵۴ مگاژول برآورد می‌گردد که این میزان بستگی به نوع فرآیند چای‌سازی، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه دارد (Anon, 2002a). میزان انرژی مورد نیاز برای خشک‌کردن ۱۱/۷ تا ۱۸ مگاژول به‌ازای یک کیلوگرم چای سیاه است که این میزان ۷۵ تا ۸۵ درصد انرژی حرارتی و به‌طور کلی ۵۰ تا ۷۰ درصد کل انرژی مورد نیاز برای فرآیند چای‌سازی را تشکیل می‌دهد. هم‌چنین، به‌دلیل بی‌توجهی به مشکلات مصرف انرژی در کارخانه‌های چای‌سازی، این صنایع سهم بالایی در آلودگی محیط زیست دارند به‌طوری‌که میزان انتشار گاز دی اکسید کربن کارخانه‌های چای‌سازی در هند، سریلانکا و ویتنام به‌ترتیب ۱/۳۵۲ و ۰/۷۰۸ و ۰/۰۸۵ میلیون تن در سال برآورد شده است. دی‌اکسید سولفور حاصل از سوخت هیزم در کارخانه‌های چای‌سازی نیز یکی دیگر از منابع آلایندهٔ محیط‌زیست است که موجب بارش باران‌های اسیدی می‌شود (Anon, 2002a).

نتایج بررسی اثر عملیات پلاس طبیعی بر میزان مصرف انرژی در ویتنام نشان می‌دهد که این عملیات ۱۰ درصد از کل مصرف انرژی در تولید چای سیاه را کاهش می‌دهد. در این تحقیق گفته شده است که برای تولید ۶۰۰ تن محصول چای سیاه، ۳۰۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی الکتریکی (۱۰۸۰۰۰ مگاژول) و ۹۰ تن زغال سنگ صرفه‌جویی شده است که این مقدار صرفه جویی در مصرف انرژی به کاهش میزان آلودگی محیط زیست نیز کمک کرده است (Dinh Son, 2000).

در مطالعه‌ای در هند، قدمت فناوری با راندمان پایین در صنعت چای‌سازی را عامل مهمی در مصرف انرژی زیاد و هزینهٔ بالای تولید چای خشک گزارش کرده‌اند. در این مطالعه با تمهیداتی مانند استفاده از دمنده‌های با جریان متغیر، پایین آوردن حرارت دود خروجی، افزایش راندمان توان و استفاده از کورهٔ چند مرحله‌ای توانستند انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را به‌ازای هر کیلوگرم چای خشک از ۲/۱۷ به ۱/۹۶ کیلوگرم برسانند (۹/۵۲ درصد کاهش) و کل مصرف انرژی برای تولید چای سیاه را به میزان ۱۱ درصد کاهش دهند (Ganapathy Sundaram & Senthil Kumar, 2002).

چالش اصلی کارخانه‌های چای در ایران هزینهٔ بالای انرژی و نیروی کارگری، قدیمی بودن کارخانه‌ها، فرسوده بودن قطعات و دستگاه‌های فرآوری چای و بالا بودن مصرف انرژی و هزینه‌ها است که باعث کاهش بازده

Archive of SID

www.SID.ir

اقتصادی و پایین آمدن تولید چای می‌شود. این مشکلات باعث شده است تا در حال حاضر از ۱۸۰ کارخانهٔ چای‌سازی فقط تعدادی از آنها به‌صورت فصلی به تولید چای بپردازند. رفع مشکلات معیشتی و افزایش درآمد ذی‌نفعانِ کشت و تولید چای یکی از اولویت‌های اصلی برنامه‌ریزان در این صنعت است و هر سیاستی که باعث کاهش هزینهٔ تولید و فرآوری چای شود موجب بازگشت تمام ذی‌نفعان کشت و صنعت چای به‌خصوص کارخانه‌داران چای به عرصه تولید و مشارکت برای دستیابی دولت به اهداف چشم‌انداز ملی خواهد شد. استفادهٔ بهینه از انرژی مزایای زیادی دارد مانند: کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در زیر ساخت‌های انرژی، کاهش وابستگی به نفت خام، افزایش سود و حفاظت از محیط زیست. در این مقاله، میزان انرژی مصرفی و راه‌های بهینه‌سازی آن در مراحل مختلف فرآوری در کارخانه‌های چای‌سازی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

جامعهٔ آماری این تحقیق شامل کارخانه‌های چای‌سازی است که در سال ۱۳۹۳ در استان گیلان از آنها بهره‌برداری شده است. با توجه به مشکلات فنی و اجرایی موجود، ۹ کارخانه چای مورد نظر به‌صورت تصادفی خوشه‌ای بر اساس نوع سوخت مصرفی (گازوئیل یا گاز) و نوع کوره (عمودی یا افقی) در مناطق چای‌کاری استان گیلان انتخاب شد (جدول ۱).

انرژی مصرفی در کارخانه‌های چای‌سازی می‌تواند به انرژی مستقیم و غیر مستقیم تقسیم‌بندی شود. منابع انرژی مستقیم شامل گاز، گازوئیل و انرژی الکتریکی و منابع انرژی غیرمستقیم شامل آن دسته از انرژی‌هایی است که برای ساخت، تعمیر و نگهداری ماشین‌ها، نیازهای نیروی انسانی، حمل و نقل و روغن و روان کننده‌ها مصرف می‌شود.

مصرف انرژی در هر کارخانهٔ چای‌سازی در این مراحل مشخص و اندازه‌گیری شد: مرحلهٔ پلاس (انرژی الکتریکی و حرارتی)، مالش (انرژی الکتریکی)، تخمیر (انرژی الکتریکی)، خشک کردن (انرژی الکتریکی و حرارتی)، درجه‌بندی و بسته‌بندی (انرژی الکتریکی) و روشنایی و امور اداری (انرژی الکتریکی). برای افزایش دقت، اندازه‌گیری‌ها در هر کارخانه سه مرتبه و در سه مرحلهٔ کامل تولید تکرار شد.

جدول ۱- مشخصات کوره‌های مورد استفاده در کارخانه‌های چای‌سازی مورد مطالعه

نام کارخانه	نوع مشعل	کوره هوای گرم خشک‌کن	کوره هوای گرم تراف
F1(G)	اتوماتیک، تک زمانه	غیر مستقیم، ایستاده	غیر مستقیم، ایستاده
F2(G)	اتوماتیک، تک زمانه	غیر مستقیم، ایستاده	غیر مستقیم، ایستاده
F3(G)	اتوماتیک، تک زمانه	غیر مستقیم، ایستاده	غیر مستقیم، ایستاده
F4(G)	اتوماتیک، تک زمانه	مستقیم	مستقیم
F5(NG)	اتوماتیک، دو زمانه	غیر مستقیم، خوابیده	غیر مستقیم، خوابیده
F6(NG)	اتوماتیک، تک زمانه	غیر مستقیم، خوابیده	غیر مستقیم، خوابیده
F7(NG)	اتوماتیک، دو زمانه	غیر مستقیم، خوابیده	غیر مستقیم، خوابیده
F8(NG)	اتوماتیک، دو زمانه	غیر مستقیم، خوابیده	غیر مستقیم، خوابیده
F9(NG)	اتوماتیک، دو زمانه	مستقیم پیش گرمکن‌دار	مستقیم پیش گرمکن‌دار

سوخت کارخانه‌ها: G: گازوئیل، NG: گاز طبیعی

Archive of SID

www.SID.ir

اندازه‌گیری سوخت مصرفی

به‌منظور اندازه‌گیری مصرف سوخت کوره‌های هوای گرم گازسوز، از کنتور روتاری مدل TZ50 (با دقت ۱ متر مکعب در ۱۰۰ متر مکعب) و برای کوره‌های گازوئیل‌سوز از کنتور گازوئیل (با دقت ۰/۱ لیتر در ۱۰ لیتر) استفاده شد. برای هر کوره، بعد از نصب کنتور، اندازه‌گیری برای سه دورهٔ متوالی چای‌سازی تکرار شد. این عملیات شامل اندازه‌گیری مصرف سوخت بر حسب زمان کارکرد و میزان چای فرآوری شده (چای سیاه) توسط دستگاه خشک‌کن است. مقدار انرژی معادل سوخت بر اساس اندازه‌گیری‌ها، برای هر یک از عملیات پلاس و خشک کردن، با در نظر گرفتن انرژی ویژهٔ گازوئیل برابر با ۴۷/۸ مگاژول بر لیتر و گاز طبیعی برابر با ۴۹/۵ مگاژول بر متر مکعب (Kitani, 1999)، محاسبه شد.

اندازه‌گیری انرژی الکتریکی: برای اندازه‌گیری انرژی الکتریکی مصرفی، پس از نصب حسگرهای وات بر ساعت (Watt node) روی مسیر انتقال نیرو، مقدار مصرف انرژی الکتریکی به کمک یک دستگاه دیتالاگر (XR_5) ثبت شد. مقدار انرژی الکتریکی مصرفی پس از اندازه‌گیری و ثبت انرژی الکتریکی برای هریک از مراحل پلاس، مالش، تخمیر، خشک‌کردن، درجه‌بندی و بسته‌بندی و روشنایی (کارخانه و اداری)، با استفاده از معادل انرژی الکتریکی،۱۲ مگاژول بر کیلووات ساعت (Kitani, 1999) محاسبه شد.

اندازه‌گیری تلفات انرژی در بدنهٔ کوره‌ها و خشک‌کن‌ها: برای اندازه‌گیری انرژی حرارتی تلف شده از طریق بدنهٔ خشک‌کن، از رابطهٔ ۱ استفاده شد:

$$HL = \{10+(St-At)/20\}\times(St-At) \qquad (۱)$$

که در آن،

HL= انرژی حرارتی تلف شده (کیلوکالری بر ساعت بر متر مربع)؛ St= دمای سطح (درجه سلسیوس)؛ و At= دمای محیط (درجه سلسیوس). پس از تعیین تلفات انرژی از طریق بدنهٔ کوره‌ها و خشک‌کن‌ها، مقادیر با استفاده از رابطهٔ 1cal=4.18 joule به واحد ژول تبدیل شدند.

اندازه‌گیری انرژی نیروی انسانی: برای اندازه‌گیری میزان انرژی معادل کار نیروی انسانی، تعداد نفر ساعت کار مفید نیروی انسانی برای تولید چای خشک در شبانه روز، در ساعت و بر حسب کیلوگرم برای هر یک از مراحل تولید اندازه‌گیری و معادل انرژی آن از طریق ضرایب ۱/۹۶ مگاژول بر ساعت برای کارگر مرد (Dagistan *et al.*, 2009) و ۱/۵۷ مگاژول برای کارگر زن (Singh & Chandra, 2001) برآورد گردید.

اندازه‌گیری انرژی غیر مستقیم روغن و روان کننده‌ها: ماشین‌های مورد استفاده در فرآیند چای‌سازی قطعاتی دارند با حرکت‌های رفت و برگشتی یا چرخشی؛ برای روان‌سازی این قطعات متحرک نیاز به روغن‌کاری خواهد بود. مواد روان کنندهٔ مورد استفاده در کارخانه‌های چای‌سازی شامل روغن موتور، روغن جعبه دنده، گریس و پارافین پس از اندازه‌گیری، با استفاده از معادل انرژی ۴۳/۸ مگاژول بر لیتر (Nagy, 1999) به انرژی معادل روغن و روان کننده مصرفی تبدیل شد:

$$E_l = V_l * 43.8 \qquad (۲)$$

که در آن،

E_l = انرژی معادل روان کننده؛ V_l = حجم روان کنندهٔ مصرف شده بر حسب لیتر؛ و ۴۳/۸= عدد ثابت (انرژی معادل روان کننده).

اندازه‌گیری انرژی لازم برای ساخت و نگهداری ماشین‌ها: انرژی ساخت و نگهداری بر اساس وزن و جنس مواد تشکیل دهنده ماشین محاسبه و سپس در نتایج بر اساس واحد انرژی به‌ازای هر کیلوگرم چای خشک (بر اساس زمان عمر مفید و ظرفیت دستگاه در زمان عمر

Archive of SID

www.SID.ir

مفید) بیان شده است. برای محاسبه از ضرایب: ۶۲/۸ مگاژول بر کیلوگرم برای محصولات آهنی، ۸/۴ مگاژول بر کیلوگرم (Doering, 1980) برای ساخت قطعات و مونتاژ، ۳۷/۷ مگاژول بر کیلوگرم (Fluck & Baird, 1980) برای تعمیر و تنظیم‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

انرژی حرارتی

جدول ۲ انرژی مستقیم سوخت مصرفی (انرژی حرارتی حاصل از سوختن گاز و گازوئیل) در مرحلهٔ پلاس و خشک کردن برگ سبز چای در کارخانه‌های چای‌سازی را نشان می‌دهد. مقایسهٔ بین میانگین مقدار انرژی حرارتی مصرفی در مراحل پلاس و خشک‌کردن در دو گروه کارخانه‌های گازوئیل سوز (۴۳/۴۹ مگاژول بر کیلوگرم چای خشک) و گازسوز (۳۲/۱۷ مگاژول بر کیلوگرم چای خشک) نشان می‌دهد که مقدار انرژی حرارتی در کارخانه‌های با سوخت گاز حدود ۵ درصد کمتر از کارخانه‌های با سوخت گازوئیل بوده که با توجه به آزمون K^2، این تفاوت معنی‌دار است (جدول ۲). از کل انرژی حرارتی مصرفی در فرآیند تولید چای خشک (۳۳۴/۸۵ مگاژول بر کیلوگرم چای خشک)، ۳۱ درصد در مرحلهٔ پلاس و ۶۹ درصد در مرحلهٔ خشک‌کردن مصرف می‌شود. در خوشه صنعت چای جورهات در آسام هندوستان گزارش شده است که ۶۲ درصد انرژی حرارتی مصرفی در تولید چای خشک در مرحلهٔ خشک‌کردن چای و ۳۸ درصد آن مربوط به مرحله پلاس است (Bhutia, 2010). با توجه به مشابه بودن نوع کوره‌های مورد استفاده در ایران و هند، اعداد به‌دست آمده دور از انتظار نیست.

جدول ۲- سوخت مصرفی و معادل انرژی سوخت در مراحل پلاس و خشک کردن در کارخانه‌های چای‌سازی

نام کارخانه	سوخت مصرفی (لیتر بر کیلوگرم چای خشک)			انرژی معادل (مگاژول بر کیلوگرم چای خشک)
	پلاس	خشک کردن	جمع	
F1(G)	۰/۳	۰/۸	۱/۱	۵۲/۵۸
F2(G)	۰/۳۲	۰/۶۱	۰/۹۳	۴۴/۴۵
F3(G)	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۸۳	۳۹/۶۷
F4(G)	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۷۸	۳۷/۲۸
میانگین	۰/۲۸	۰/۶۳	۰/۹۱	۴۳/۴۹
F5(NG)	۰/۱۸	۰/۴۴	۰/۶۲	۳۰/۶۹
F6(NG)	۰/۲۴	۰/۶۷	۰/۹۱	۴۵/۰۴
F7(NG)	۰/۲۱	۰/۴۷	۰/۶۸	۳۳/۶۶
F8(NG)	۰/۲۲	۰/۳۸	۰/۶	۲۹/۷
F9(NG)	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۴۴	۲۱/۷۸
میانگین	۰/۲	۰/۴۵	۰/۶۵	۳۲/۱۷

بررسی کارخانه‌های چای‌سازی در این پژوهش نشان می‌دهد که نواقص موجود در کوره‌های هوای گرم تأمین‌کنندهٔ انرژی حرارتی برای خشک‌کن‌ها، ساختار دستگاه‌های خشک‌کن و طراحی و ساختار ماشین‌آلات

www.SID.ir

موجود در کارخانه‌ها، نقش مهمی در اتلاف انرژی در تولید چای خشک دارند. گزارش شده است که بین ۳۵ تا ۵۵ درصد تلفات انرژی حرارتی از طریق لوله‌های دودکش (اگزوز) و نشتی هوای گرم در کانال‌های هوای گرم و خشک‌کن‌ها است (Rudramoorthy *et al.*, 2008). نوع کوره تأثیری مستقیم بر مقدار مصرف سوخت و در نتیجه انرژی حرارتی مصرفی دارد. نتایج اندازه‌گیری مصرف سوخت (جدول ۳) نشان می‌دهد که کورهٔ تیپ ۵ یا کورهٔ هوای گرم مستقیم پیش‌گرمکن‌دار (F9)، کمترین مقدار مصرف سوخت را دارد (۰/۲۷متر مکعب گاز به‌ازای هر کیلوگرم چای خشک). در کورهٔ تیپ ۵ با به‌کارگیری از یک طرح ساده، از تلفات انرژی بدنه به‌عنوان پیش گرمکن استفاده شده است. اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که دمای بدنهٔ بیرونی این کوره با دمای محیط تقریباً یکسان است و بدنهٔ کوره حداقل تلفات انرژی را دارد (شکل ۱- الف). اختلاف دما بین بدنهٔ اصلی کوره و بدنهٔ پیش‌گرمکن بیش از ۳۰ درجه سلسیوس است (شکل ۱). این تفاوت دما، تأثیر مثبت پیش‌گرمکن در کاهش مصرف انرژی را نشان می‌دهد. در این نوع کوره، طی ۵ تا ۶ دقیقه پس از روشن شدن، کوره آماده به‌کار می‌شود که در مقایسه با کوره‌های دیگر (بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه برای گرم و آماده شدن به کار)، مصرف سوخت قابل توجهی صرفه‌جویی می‌شود.

جدول ۳ - میزان مصرف سوخت اندازه‌گیری شده در کوره‌های هوای گرم کارخانه‌های چای‌سازی

نوع کوره	ساختار کوره	مصرف سوخت	
		متر مکعب در ساعت	متر مکعب بر کیلوگرم چای سیاه
کوره تیپ ۱	غیر مستقیم افقی	۴۳	۰/۴۴
کوره تیپ ۲	غیر مستقیم افقی پیشگرمکن‌دار	۳۹/۵	۰/۶۸
کوره تیپ ۳	غیر مستقیم عمودی	۵۰	۰/۴۷
کوره تیپ ۴	مستقیم	۳۹/۸	۰/۳۸
کوره تیپ ۵	مستقیم پیش‌گرمکن‌دار	۳۴/۳	۰/۲۷

الف- اندازه‌گیری حرارت پوشش بدنهٔ پیش گرمکن

ب- اندازه‌گیری حرارت بدنهٔ آتش خوار کوره

شکل ۱- کوره هوای گرم مستقیم دارای پیش گرمکن

بیشترین مقدار مصرف سوخت با ۰/۶۸ متر مکعب به‌ازای یک کیلوگرم چای خشک به کورهٔ تیپ ۲ یا کورهٔ هوای گرم غیر مستقیم دارای فن برای گازهای خروجی (F6)، اختصاص دارد؛ نتیجهٔ بررسی‌ها، به‌کارگیری نامناسب و در مواردی طراحی نادرست این کوره‌ها را نشان می‌دهد که باعث افزایش مصرف سوخت می‌شوند. طراحی

Archive of SID
www.SID.ir

کورهٔ تیپ ۲ برای استفاده از سوخت گازوئیل بوده است که در آن برای خروج دود حاصل از احتراق گازوئیل از یک دستگاه فن استفاده شده است؛ این فن برای مکش گازهای داغ حاصل از سوختن در بدنهٔ اصلی کوره است. دود و گازهای داغ ناشی از سوختن، هم‌زمان در لوله‌هایی جریان می‌یافت که به‌عنوان پیش‌گرمکن قرار داده شده‌اند. اندازهٔ نامناسب فن مکنده باعث می‌شود تا مقدار مکش بیش از اندازهٔ لازم شود و عملاً باعث ورود هوای اضافی به داخل کوره گردد. این موضوع به سرد شدن کوره و افزایش کار مشعل و در نتیجه افزایش سوخت مصرفی می‌انجامد. هم‌چنین، استفاده از مشعل‌های گاز سوز در این کوره‌ها باعث کاهش شدید راندمان کوره می‌شود زیرا میزان گازهای ناشی از احتراق در سوخت گاز کمتر است و در نتیجه نیازی به ایجاد مکش برای خروج دود از کوره نیست. در عمل، خروج اجباری گازهای ناشی از سوختن سوخت توسط مکنده، موجب مصرف مقدار بیشتری سوخت خواهد شد. این نتیجه با اندازه‌گیری و مقایسهٔ کوره در دو حالت استفاده از سوخت گازوئیل و گاز به‌دست آمده است.

در کوره‌های تیپ ۳ به‌دلیل طراحی اولیه برای استفاده از هیزم و زغال سنگ، دودکش‌های بزرگی تعبیه شده است تا با ایجاد مکش در کوره، هوای لازم برای سوختن هیزم و زغال سنگ فراهم آید (شکل ۲). دمای جدار این لوله‌های دودکش به بیش از ۲۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد که میزان بالایی از هدر رفت انرژی را از این طریق نشان می‌دهد. برای مثال، هدر رفت انرژی از لولهٔ دودکش کارخانه‌های F1، F2 و F3 در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس (دمای میانگین در طول لوله) برابر ۱۲/۵۵ مگاژول در ساعت بر متر مربع است که بر اساس ابعاد لوله برابر ۱۷۷/۳۵ مگاژول کیلوکالری در ساعت به‌دست می‌آید. با توجه به انرژی معادل سوخت، این مقدار تلفات انرژی معادل ۳/۵۹ متر مکعب گاز یا ۳/۷۲ لیتر گازوئیل در ساعت تنها از طریق لوله‌های دودکش است.

شکل ۲- دودکش تعبیه شده برای کوره‌های هوای گرم تیپ ۳

در کورهٔ تیپ ۱ (F2)، نامناسب بودن عایق‌بندی موجب اتلاف انرژی زیادی از سطح بزرگ بدنهٔ کوره است. در این کوره، مقدار اتلاف انرژی از بدنهٔ آن با حرارت جدار بیرونی ۶۱ درجه سلسیوس (۳۲۰ کیلوکالری در ساعت بر متر مربع) از سطح کوره است که تلفات کل انرژی از بدنهٔ این کوره برابر ۱۰۳۵۰ کیلوکالری در ساعت به‌دست می‌آید. با توجه به انرژی معادل سوخت‌ها، این مقدار تلفات انرژی معادل حدود ۱ متر مکعب گاز یا حدود ۱ لیتر گازوئیل در ساعت تنها از طریق بدنهٔ کوره است.

Archive of SID

www.SID.ir

انرژی الکتریسیته

اندازه‌گیری‌ها و محاسبات انرژی الکتریکی مصرفی و معادل آن به‌ازای یک کیلوگرم چای خشک (جدول ۴) نشان می‌دهد که کارخانه F1 با ۱۶/۹۶ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه، بیشترین مصرف انرژی الکتریکی را نسبت به کارخانه‌های دیگر دارد. استفاده نکردن از خازن در سیستم برق این کارخانه موجب کاهش مقدار CosØ و راندمان جریان الکتریکی و در نتیجه افزایش میزان انرژی الکتریکی مصرفی می‌شود. کارخانهٔ F9 با ۱۰/۹۶ مگاژول، کمترین مقدار مصرف انرژی الکتریکی برای تولید یک کیلوگرم چای سیاه را دارد (جدول ۴). استفاده از خازن با ظرفیت متناسب با مصرف خطوط تولید، اصلاح سیستم برق‌رسانی و کاربرد الکتروموتورهای با توان متناسب با نوع مصرف باعث حداقل شدن انرژی الکتریکی مصرفی در این کارخانه شد.

جدول ٤- مقدار و انرژی معادل الکتریسته مصرفی برای تولید یک کیلوگرم چای خشک در کارخانه‌های چای‌سازی

نام کارخانه	مقدار الکتریسیته (کیلووات ساعت به‌ازای هر کیلوگرم برگ سبز)										انرژی معادل (مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه)
	انتقال برگ	پلاس	مالش	غربال	تخمیر	خشک	کوره	سرت	روشنایی	جمع کل	
F1(G)	۰/۰۸۴	۰/۱۲	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۴۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۱	۱/۴۱۳۴	۱۶/۹۶۱۴
F2(G)	۰/۰۰۸۶	۰/۰۱۲	۰/۰۴۰	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۴۴	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۱	۱/۰۸۹۰	۱۳/۰۶۸۰
F3(G)	۰/۰۰۹۱	۰/۱۲۵	۰/۰۴۳	۰/۰۰۴۵	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۴۳	۰/۰۱۱	۰/۰۰۰۱	۱/۱۰۵۶	۱۳/۲۶۷۸
F4(G)	۰/۰۰۸۷	۰/۰۱۳	۰/۰۴۷	۰/۰۰۴۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۴۲	۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۰۱	۱/۱۳۸۹	۱۳/۶۶۷۴
F5(NG)	۰/۰۰۸۵	۰/۱۱۵	۰/۰۳۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۹	۰/۰۳۳	۰/۰۱۲	۰/۰۰۰۱	۰/۹۹۷۲	۱۱/۹۶۶۴
F6(NG)	۰/۰۰۹	۰/۱۴	۰/۰۴۱	۰/۰۰۵۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۰۱	۱/۰۴۸۹	۱۲/۵۸۷۴
F7(NG)	۰/۰۱	۰/۱۷	۰/۰۴۲	۰/۰۰۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۲۷	۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۰۱	۱/۲۳۹۷	۱۴/۸۷۷
F8(NG)	۰/۰۰۷۶	۰/۱۹	۰/۰۴۵	۰/۰۰۴۸	۰/۰۰۱	۰/۰۱۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۰۱	۱/۳۳۸۳	۱۶/۰۵۹۶
F9(NG)	۰/۰۰۸۸	۰/۱۱۸	۰/۰۳۹	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۵۹	۰/۰۰۰۱	۰/۹۱۳۹	۱۰/۹۶۷۴

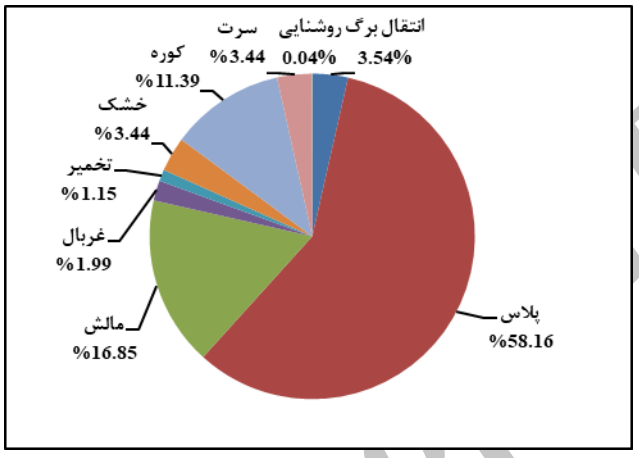
بررسی‌ها در کشورهای چای‌خیز نشان می‌دهد که مقدار انرژی الکتریکی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم چای خشک به‌طور میانگین برابر ۰/۶۸ کیلووات ساعت معادل ۲/۴ مگاژول است (Anon, 2002b). انرژی الکتریکی لازم برای تولید یک کیلوگرم چای خشک در هندوستان حدود ۲ مگاژول گزارش شده است (Rudramoorthy *et al.*, 2008). نتایج بررسی‌ها در ایران نشان می‌دهد که میزان انرژی الکتریکی مصرف شده برای تولید یک کیلوگرم چای خشک در بهترین شرایط (کارخانه F9 با ۱۰/۹۷ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه) حداقل پنج برابر مقادیر جهانی آن است. این موضوع می‌تواند دلایل گوناگون داشته باشد از جمله: طراحی نامناسب سیستم برق‌رسانی کارخانه‌ها، استفاده از الکتروموتورهای با توان نامتناسب با کار آنها، تلفات انرژی از طریق نشتی هوا در فرآیند پلاس و خشک و استفادهٔ بیشتر از سیستم‌های مکانیزه به‌جای نیروی انسانی، که در سایر کشورهای تولیدکننده چای رواج دارد. (در کشورهایی نظیر هند و سریلانکا، به‌دلیل پایین بودن دستمزد کارگری، اغلب مراحل فرآوری به کمک نیروی انسانی پیش می‌رود مانند: حمل و نقل برگ در سالن پلاس، حمل چای خشک از خروجی خشک‌کن به قسمت درجه‌بندی، درجه‌بندی و ظرف‌گیری چای خشک و غیره). همچنین، در بسیاری از کارخانه‌ها (مانند F2، F3 و F7)، ظرفیت خازن مورد استفاده متناسب با توان مصرفی کارخانه‌ها نیست و این

Archive of SID

www.SID.ir

مسئله موجب اتلاف انرژی الکتریکی شده است. اشکال در طراحی قطعات مکانیکی نیز باعث شده است تا برای غلبه بر مقاومت غلتشی، نیروی بیشتری مصرف شود که به معنای استفاده از الکتروموتورهای بزرگ‌تر و در نتیجه مصرف بیشتر انرژی الکتریکی است.

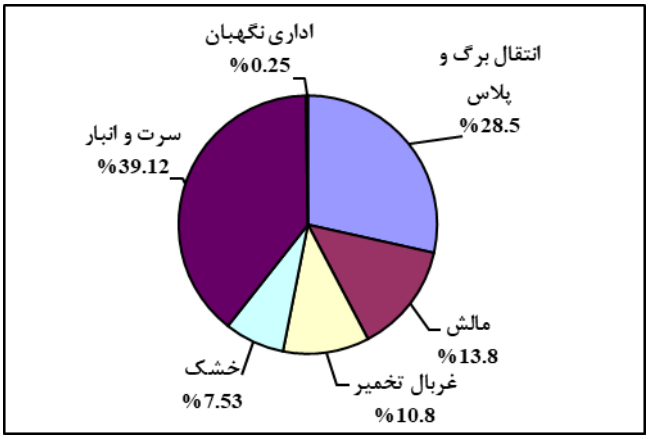
عملیات پلاس با ۵۸/۱۶ درصد بیشترین مصرف انرژی الکتریکی را در کارخانه‌های چای دارد (شکل ۳) پس از آن، مراحل مالش و کوره‌های هوای گرم (در مراحل خشک کردن و پلاس) به‌ترتیب با ۱۶/۵۸ و ۱۱/۳۹ درصد از مصرف انرژی الکتریکی، در رتبه‌های بعدی قرار دارند.



شکل ۳- الگو و مقدار انرژی الکتریکی ورودی در تولید چای خشک در کارخانه‌های چای‌سازی مورد مطالعه

انرژی نیروی انسانی

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که درجه‌بندی چای سیاه و انبارداری، بیشترین مقدار (۳۹/۱ درصد) انرژی نیروی انسانی را در تولید چای خشک مصرف می‌کند. پس از آن حمل برگ سبز و پلاس (۲۸/۵ درصد) و مالش (۱۳/۸ درصد) قرار دارند (شکل ۴). استفاده از اتوماسیون و انواع نقاله‌ها و چیدمان صحیح ماشین‌ها، به‌خصوص در سالن درجه‌بندی، نقش مهمی در کاهش نیروی انسانی دارد و باعث سهولت کارها می‌شود. استفاده از نقاله در خروجی خشک‌کن یا در اصطلاح زیرخشکی می‌تواند باعث کاهش حداقل یک نفر کارگر برای هر دستگاه خشک‌کن و در نتیجه کاهش نیروی انسانی در این قسمت شود.



شکل ٤- الگو و مقدار انرژی انسانی ورودی در تولید چای خشک در کارخانه‌های چای‌سازی مورد مطالعه

www.SID.ir

انرژی نگهداری و استهلاک ماشین‌های چای‌سازی

انرژی استهلاک بر اساس وزن ماشین، مادهٔ استفاده شده در ماشین و عمر مفید ماشین محاسبه می‌شود. جدول ۵ مقدار انرژی معادل استهلاک ماشین‌های مورد استفاده در فرآیند چای‌سازی برای یک کیلوگرم چای خشک را در دورهٔ عمر مفید دستگاه‌ها (۲۰ سال) نشان می‌دهد. کل انرژی معادل استهلاک ماشین‌های تولید و فرآوری چای در کارخانه‌های چای‌سازی حدود ۱۶/۷۵ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه به‌دست آمد. بیشترین انرژی معادل نگهداری و استهلاک ماشین‌های چای‌سازی مربوط به قسمت کوره‌های هوای گرم در مراحل پلاس و خشک کردن (۶/۵ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه)، مالش (۴/۹ مگاژول بر کیلوگرم) و دستگاه تراف در مرحله پلاس (۱/۵ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه) است.

جدول ۵- مشخصات و انرژی معادل استهلاک ماشین‌های خط تولید (چای‌سازی)

نوع ماشین	ظرفیت ماشین (کیلوگرم بر کیلوگرم چای سیاه)	وزن ماشین (کیلوگرم)	انرژی معادل استهلاک (مگا ژول بر کیلوگرم چای سیاه)
تراف	۰/۰۱۳۸	۵۰۰	۱/۵۰۲۸
مالش	۰/۰۴۵	۱۸۰۰	۴/۹۰
کوره هوای گرم	۰/۰۶	۶۰۰۰	۶/۵۳۴
خشک‌کن	۰/۰۱	۱۰۰۰	۱/۰۸۹
فایبرومات	۰/۰۰۲۵	۲۵۰	۰/۲۷۲۲
میدلتون	۰/۰۰۲۵	۲۵۰	۰/۲۷۲۲
آندروز	۰/۰۰۱۵	۱۵۰	۰/۱۶۳۳
وینوور	۰/۰۰۳۵	۳۵۰	۰/۳۸۱۱
غربال	۰/۰۰۲	۲۰۰	۰/۲۱۷۸
تجهیزات حمل برگ	۰/۰۰۳	۱۵۰۰	۰/۳۲۶۷
تجهیزات متفرقه	۰/۰۱	۱۰۰۰	۱/۰۸۹
	جمع		۱۶/۷۴۸۸

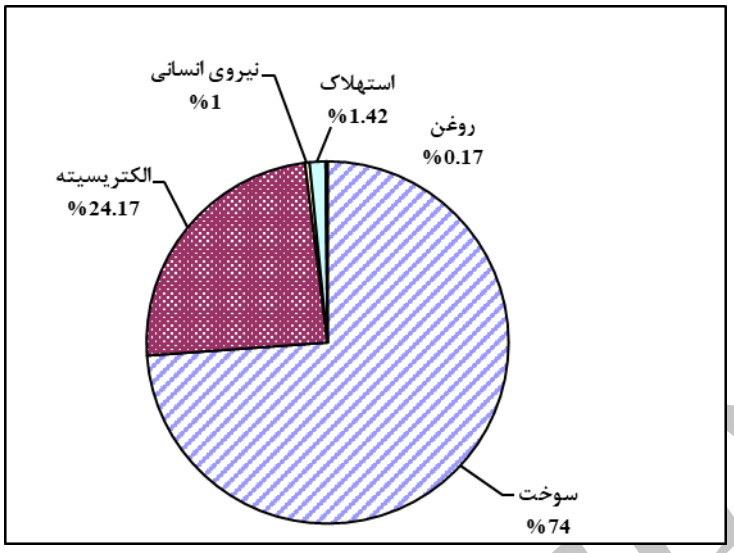
انرژی روغن و روان‌کننده‌ها

مواد روان‌کنندهٔ مورد استفاده در کارخانه‌های چای‌سازی شامل روغن موتور، روغن جعبه دنده، گریس و پارافین است. مقدار روغن مصرفی در کارخانه‌های چای‌سازی بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۴ لیتر بر کیلوگرم چای سیاه و انرژی معادل با آن بین ۰/۰۴۳ تا ۰/۱۷۵ مگاژول بر کیلوگرم چای سیاه تغییر می‌کند.

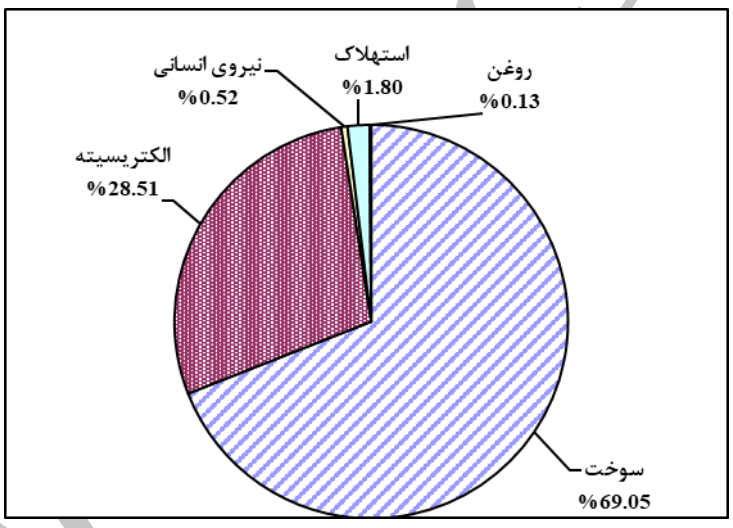
تحقیق مشابه در هندوستان نشان داده است که ۸۰ درصد انرژی مصرفی در تولید چای خشک به‌صورت انرژی حرارتی صرف حذف رطوبت از برگ سبز چای در مرحلهٔ پلاس و خشک‌کردن می‌شود (Rudramoorthy *et al.*, 2008). در مطالعه‌ای در کارخانه‌های چای‌سازی کنیا معلوم شد که هیزم ۸۹/۹۳ درصد، الکتریسیته ۶/۳۷ درصد، بنزین ۲/۸۸ درصد و گازوئیل ۰/۸۲ درصد از کل انرژی مورد نیاز آن کارخانه را تأمین کرده است. نسبت انرژی حرارتی به الکتریکی ۹۲/۸ به ۷/۲ به‌دست آمد (John Mwenda *et al.*, 2015)؛ نسبت انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی در سریلانکا ۸۰ تا ۸۵ به ۲۰ تا ۱۵ درصد و در ویتنام ۸۰ به ۲۰ درصد گزارش شده است (Baruah *et al.*, 2012).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- الگو و مقدار انرژی ورودی در کارخانه‌های چای‌سازی با سوخت گازوئیل



شکل ٦- الگو و مقدار انرژی ورودی در کارخانه‌های چای‌سازی با سوخت گاز

نتیجه‌گیری

مقدار انرژی مصرفی برای تولید یک کیلوگرم چای سیاه در ایران حدود ۵۳ مگاژول است. حدود ۷۰ درصد انرژی مصرفی در فرآیند تولید چای سیاه مربوط به انرژی حرارتی است که ۳۱ درصد آن در مرحلهٔ پلاس و ۶۹ درصد آن در مرحلهٔ خشک‌کردن مصرف می‌شود. مقدار انرژی حرارتی مصرفی در کارخانه‌های چای‌سازی با سوخت گاز حدود ۵ درصد کمتر از کارخانه‌های با سوخت گازوئیل می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات انرژی حرارتی می‌توان طراحی و عایق‌بندی نامناسب و فرسودگی کوره‌ها را نام برد.

حدود ۲۸ درصد انرژی مصرفی در فرآیند تولید چای خشک به انرژی الکتریسیته اختصاص دارد که عملیات پلاس، مالش و تأمین هوای گرم (کورهٔ هوای گرم) به‌ترتیب با ۵۸/۱۶، ۱۶/۵۸ و ۱۱/۳۹ درصد بیشترین مقدار مصرف انرژی الکتریکی در فرآیند تولید چای سیاه دارند. سیستم برق‌رسانی فرسوده و نامناسب و به‌کارگیری الکتروموتورهای نامناسب و مشکلات مکانیکی دستگاه‌ها

www.SID.ir

باعث اتلاف انرژی الکتریکی شده است. استفاده از خازن به عنوان تولیدکننده بار راکتیو به‌منظور تنظیم و کنترل ولتاژ و جلوگیری از نواسانات قدرت در شبکهٔ برق و تصحیح ضریب قدرت در مصرف کننده‌ها موجب کاهش جریان راکتیو و در نتیجه کاهش مصرف انرژی الکتریکی است. کمترین بخش انرژی مصرفی در تولید چای سیاه انرژی نیروی انسانی است. عملیات پلاس و مالش به‌ترتیب با ۵۸/۱۶ و ۱۶/۵۸ درصد بیشترین مقدار انرژی انسانی در تولید چای سیاه را به‌خود اختصاص دادند.

مشاهدات و بررسی نتایج این پژوهش نشان می‌دهد:

- عایق‌بندی بدنهٔ کوره‌ها و خشک‌کن‌های موجود می‌تواند اتلاف انرژی حرارتی را به‌نحو چشمگیری کاهش دهد.
- تنظیم قطعات مکانیکی، استفاده صحیح از روان‌کننده‌ها، بازسازی یاتاقان‌ها و استفاده از بالبیرینگ‌های مناسب می‌تواند موجب کاهش انرژی الکتریکی مصرفی شود.
- جایگزینی کوره‌های قدیمی با کوره‌های جدید نقش مهمی در کاهش مصرف سوخت دارد.
- اصلاح سیستم برق در کارخانه‌های چای‌سازی و استفاده از خازن با ظرفیت متناسب با توان مصرفی کارخانه موجب کاهش انرژی الکتریکی مصرفی خواهد شد.

مراجع

Anon. 2002a. Small and medium scale industries in Asia. School of Environment Resources and Development. Asian Institute of Technology, Thailand.

Anon, 2002b. Small and medium scale Industries in Asia: Energy and Environment, Tea sector. Asian Institute of Technology, Thailand.

Anon. 2006. Benchmarking Energy Use in Canadian pulp and paper mills. Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC). Available at: www.nrcan.gc.ca.

Anon. 2012. Process document on energy conservation in smallholder sector tea processing units in India. Environmental Management Centre, Mumbai. Available at: www.faculty.ait.ac.

Baruah, B., Pujakhare, P. and Rao, P. G. 2012. The energy utilization pattern in tea industries of NE India and environmental issues. Two Bud. 59(2): 9-13.

Bhutia, K. L. 2010. Manual on energy conservation measures in tea cluster JORHAT. Bureau of Energy Efficiency (BEE). Ministry of Power, Government of India.

Dagistan, E., Akcaoz, H., Demirtas, B. and Yilmaz, Y. 2009. Energy usage and benefit-cost analysis of cotton production in Turkey. Afr. J. Agr. Res. 4(7): 599-604.

Dinh Son, L. 2000. Application of natural withering in tea production in VIET-MONG tea factory. Asian Regional Research Program in Energy, Environment and Climate, Vietnam.

Doering, O. C. 1980. Accounting for energy in farm machinery and buildings. In: Handbook of Energy Utilization in Agriculture. United States, Florida, Boca Raton: CRC Press.

Fluck, R. C. and Baird, C. D. 1980. Agricultural Energetics. AVI Publishing Company Inc., West Port, Connecticut.

Ganapathy Sundaram, E. and Senthil Kumar, K. R. 2002. Energy and environmental issues in tea industries, a case study. Department of Mechanical Engineering, Velammal Engineering College, Tamil Nadu, India.

Jayah, H. T., Aye, U. L., Fuller, R. J. and Stewart, F. D. 1999. Wood gasifies for drying tea in Sri Lanka. International Technologies Center, University of Melbourne, Australia. Available at: www.solar.org.au.

John Mwenda, I., Joseph Ngugi, K and Jeremiah, K.2015. Energy consumption trends in smallholder tea factories in Kenya. Int. J. Emerg. Technol. Res. 2(2): 30-43.

Archive of SID

www.SID.ir

Kitani, O. 1999. Energy and Biomass Engineering. CIGR Handbook of Agricultural Engineering. Vol. V. American Society of Agricultural Engineers.

Kumar, S. P. C., Velavan, R. and Sivasubramanian, S. 2004. Innovative measures for energy management in tea industry. Energy Engineering Division, Department of Mechanical Engineering PSG College of Technology, Coimbatore. Available at: www.faculty.

Nagy, C. N. 1999. Energy coefficients for agriculture inputs in Western Canada. CSALE Working Paper Series 2. Centre for Studies in Agriculture, Law and the Environment, University of Saskatchewan, Saskatoon, Sask.

Rudramoorthy, R., Sunil Kumar, C. P., Velavan, R. and Sivasubramaniam, S. 2008. Innovative measures for energy management in tea industry. Energy Engineering Division, Department of Mechanical Engineering, PSG College of Technology, Coimbatore, India.

Singh, S. and Chandra, H. 2001. Technological impact energy consumption in rain fed soybean cultivation in Madhya Paradesh. Appl. Energy. 70, 193-213.

Archive of SID

www.SID.ir

AERI *Agricultural Mechanization and Systems Research /Vol.19/No.71/ Autumn & Winter 2018/P: 29-42*

Energy Consumption in Processing of Black Tea in Tea Factories

S. B. Salvatian*, K. Majd-Salimi and A. Javadi

* Corresponding Author: Researcher of Tea Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agicultural Research Education and Extension Organisation (AREEO), Lahijan, Iran. Email: salvation@yahoo.com
Received: 12 June 2016, Accepted: 29 October 2017

This study was carried out to determine energy consumption in various stages of processing of black tea in tea factories at Guilan province in Iran. Direct energy (thermal energy and electric energy) and indirect energy (man power, depreciation, and lubricants) were measured and evaluated in 9 tea factories; four factories using diesel fuel and the remaining five used natural gas. The results showed that approximately 70 percent of the energy consumed in tea processing is thermal energy of which 31 percent used in withering and remaining 69 percent used in drying stage. The amount of thermal energy consumed in tea factories with natural gas fuel is about 5 percent less than that in factories used diesel fuel. Electric energy has contributed 28 percent of total energy consumed in production of black tea. Withering, rolling and air heaters used 58.16, 16.58 and 11.39 percent of energy consumption in tea factories, respectively. Man power has contributed the lowest percentage of energy consumption in tea processing. Inappropriate designing, burnout ovens, lack of proper insulation, and improper structures of mechanical parts are responsible for significant energy losses at tea factories. The following steps could help reducing energy consumption in tea processing: installation of new designed furnaces, insulation the present furnaces and drying machines, and improving power supplying systems.

Keywords: Energy Indicator, Energy Loss, Energy Optimizing, Tea Processing, Tea Quality

Archive of SID

www.SID.ir