

## بررسی مصرف انرژی، میزان تولید گازهای آلاینده و هزینه‌های اجتماعی خشک کردن محصولات کشاورزی (مطالعه موردی: سیب)

علی متولی<sup>۱\*</sup>، سیدجعفر هاشمی<sup>۲</sup> و ابراهیم تقی‌نژاد<sup>۳</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: استادیار؛ و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

۳- استادیار مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان، دانشگاه محقق اردبیلی، مغان، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۹

### چکیده

امروزه گرمایش کره زمین در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مصرف سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها به منظور تولید برق بیشترین سهم را در انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده در جهان دارند. با وجود سهم چشمگیر بخش کشاورزی از صنعت برق، بخش فرآوری و خشک کردن محصولات کشاورزی بیشترین انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده‌اند. در این پژوهش به بررسی پارامترهای انرژی و زیست محیطی (گرمایش جهانی) و هزینه‌های اجتماعی خشک کردن لایه‌های سیب در سه دمای ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و در سرعت جریان هوای ثابت ۰/۵ متر بر ثانیه در پیش تیمارهای مختلف اسمزی، فراصوت، بلانچینگ و مایکروویو (هر یک از پیش تیمارها در سه سطح) پرداخته شد. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که با افزایش دما و استفاده از پیش تیمارهای مختلف، مدت زمان، انرژی مصرفی و حرارت مخصوص مصرفی نسبت به تیمار شاهد روند کاهشی و مقادیر بازده انرژی، خشک شدن و حرارتی روند صعودی دارند. بالاترین مقادیر هر دو بازده انرژی و خشک شدن در استفاده از پیش تیمارهای مختلف مربوط به استفاده از پیش تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات به مدت ۲/۵ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سلسیوس به ترتیب به میزان ۵/۰۴ و ۵/۶۲ درصد و پایین‌ترین میزان این بازده‌ها مربوط به تیمار شاهد با دمای ۴۵ درجه سلسیوس به ترتیب به میزان ۲/۲۷ و ۲/۳۸ درصد به دست آمده است. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میزان گازهای گلخانه‌ای به ازای خروج هر کیلوگرم آب از لایه‌های سیب به ترتیب  $۹/۳۷$ ،  $۲۱/۱۹$  و  $۱۰/۰۵ \times 10^{-۴}$  کیلوگرم  $CO_2$  و  $۴/۵۰ \times 10^{-۴}$  کیلوگرم  $CH_4$  و  $۲/۰۱ \times 10^{-۴}$ ،  $۰/۸۹ \times 10^{-۴}$  کیلوگرم  $N_2O$  بوده است. همچنین بالاترین و پایین‌ترین میزان هزینه‌های اجتماعی به ازای خروج یک کیلوگرم آب از لایه‌های سیب به ترتیب در نیروگاه بخار ۳۴۹۲۷/۶۰، ۱۵۴۴۹/۰۴ ریال، در نیروگاه ۳۵۲۶۳/۴۵، ۱۵۵۹۷/۵۹ ریال و در نیروگاه سیکل ترکیبی ۳۰۵۶۱/۶۶، ۱۳۵۱۷/۹۱ ریال برآورد گردید.

### واژه‌های کلیدی

بازده انرژی، حرارت مخصوص مصرفی، گازهای گلخانه‌ای

به منظور تولید برگه خشک شده محصولات کشاورزی، لازم است تا در فرآیندی مقدار رطوبت محصولات کاهش داده شود. یکی از معمول‌ترین روش‌ها برای کاهش رطوبت محصولات کشاورزی، فرآیند خشک کردن است. با اعمال

**مقدمه**  
امروزه استفاده از برگه خشک شده محصولات کشاورزی، به جای محصولاتی زیان‌آور مانند پفک و چیپس‌های معمول در بازار، رواج فراوانی یافته است.

کیلوگرم (Tohidi *et al.*, 2017)، زنجبیل بین ۵۴۸/۵۴ تا ۱۸۶۲/۶۳ کیلووات ساعت بر کیلوگرم (Agnihotri *et al.*, 2016)، رشته فرنگی بین ۶۹۰/۸۰ تا ۷۳۷/۶۵ کیلووات بر کیلوگرم (Wang *et al.*, 2017)، برگ جعفری (در اثر پیش تیمارهای مختلف فراصوت با آلتراسوند و بلانچینگ با بخار داغ) بین ۲۸/۸ تا ۲۱۲/۲ مگاوات بر کیلوگرم (Sledz *et al.*, 2016)، قارچ بین ۴۷/۸۸ تا ۹۳/۴۵ کیلووات ساعت بر کیلوگرم (Motevali *et al.*, 2011b) و خشک کردن دانه‌های انار (با استفاده از پیش تیمارهای مختلف مایکروویو) بین ۳۸/۲۵ تا ۲۵۲/۳۳ کیلووات ساعت بر کیلوگرم (Motevali *et al.*, 2011a).

به دنبال مصرف انرژی بالا در خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی، تولید گازهای گلخانه‌ای و آثار زیست محیطی آن نیز اهمیت فراوانی پیدا می‌کند. مصرف انرژی در خشک‌کن‌ها بر پایه انرژی الکتریسیته یا سوخت‌های فسیلی است و از این‌رو لازم است با بررسی روش‌های مختلف، میزان انرژی مصرفی و به دنبال آن تولید گازهای گلخانه‌ای را کاهش داد. با توجه به اقلیم و شرایط آب و هوایی در ایران، برق در کشور عمدتاً در نیروگاه‌های حرارتی و با مصرف سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود. برآوردهای جهانی نشان می‌دهد که ۸۰ درصد از عرضه انرژی اولیه در جهان با سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود به طوری که در سال ۲۰۱۳ روزانه ۷۶ میلیون بشکه نفت در جهان مصرف می‌گردید و با وجود آگاهی از پیامدهای مصرف سوخت‌های فسیلی و اثر آن بر محیط زیست، انتظار می‌رود این میزان در سال ۲۰۲۵ تا ۱۲۳ میلیون بشکه در روز افزایش یابد (Anon, 2013). افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان به دلیل مصرف بی‌رویه سوخت‌های فسیلی پیامدهایی منفی برای محیط زیست به بار آورده است از جمله: گرمایش جهانی، گسترش نواحی

روش‌های مناسب خشک کردن می‌توان مقادیر زیادی از خسارت‌ها را کاهش داد که در مراحل بعدی (مانند حمل نقل و نگهداری) به محصول وارد می‌شود (Barbosa-Canovas & Vega-Mercado, 1996). فرآیند خشک کردن نیازمند استفاده از خشک‌کن‌های صنعتی است؛ کاربرد این سامانه‌ها نیازمند مصرف انرژی بالایی در صنعت خشک کردن است (Sahin & Dincer, 2002) در مقایسه‌ای کلی، فرآیند خشک کردن غلات به طور متوسط حدود ۶۰ درصد کل انرژی تولیدی را به خود اختصاص می‌دهد. این میزان مصرف انرژی، در مقایسه با متوسط مصرف انرژی در مراحل خاک‌ورزی (۱۶ درصد)، کاشت و داشت (۱۲ درصد)، برداشت (۶ درصد) و حمل و نقل (۶ درصد) قابل توجه است (Brooker *et al.*, 1992). این نتایج نشان می‌دهد که خشک کردن محصولات کشاورزی با مصرف انرژی زیاد همراه است ولی اهمیت بالای صنعتی نیز دارد. یکی از پرکاربردترین خشک‌کن‌های مورد استفاده، خشک‌کن جریان هوای گرم است که مصرف انرژی در آن بالا و بازده آن پایین است (Motevali *et al.*, 2014). از معایب دیگر این سامانه‌ها اتلاف زیاد انرژی حرارتی (Pan *et al.*, 2008)، پایین بودن ضریب انتقال حرارت به محصول و نسبتاً بالا بودن زمان عملیات (Nowak & Lewicki, 2004)، پایین بودن کیفیت و چروکیدگی محصول خشک‌شده است (Timoumi *et al.*, 2007). بنابراین، استفاده از پیش تیمارهای مختلف در فرآیند خشک کردن محصولات کشاورزی به منظور افزایش کیفیت و بازده فرآیند ضروری به نظر می‌رسد (Fernandes *et al.*, 2009).

بررسی‌ها نشان می‌دهد که برای خشک کردن محصولاتی متفاوت مقدار انرژی متفاوتی صرف می‌شود: زرشک بین ۲۰/۹۳ تا ۱۱۱۰/۰۷ کیلووات ساعت بر کیلوگرم (Aghbashlo *et al.*, 2008)، شلتوک بین ۱/۸۹۱ تا ۱۲/۰۱۴ کیلووات ساعت بر

شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این گازهای گلخانه‌ای در مزرعه تولید نیشکر، کوره آهک‌پزی موتور ژنراتورها، دیگ‌های بخار و تجهیزات الکتریکی تولید می‌شود؛ کل میزان CO<sub>2</sub> در این واحد به‌میزان ۲۷۹۶۹۵/۵۲۸ تن و CH<sub>4</sub> به‌میزان ۳۱۳۴/۰۷ تن در سال بود (Ahmadi-Moghadam *et al.*, 2013).

در مطالعه‌ای دیگر، نتایج ارزیابی پیامدهای زیست محیطی و هزینه‌های اجتماعی مصرف انرژی در بخش حمل و نقل زمینی نشان داد که آلودگی‌های ناشی از مصرف گازوییل و بنزین به‌طور میانگین در این بخش ۱۳ میلیون تن در سال است که با توجه به این حجم تولید گازهای آلاینده، میزان ۱۱۱ هزار میلیارد ریال هزینه‌های جانبی و اجتماعی به کشور در سال تحمیل می‌شود (Kalantar & Panahi, 2016). رحیمی و همکاران (Rahimi *et al.*, 2014) هزینه‌های اجتماعی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده از نیروگاه‌های کشور را تعیین کردند و نشان دادند که تولید یک کیلووات برق از نیروگاه بخار بین ۷۲۰ تا ۱۳۶۰ ریال، نیروگاه گازی بین ۷۴۰ تا ۱۳۶۰ ریال و نیروگاه سیکل ترکیبی بین ۵۹۰ تا ۱۲۳۰ ریال هزینه مستقیم و غیرمستقیم در بر دارد.

بررسی منابع در مورد آلاینده‌های حاصل از نیروگاه‌ها نشان داد که میانگین فاکتور نشر آلاینده SO<sub>2</sub> برای نیروگاه بخار ۱۵/۲۷ g/kWh برق تولیدی بوده است (Nazari *et al.*, 2012). مازندرانی و همکاران (Mazandarani *et al.*, 2011) میزان انرژی مصرفی و آلاینده‌های تولید شده در نیروگاه‌های ایران را تا سال ۲۰۲۵ بررسی کردند و نشان دادند که مقدار مصرف گاز طبیعی تا ۴۷ درصد و سوخت دیزل تا ۵۰ درصد تا سال ۲۰۲۵ افزایش خواهد یافت.

اگر ترکیب قدیمی سوخت در آینده ادامه پیدا کند، مقدار مصرف انرژی تا ۱۳۰، ۱۰۶ و ۶۹ درصد

بیابانی، بارش باران‌های سیل‌آسا و اسیدی، تغییرات اقلیم، ایجاد حفره در لایه ازن، افزایش سطح آب‌های آزاد و غیره؛ این عوامل آثاری منفی بر زندگی بشر داشته است (Nazmara, 2000; Ahmadi-Moghadam *et al.*, 2013). سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در بخش‌های کشاورزی، خانگی و تجاری و عمومی، حمل و نقل و صنعت به‌ترتیب ۳/۲، ۱/۸، ۱/۶ و ۱/۵ برابر متوسط جهانی است. مقایسه سرانه مصرف نهایی انرژی ایران به تفکیک حامل‌های انرژی با مقیاس جهانی نشان می‌دهد که سرانه مصرف گاز طبیعی و نفت خام و فرآورده‌های نفتی به‌ترتیب ۵/۹ و ۱/۶ برابر متوسط مصرف سرانه جهانی است. بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که سهم تولید برق در ایران در نیروگاه‌های بخار ۳۴/۲ درصد، در سیکل ترکیبی ۳۳/۲ درصد، گازی ۲۵/۲ درصد، آبی ۵/۶ درصد، تجدیدپذیر و اتمی ۱/۹ درصد و دیزلی ۰/۳ درصد است (Anon, 2013).

در بخش نیروگاهی و نیز درباره آلودگی گازهای گلخانه‌ای در نیروگاه‌های مختلف و تاثیرات زیست محیطی و اجتماعی بررسی‌های مختلفی شده است. در پژوهشی در سال ۸۵ به برآورد هزینه‌های زیست محیطی انتشار گازهای گلخانه‌ای در گاوداری‌های شیری شهر مشهد پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که هزینه‌های سالانه زیست محیطی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای در مشهد ۱۰/۶۸ میلیارد ریال و در کل کشور ۶۷۹۱۰/۳ میلیارد ریال است (Ghorbani *et al.*, 2011).

متولی و طباطبایی‌کلور (Motevali & Tabatabaee-Kolour, 2017). با بررسی میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی حاصل از خشک‌کردن گل نرگس در خشک‌کن‌های مختلف نشان دادند که بیشترین و کمترین میزان گازهای گلخانه‌ای تولیدی به‌ترتیب مربوط خشک‌کن تحت خلاء و خشک‌کن مایکروویو است. در پژوهشی دیگر، به تخمین انتشار گازهای گلخانه‌ای CO<sub>2</sub> و CH<sub>4</sub> در تولید شکر در یک واحد توسعه نیشکر پرداخته

به ترتیب برای گاز طبیعی، دیزل و نفت افزایش پیدا خواهد کرد.

نتایج بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که در سال ۲۰۲۵ انتشار CO<sub>2</sub> با استفاده از ترکیب قدیمی تا ۲/۱ برابر و ترکیب جدید تا ۱/۶ برابر افزایش خواهد یافت.

مصرف کل فرآورده‌های نفتی در سال ۱۳۸۵ در کشور ۴۸۸/۵ میلیون بشکه نفت خام بوده است که سهم بخش کشاورزی ۲۶/۱ میلیون بشکه و مصرف کل برق در همین سال معادل ۸۶/۳ میلیون بشکه نفت خام بوده که از این مقدار سهم بخش کشاورزی ۱۰/۴ میلیون بشکه برآورد شده است. مصرف کل فرآورده‌های نفتی در سال ۱۳۹۳ در کشور ۴۸۲/۵ میلیون بشکه نفت خام بود. که سهم بخش کشاورزی ۲۱/۱ میلیون بشکه و مصرف کل برق در همین سال معادل ۱۳۰/۲ میلیون بشکه نفت خام بوده که از این مقدار سهم بخش کشاورزی ۲۰/۷ میلیون بشکه برآورد شده است. مصرف بالای انرژی در بخش کشاورزی در ایران نسبت به سایر کشورها از یک سو و از سوی دیگر با رشد جمعیت در کشور، بخش کشاورزی نقش مهمی در تهیه و تولید غذا برای ساکنان کشور ایران خواهد داشت. در فرآیندهای مختلف بخش کشاورزی و فرآوری محصولات غذایی، خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی نقش مهمی در فرآوری این محصولات و در مصرف انرژی دارند. پژوهش‌ها در زمینه‌های مختلف تولید گازهای گلخانه‌ای و تاثیرات زیست محیطی آن گسترده است اما در حوزه صنایع تبدیلی کشاورزی و فرآوری محصولات کشاورزی پژوهشی دیده نشده است.

هدف از این پژوهش، بررسی مصرف انرژی و میزان تولید گازهای گلخانه‌ای و آلاینده در یک خشک‌کن جریان هوای گرم جریان موازی برای خشک کردن ورقه‌های سیب با استفاده از پیش تیمارهای مختلف به منظور تولید برگه خشک‌شده این محصول است. در این پژوهش، همچنین

آثار اجتماعی گازهای گلخانه‌ای تولید شده در فرآیند خشک کردن سیب و تولید برگه خشک‌شده این محصول بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

سیب زرد رقم گلدن دلشیز از بازار تهیه شد. سیب‌های سالم و با رنگ یکنواخت و یکسان پس از دست‌چین شدن، برای نگهداری به یخچال با دمای ۴ درجه سلسیوس منتقل شدند تا در خلال آزمایش‌ها شرایط نگهداری همگن و مطلوب برای تمامی نمونه‌ها وجود داشته باشد. در آغاز، سیب به لایه‌هایی با ضخامت ۵ میلی‌متر برش داده شدند و پیش تیمارهای مختلف از جمله پیش تیمار اسمزی، فراصوت (آلتراسوند)، بلانچینگ (با آب داغ) و مایکروویو بر نمونه‌ها اعمال گردید. هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات میزان انرژی مصرفی و اثرهای زیست محیطی آن بود از این رو سعی گردید تا پیش تیمارهای مختلف با میزان انرژی تقریباً برابر روی نمونه‌ها اعمال گردد. آزمایش‌های خشک کردن تکمیلی در سه سطح دمایی (۴۵، ۵۵ و ۶۰ درجه سلسیوس) و سرعت جریان هوای ۰/۵ متر بر ثانیه و نیز پیش تیمار اسمزی در سه سطح غلظت ساکارز (۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد) و در دمای ۳۰ درجه سلسیوس به مدت ۶۰ دقیقه و با سرعت ۱۰۰ دور بر دقیقه اجرا شد. لایه‌های سیب با پیش تیمار فراصوت با فرکانس ۴۰ کیلوهرتز و توان ۱۲۰ وات درون آب مقطر با دمای ۳۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و در سه سطح زمانی ۱۵، ۳۰ و ۴۵ دقیقه عملیات پیش تیمار روی آن‌ها اعمال شد. برای پیش تیمار بلانچینگ، نمونه‌های سیب به مدت ۳ دقیقه در آب ۷۰ درجه سلسیوس، به مدت ۲/۵ دقیقه در آب ۸۰ درجه سلسیوس، به مدت ۲ دقیقه در آب ۹۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند. برای پیش تیمار کردن نمونه‌ها با مایکروویو، نمونه‌ها در سطح توان ۹۰ وات به مدت ۱۰ دقیقه، در سطح توان

حین انجام آزمایش‌های خشک کردن، دمای محیط بین ۲۴ تا ۲۹ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی محیط بین ۷۰ تا ۹۰ درصد تنظیم شد.

### محاسبه پارامترهای انرژی

در جدول ۱ روابط مختلف مرتبط با محاسبه پارامترهای انرژی آورده شده است.

۱۸۰ وات به مدت ۵ دقیقه و در سطح توان و ۳۶۰ وات به مدت ۲/۵ دقیقه تحت تاثیر اشعه مایکروویو قرار داده شدند. برای پیش‌تیمار کردن نمونه‌ها به کمک فراصوت (آلتراسوند) از دستگاه حمام فراصوت Ultrasonic cleaner, KMH1 ساخت کشور چین) و برای اعمال پیش‌تیمار نمونه‌ها با مایکروویو با دستگاه مایکروویو خانگی مدل سولاردام (ساخت کشور کره) استفاده شد. در

جدول ۱- روابط مرتبط با محاسبه پارامترهای انرژی

منبع	نام معادله	شماره رابطه	رابطه
(Amiri-Chayjan et al., 2013)	انرژی حرارتی	(۱)	$E.C_{ter} = \left[ \frac{Q \times (C_{pa} + C_{pv} \times h_a)(T_{in} - T_{am})}{V_h} \times t \right]$
(Tohidi et al., 2017)	انرژی مکانیکی	(۲)	$E.C_{mec} = \Delta P \cdot Q \cdot t$
(Tohidi et al., 2017)	انرژی مخصوص مورد نیاز	(۳)	$S.E.C = \left[ \frac{E.C_{ter} + E.C_{mec}}{m_v} \right]$
(Agnihotri et al., 2016)	بازده انرژی	(۴)	$E.E = \frac{E_{evaporation}}{E.C_{ter} + E.C_{mec}}$
(Vieira et al., 2007)	بازده خشک کردن	(۵)	$D.E = \frac{E_{Heating+evaporation}}{E.C_{ter} + E.C_{mec}}$
(Vieira et al., 2007)	حرارت مصرفی مخصوص	(۶)	$S.H.C = \frac{H_{total}}{M_v}$
(Vieira et al., 2007)	بازده حرارتی	(۷)	$T.E = \frac{M_v}{H_{total}}$

لایه‌های سیب ابتدا لازم است میزان انرژی الکتریسیته مورد نیاز در تیمارهای مختلف آزمایشی را به دست آورد. به دنبال محاسبه انرژی مورد نیاز در تیمارهای مختلف آزمایشی توسط سامانه خشک کردن (انرژی حرارتی و مکانیکی) و پیش‌تیمارهای مختلف، ضریب انتقال برق از نیروگاه‌های تولید تا محل مصرف (۱۳/۱۳ درصد از کل انرژی الکتریسیته تولیدی) در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از ضریب مصرف داخلی (۳/۲ درصد از کل انرژی الکتریسیته تولیدی) در نیروگاه‌ها میزان کل الکتریسیته محاسبه شد و به دنبال آن گازهای آلاینده تولید شده به ازای هر کیلووات برق مصرفی تعیین گردید. این ضرایب به‌طور میانگین به ازای تولید هر کیلووات برق در

### بررسی اثرهای زیست محیطی و محاسبه میزان گازهای آلاینده و گلخانه‌ای

برای محاسبه میزان گازهای گلخانه‌ای و آلاینده به ازای هر کیلووات برق تولیدی در نیروگاه‌های مختلف، از ضرایب مرتبط با تولید گازهای مختلف استفاده شد که سازمان‌های مورد اطمینان (وزارت نیرو-ترازنامه انرژی ایران، سازمان بین‌المللی انرژی) به دست آورده‌اند. لازم است گفته شود که محاسبه تولید گازها به صورت غیر مستقیم و توسط میزان انرژی الکتریسته مصرفی در خلال فرآیند خشک کردن به دست آمد. برای محاسبه میزان انرژی تولیدی الکتریسیته در نیروگاه‌های مختلف به ازای خروج هر کیلوگرم آب از محصول در فرآیند خشک کردن

نیروگاه‌های مختلف ایران برای CO<sub>2</sub> برابر  $10^{-2} \times 63/11$  کیلوگرم بر کیلووات ساعت، برای CH<sub>4</sub> برابر  $10^{-6} \times 14/97$  کیلوگرم بر کیلووات ساعت، برای NO<sub>2</sub> برابر  $10^{-7} \times 21/96$  کیلوگرم بر کیلووات ساعت در نظر گرفته شد.

### بررسی هزینه‌های اجتماعی

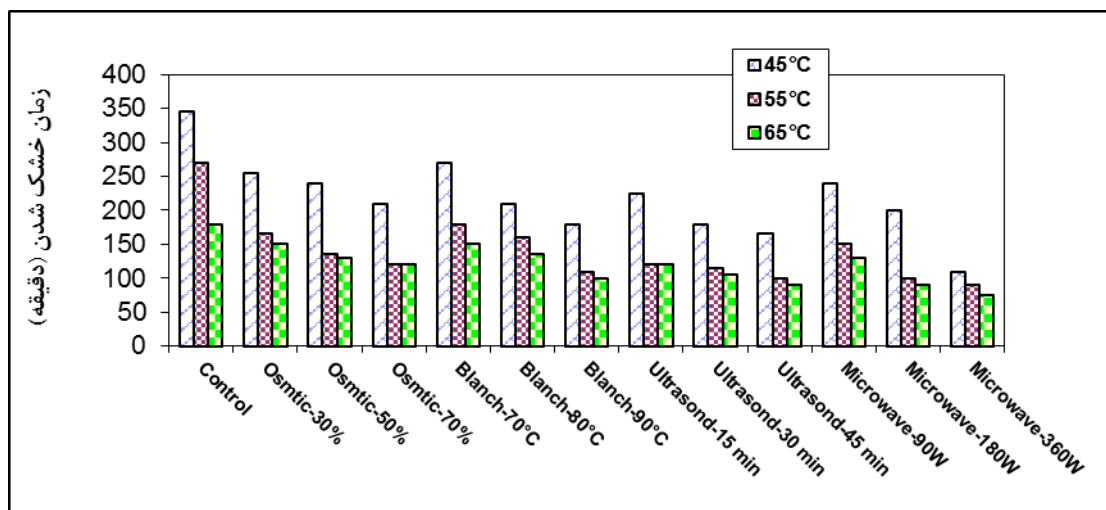
در این پژوهش، برای بررسی اثر فرآیند خشک کردن لایه‌های سیب بر هزینه‌های اجتماعی و سلامتی جامعه، از نتایج پژوهش (Rahimi et al., 2014) و داده‌های وزارت نیرو (Anon, 2013) استفاده گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که با استفاده از سناریوهای مختلف ارزیابی، هزینه‌های اجتماعی به‌ازای تولید هر کیلووات برق در نیروگاه بخار بین ۷۲۰ تا ۱۳۶۰ ریال، در نیروگاه گازی بین ۷۴۰ تا ۱۳۸۰ ریال و در نیروگاه چرخه ترکیبی بین ۵۹۰ تا ۱۲۳۰ ریال هزینه است. در این پژوهش محققان میانگین هزینه‌های اجتماعی را در نظر گرفتند.

### نتایج و بحث

شکل ۱ تاثیر دما و پیش‌تیمارهای مختلف را بر مدت زمان خشک کردن لایه‌های سیب نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش دما به‌علت افزایش گرادیان حرارتی و خروج بیشتر و سریع‌تر رطوبت از محصول، مدت زمان خشک کردن کاهش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده در شکل ۱ همچنین نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف بر مدت زمان خشک شدن برگه‌های سیب در پیش‌تیمار مایکروویو و کمترین آن در به پیش‌تیمار بلانچینگ است. مایکروویو با قطبی کردن مولکول‌های آب سبب افزایش دمای درون محصول می‌شود و با تخریب بافت محصول و تشکیل کانال‌هایی با قطر بیشتر، از سخت‌شدگی سطحی در فرآیند خشک

شدن جلوگیری می‌کند و سبب خروج بهتر رطوبت از محصول می‌گردد. همچنین، پیش‌تیمار فراصوت با اعمال پدیده کاویتاسیون درون محصول سبب انبساط و انقباض‌های شدید در ماده می‌شود و این انقباض‌ها و انبساط‌ها ساختار محصول را شبیه به بافت اسفنجی می‌کند. تشکیل این بافت اسفنجی خروج رطوبت را نسبت به نمونه شاهد سریع‌تر خواهد کرد. در پیش‌تیمار اسمزی با ایجاد گرادیان غلظت بین ماده خشک‌شونده و محلول، رطوبت از محصول خارج می‌شود و هم‌زمان مقداری از مواد جامد به بافت محصول در حال خشک شدن نفوذ می‌کند. این امر سبب می‌گردد تا قسمتی از کانال‌های خروجی رطوبت در محصول با مواد جامد پر شود و خروج رطوبت نسبت به دو پیش‌تیمار مایکروویو و فراصوت کندتر شود. در پیش‌تیمار بلانچینگ با خراب شدن سطح رویی محصول در اثر برخورد با آب داغ، سبب مجاری خروجی رطوبت پر می‌شود و خروج رطوبت با کندی پیش می‌رود.

گفتنی است که استفاده از تمامی پیش‌تیمارها مدت زمان خشک کردن را نسبت به تیمار شاهد کاهش می‌دهد. دلیل این امر آن است که سخت‌شدگی سطحی در خلال فرآیند خشک کردن، به دلیل وجود میزان قند بالا در محصول سیب مانع خروج رطوبت از سطح محصول می‌گردد. استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف از تشکیل شدن این سطح سخت جلوگیری می‌کند و با افزایش میزان خروج رطوبت از محصول سرعت خشک کردن افزایش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های دیگر محققان در به‌کارگیری پیش‌تیمارها در خشک کردن موز (Shahidi et al., 2012)، گیاه آونلا (Prajapati et al., 2011)، کدو مسمایی (Daliri et al., 2015) و کیوی (Eshraghi et al., 2012) همخوانی دارد.



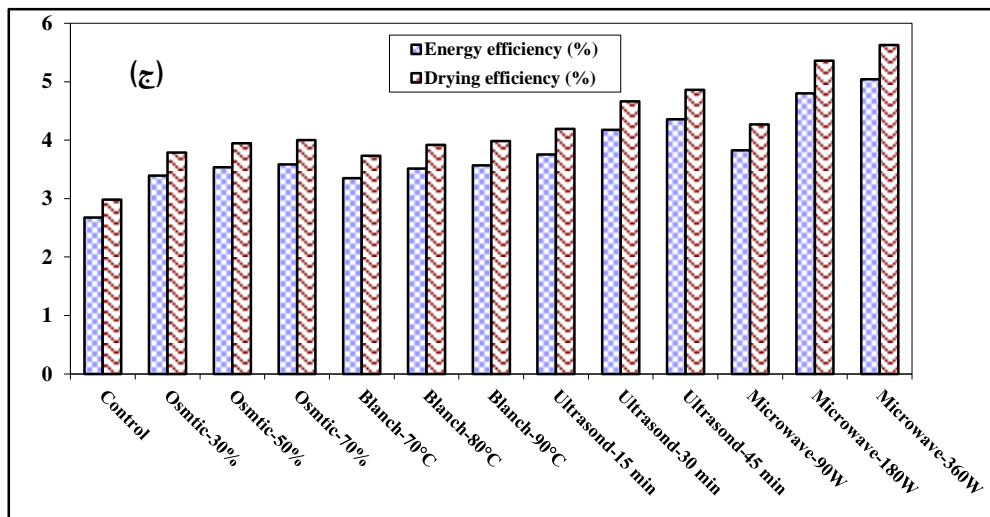
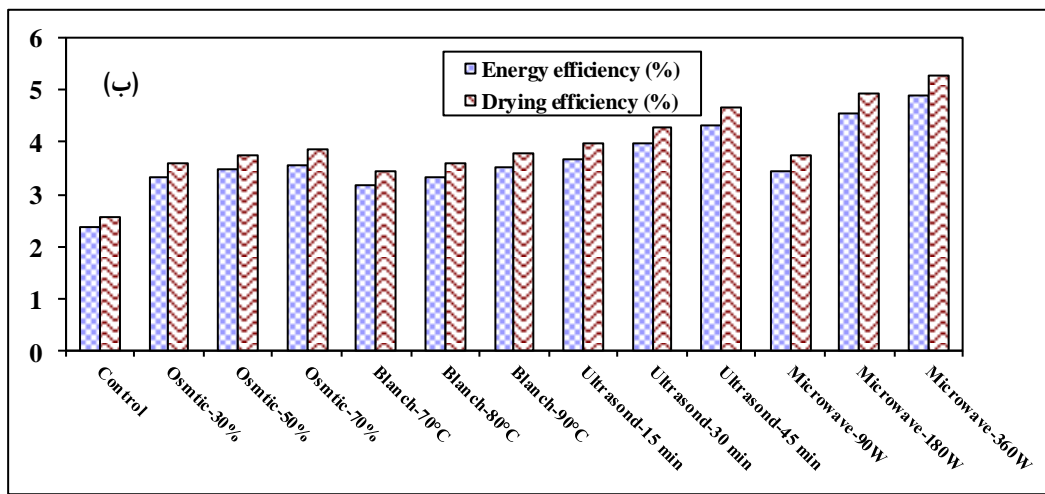
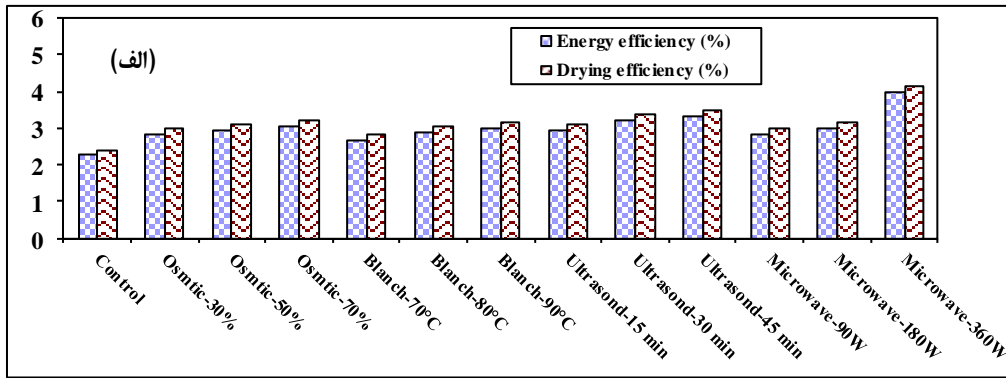
شکل ۱ - اثر دما و پیش تیمارهای مختلف بر مدت زمان خشک کردن لایه‌های سیب

نمی‌گردد و محصول سریع‌تر خشک می‌شود. افزایش غلظت ساکارز در محلول اسمزی سبب افزایش گرادیان بین محصول در حال خشک کردن و محلول خواهد شد و رطوبت بیشتری از محصول خارج می‌شود و در مدت زمان خشک کردن لایه‌های سیب در خشک‌کن جریان هوای گرم کاهش می‌یابد.

شکل ۳، اثر پیش تیمارهای مختلف اسمزی، بلانچینگ، فراصوت و مایکروویو را بر انرژی مخصوص مصرفی و گرمای مخصوص مصرفی در دماهای مختلف خشک کردن نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل پیداست، مقدار هر دو پارامتر انرژی و گرمای مخصوص مصرفی با افزایش دما روند نزولی دارد به طوری که بیشترین مقدار دو پارامتر انرژی و گرمای مخصوص به ترتیب به میزان ۱۰۹/۷۹ و ۱۰۵/۳۱ مگاژول بر کیلوگرم آب در دمای ۴۵ درجه سلسیوس و در تیمار شاهد به دست آمده است. کمترین مقدار دو پارامتر انرژی و گرمای مخصوص مصرفی به میزان ۴۷/۵۳ و ۴۶/۵۸ مگاژول بر کیلوگرم آب در دمای ۶۵ درجه سلسیوس و در حالت به کارگیری پیش تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات به مدت ۲/۵ دقیقه دیده می‌شود.

### بررسی بازده انرژی و خشک کردن

مقایسه حالت‌های مختلف شکل ۲ نشان می‌دهد که افزایش دما سبب افزایش بازده انرژی و نیز بازده خشک کردن می‌گردد. دما سرعت خروج رطوبت را از محصول بالا می‌برد و مدت زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد و به دنبال آن هر دو بازده با افزایش دما روند افزایشی خواهند داشت. از طرف دیگر، با مقایسه پیش تیمارهای مختلف می‌توان دریافت که بالاترین مقادیر هر دو بازده وقتی است که از پیش تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات به مدت ۲/۵ دقیقه استفاده شود. پایین‌ترین میزان بازده در پیش تیمار بلانچینگ با دمای ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ دقیقه دیده می‌شود. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که افزایش مدت زمان، غلظت، دما و توان در پیش تیمارهای مختلف سبب بهبود و افزایش هر دو بازده انرژی و خشک کردن می‌شود. دلیل امر می‌تواند این باشد که با افزایش توان مایکروویو در عملیات پیش تیمار میزان تخریب بافت محصول افزایش می‌یابد و سرعت خروج رطوبت افزایش می‌یابد. با افزایش مدت زمان پیش تیمار فراصوت و افزایش دمای آب برای پیش تیمار بلانچینگ، تغییرات (تخریب) در بافت محصول بیشتر می‌شود و لایه سخت در فرآیند خشک کردن در این محصول پیش تیمار شده تشکیل



شکل ۲- تاثیر پیش تیمارهای مختلف بر بازده انرژی و خشک کردن لایه‌های سیب در دمای الف) ۴۵، ب) ۵۵ و ج) ۶۵ درجه سلسیوس



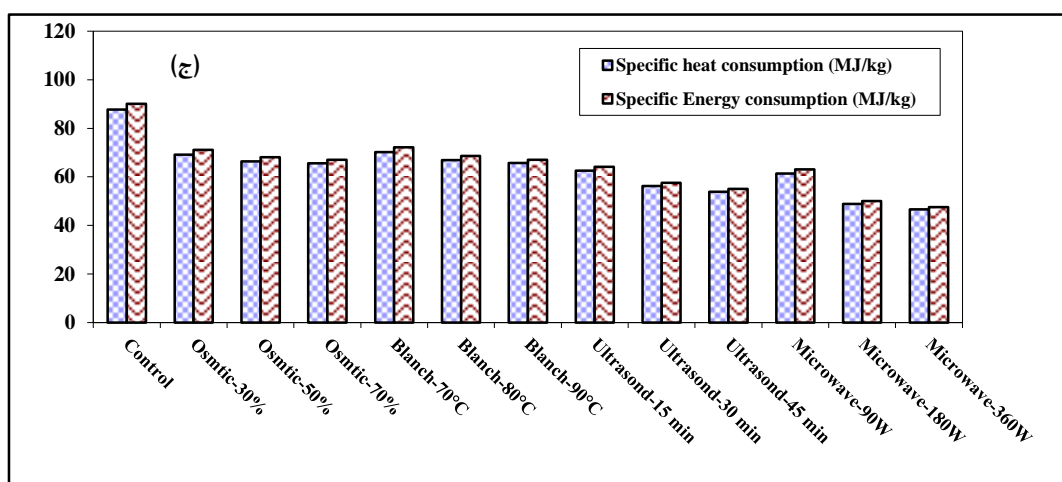
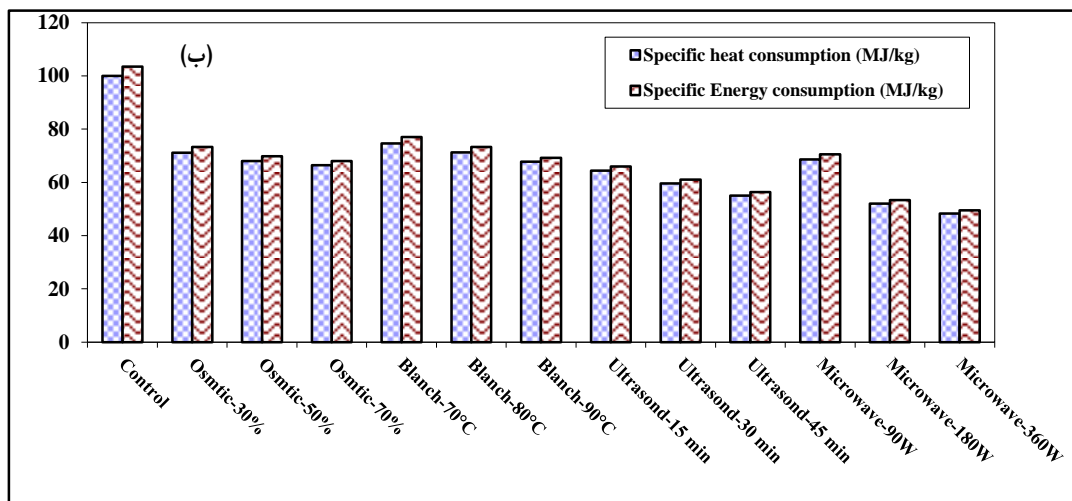
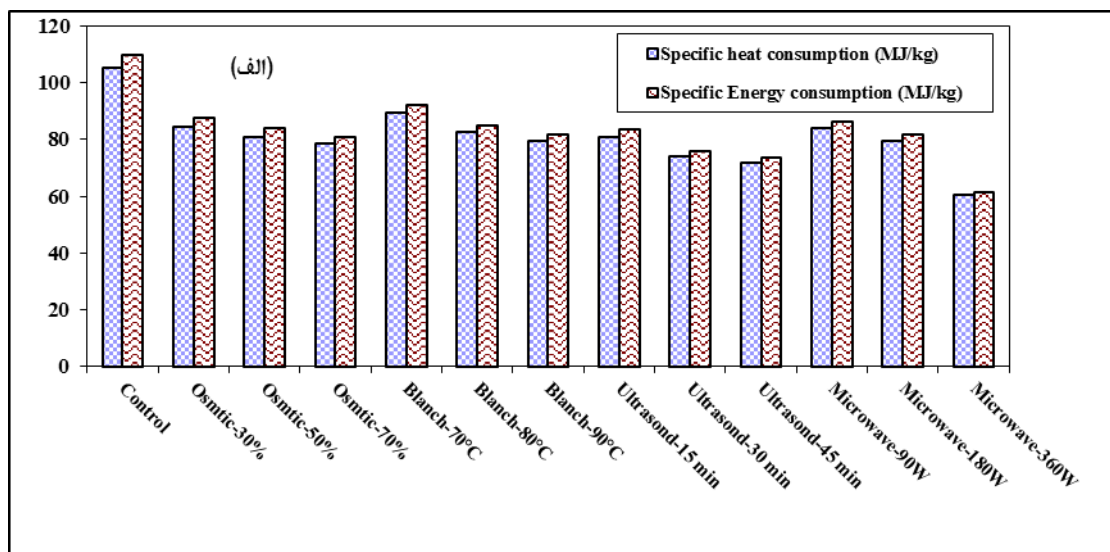
است که استفاده از پیش تیمارهای مختلف می تواند سبب کاهش انرژی مصرفی در طول فرآیند خشک کردن گردد.

### بازده حرارتی

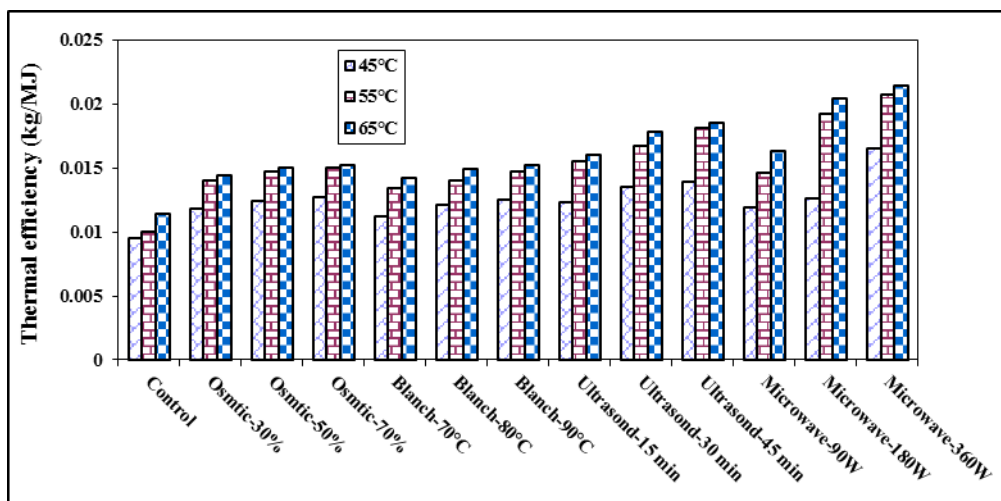
شکل ۴، اثر دما و پیش تیمارهای مختلف را بر تغییرات بازده حرارتی نشان می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده، تیمار شاهد در دماهای مختلف نسبت به سایر پیش تیمارهای دارای کمترین میزان بازده حرارتی است و استفاده از پیش تیمار مایکروویو دارای بالاترین میزان بازده حرارتی در همه آزمایش هاست. همان طور که از شکل ۴ پیداست، در دمای ۴۵ درجه سلسیوس، مقادیر بازده حرارتی در اکثر تیمارهای آزمایشی دمای اختلاف زیادی با مقادیر بازده حرارتی در دو دمای دیگر دارد که دلیل این امر می تواند افزایش سرعت خشک کردن در اثر افزایش دما باشد. به دنبال افزایش دمای خشک کردن، گرادیان حرارتی زیاد می شود و خروج رطوبت از داخل محصول به سطح آن افزایش و مدت زمان خشک کردن کاهش می یابد.

نتایج مشابهی در خشک کردن گیاه بابونه (Motevali et al., 2014) و ذرت (Syahrul et al., 2002) گزارش شده است.

نتایج به دست آمده همچنین نشان می دهد که تیمار شاهد در تمامی دماها بالاترین میزان انرژی مصرفی و حرارت یا گرمای مخصوص مورد نیاز را داشته است که دلیل این امر می تواند خروج کم رطوبت از محصول در حال خشک کردن و افزایش مدت زمان خشک کردن باشد. محصولات و مواد غذایی مانند سیب که مقدار قند آنها بالاست، به هنگام خروج رطوبت از آنها لایه سخت سطحی تشکیل می شود و به دنبال آن خروج رطوبت از محصول کند می شود. اعمال پیش تیمارهای مختلف از تشکیل شدن این لایه سخت سطحی جلوگیری می کند و به دنبال آن خروج رطوبت از سطح محصول بیشتر می شود و مدت زمان خشک کردن و سرانجام میزان انرژی مخصوص مصرفی و حرارت مخصوص مصرفی افزایش می یابد. این نتیجه با نتایج به دست آمده از خشک کردن زنجبیل (Agnihotri et al., 2016)، قارچ (Motevali et al., 2011b) و بابونه (Motevali et al., 2014) مشابه است که در آنها گفته شده با افزایش دما میزان انرژی مخصوص مصرفی روند کاهش دارد. همچنین در خشک کردن برگ جعفری (Sledz et al., 2016)، فلفل (Tunde-Akintunde et al., 2014) نتایج نشان داده



شکل ۳- اثر پیش تیمارهای مختلف بر انرژی و گرمای مخصوص مصرفی در دمای الف) ۷۵، ب) ۵۵ و ج) ۴۵ درجه سلسیوس ۶۵



شکل ۴- اثر دما و پیش تیمارهای مختلف بر بازده حرارتی خشک شدن لایه‌های سیب

تولید گاز  $\text{CO}_2$  به  $9/37$  کیلوگرم، میزان تولید گاز  $\text{CH}_4$  به  $4/45 \times 10^{-4}$  کیلوگرم، میزان تولید گاز  $\text{N}_2\text{O}$  به  $0/89 \times 10^{-4}$  کیلوگرم کاهش یافت. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که افزایش دما و استفاده از پیش تیمار سبب کاهش چشمگیر تولید گازهای گلخانه‌ای می‌گردد. میزان کاهش گازهای گلخانه‌ای  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  در نمونه‌هایی که پیش تیمارهای اسمزی، بلانچینگ، فراصوت و مایکروویو در آنها به کار گرفته شده است نسبت به تیمار شاهد در دمای ثابت  $45$  درجه سلسیوس به ترتیب  $34$ ،  $32$ ،  $47$  و  $74$  درصد و در دمای ثابت  $55$  درجه سلسیوس به ترتیب  $51$ ،  $48$ ،  $82$  و  $107$  درصد و در دمای ثابت  $65$  درجه سلسیوس به ترتیب  $34$ ،  $33$ ،  $63$  و  $88$  درصد است. دلیل کاهش چشمگیر میزان گازهای گلخانه‌ای با استفاده از پیش تیمارهای مختلف در نمونه‌های آزمایشی نسبت به تیمار شاهد می‌تواند این باشد که پیش تیمارهای مختلف از تشکیل شدن سطح سخت در هنگام خشک شدن لایه‌های سیب در خلال فرآیند خشک شدن جلوگیری می‌کنند؛ این امر به خروج سریع تر رطوبت از محصول کمک می‌کند و مدت زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد. به‌دنبال

#### بررسی آثار زیست محیطی در فرآیند خشک کردن لایه‌های سیب

شکل ۵، اثر دما و پیش تیمارهای مختلف را بر میزان تولید گازهای گلخانه‌ای و آلاینده ( $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$ ،  $\text{N}_2\text{O}$ ) در فرآیند خشک کردن لایه‌های سیب در یک خشک‌کن جریان هوای گرم نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل پیداست مقادیر گازهای گلخانه‌ای تولیدی بر اساس میزان آب خروجی از محصول ارائه شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بیشترین مقادیر  $\text{CO}_2$ ،  $\text{CH}_4$  و  $\text{N}_2\text{O}$  در تیمار شاهد و کمترین آنها در حالت استفاده از پیش تیمار مایکروویو تولید می‌گردد. در شکل ۵ نشان داده شده است که به‌ازای خروج هر کیلوگرم آب از لایه‌های سیب در دمای  $45$  درجه سلسیوس و تیمار شاهد به میزان  $21/19$  کیلوگرم  $\text{CO}_2$  و  $10/05 \times 10^{-4}$  کیلوگرم  $\text{CH}_4$  و  $2/01 \times 10^{-4}$  کیلوگرم  $\text{N}_2\text{O}$  تولید می‌شود. استفاده از پیش تیمار مایکروویو با توان  $360$  وات به مدت  $2/5$  دقیقه در دمای خشک کردن  $65$  درجه سلسیوس سبب کاهش میزان تولید گازهای گلخانه‌ای شده است به‌طوری‌که به‌ازای خروج هر کیلوگرم آب از لایه‌های سیب، میزان

افزایش سرعت فرایند خشک شدن، میزان انرژی مصرفی و انرژی مخصوص مورد نیاز در طول فرآیند خشک کردن کاهش می‌یابد. به دنبال کاهش مصرف انرژی در بخش خشک شدن، میزان مصرف سوخت در نتیجه میزان تولید گازهای گلخانه‌ای حاصل از مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی در نیروگاه‌ها کاهش می‌یابد.

با توجه به بحران گرمایش زمین و با علم به افزایش روزافزون جمعیت در جهان و مصرف محصولات کشاورزی و مواد غذایی و با توجه به مصرف بالای انرژی در بخش خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی به نظر می‌رسد استفاده از پیش‌تیمارهای مختلف می‌تواند روشی کاربردی و مهم برای کاهش مصرف انرژی و به دنبال آن کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای باشد. نتایج پژوهش (Motevali & Tabatabaee, 2017) در خشک کردن گل نرگس نشان داد که با افزایش دمای خشک شدن میزان تولید گازهای گلخانه‌ای کاهش می‌یابد که نتایج این پژوهش حاضر نیز با آن همخوانی دارد.

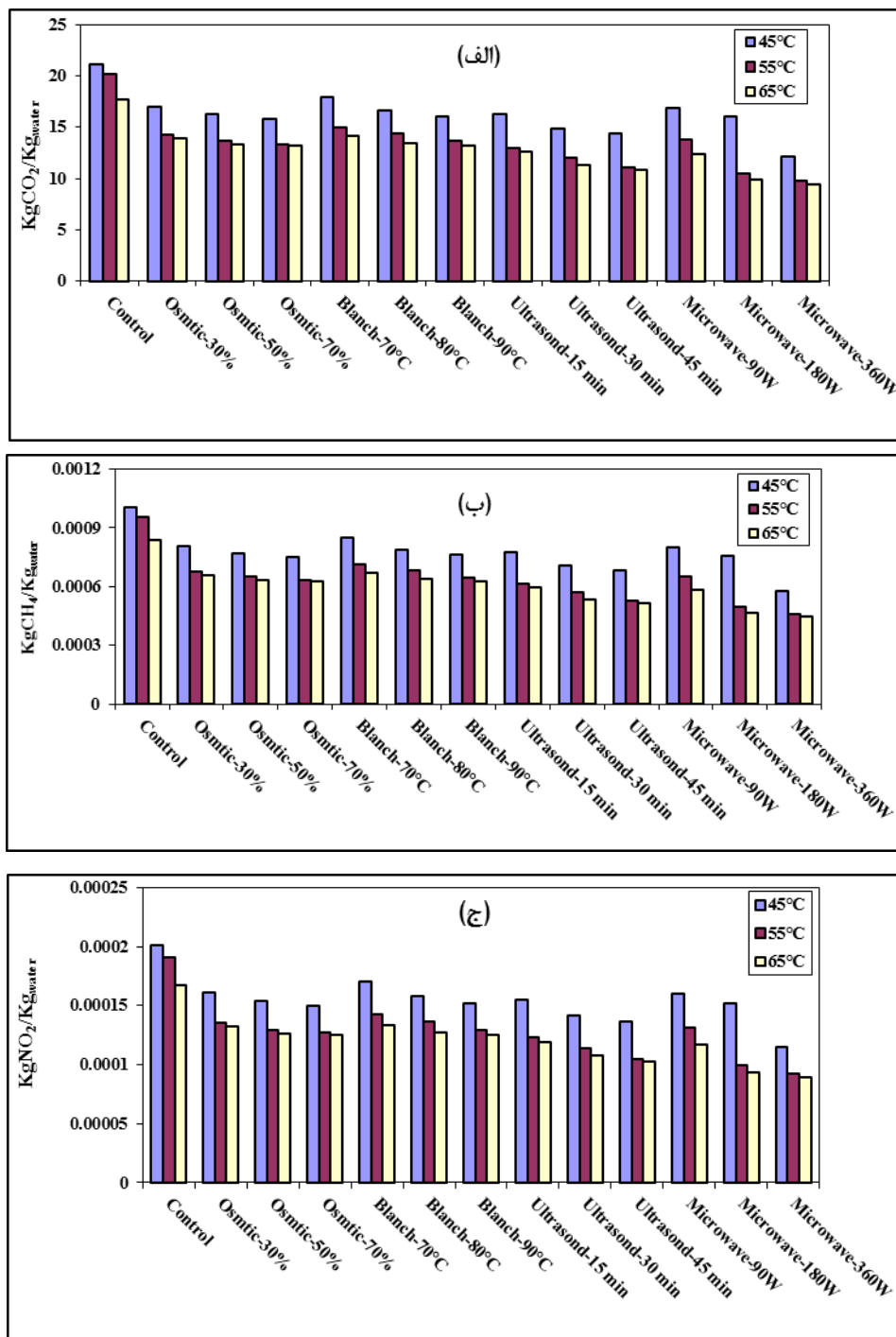
#### بررسی شرایط مختلف خشک کردن لایه‌های سیب بر هزینه‌های اجتماعی

نتایج بررسی هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در بخش‌های مختلف قابل بررسی است؛ یکی از آنها بخش مصرف‌کننده انرژی در کشاورزی باشد که وظیفه فرآوری محصولات کشاورزی را بر عهده دارد. خشک‌کن‌های محصولات کشاورزی اصولاً یکی از پرمصرف‌ترین سامانه‌ها در بخش کشاورزی هستند که مصرف بالای انرژی می‌تواند هزینه‌های اجتماعی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی را افزایش دهد. مقایسه نتایج به دست آمده در شکل ۶ نشان می‌دهد که هزینه‌های

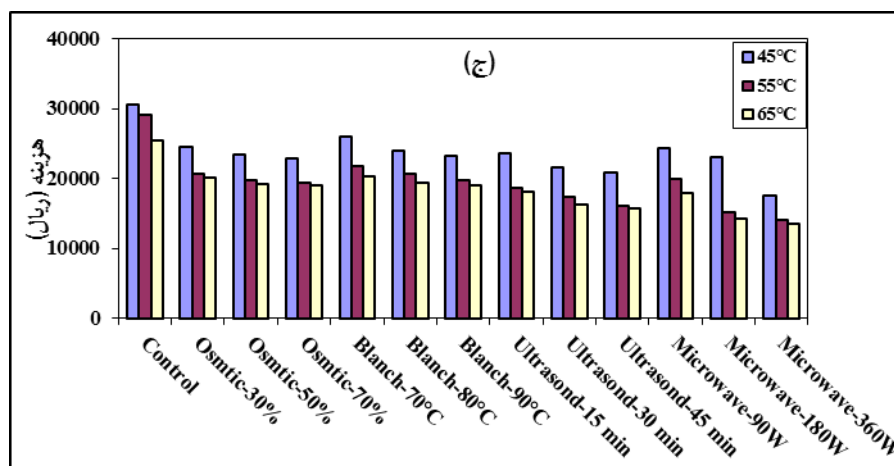
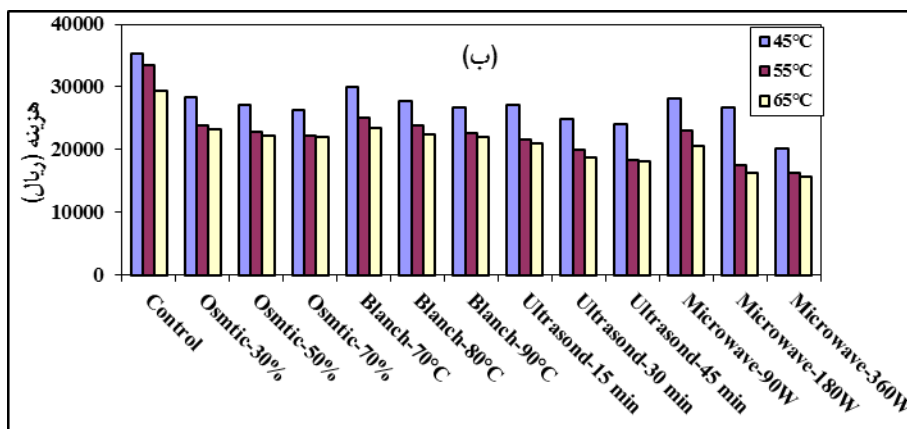
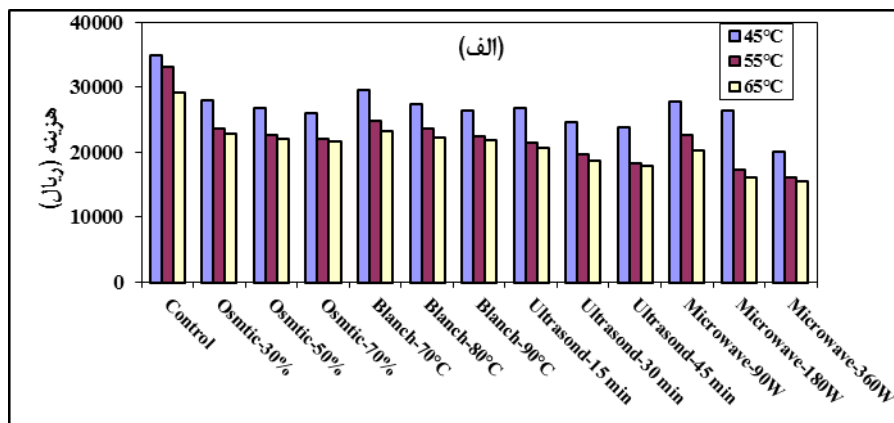
اجتماعی در خشک کردن لایه‌های سیب در تیمار شاهد نسبت به نمونه‌هایی که پیش‌تیمارهای مختلف در آنها به کار گرفته شده به ازای خروج یک کیلوگرم آب از محصول در حال خشک شدن به شکلی چشمگیر بالاست. بالاترین میزان هزینه‌های اجتماعی به ازای خروج یک کیلوگرم آب از لایه‌های سیب در تیمار شاهد و در دمای خشک کردن ۴۵ درجه سلسیوس برآورد شد که در نیروگاه بخار ۳۴۹۲۷/۶۰ ریال، در نیروگاه گازی ۳۵۲۶۳/۴۵ ریال و در نیروگاه سیکل ترکیبی ۳۰۵۶۱/۶۶ ریال است. پایین‌ترین میزان هزینه‌های اجتماعی به ازای خروج یک کیلوگرم آب در خشک کردن لایه‌های سیب در دمای ۶۵ درجه سلسیوس و در حالتی دیده می‌شود که از پیش‌تیمار مایکروویو با توان ۳۶۰ وات در مدت زمان ۲/۵ دقیقه استفاده شده است که هزینه آن در نیروگاه بخار ۱۵۴۴۹/۰۴ ریال، در نیروگاه گازی ۱۵۵۹۷/۵۹ ریال و در نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۳۵۱۷/۹۱ ریال برآورد شده است. بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روند افزایش دما در فرآیند خشک کردن در تیمارهای مختلف آزمایشی سبب کاهش میزان هزینه‌های اجتماعی می‌گردد. دو پیش‌تیمارهای مایکروویو و فراصوت بیشترین تاثیر و پیش‌تیمار بلانچینگ یا آب داغ کمترین تاثیر در کاهش هزینه‌های اجتماعی داشته‌اند. یکی از مهمترین دلایل در کاهش یا افزایش هزینه‌های اجتماعی، تاثیر پیش‌تیمارها بر مدت زمان خشک شدن و سرعت خروج رطوبت از محصول در حال خشک شدن است که این امر به نوبه خود می‌تواند بر انرژی مصرفی تاثیر گذاشته و این انرژی در طول فرآیند خشک شدن اثر مستقیمی بر میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در تولید انرژی در نیروگاه‌های مختلف دارد.

بررسی مصرف انرژی، میزان تولید گازهای آلاینده...

در اثر مصرف سوخت بیشتر در نیروگاه‌ها هزینه‌های مستقیم (هزینه عوامل تولید سوخت‌های فسیلی اعم اکتشاف و استخراج و ...) و هزینه‌های غیرمستقیم (هزینه‌های محیط زیست و سلامت) افزایش یافته و به دنبال آن مشکلات جامعه افزایش می‌یابد.



شکل ۵- اثر دما و پیش تیمارهای مختلف بر تغییرات گازهای گلخانه‌ای به وجود آمده در فرآیند خشک کردن لایه‌های سیب در دمای (الف) ۴۵، (ب) ۵۵ و (ج) ۶۵ درجه سلسیوس



شکل ۶- بررسی شرایط مختلف خشک کردن لایه‌های سیب بر هزینه‌های اجتماعی در نیروگاه‌های مختلف (الف بخار، ب) گازی و ج) سیکل ترکیبی

### نتیجه‌گیری

مورد در سه دمای ۴۵، ۵۵ و ۶۵ درجه سلسیوس و چهار پیش تیمار اسمز، فراصوت، بلانچینگ و مایکروویو مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر به دست آمد.

در پژوهش حاضر پارامترهای انرژی، اثرات زیست محیطی و پتانسیل گرمایش زمین و هزینه‌های اجتماعی خشک کردن لایه‌های سیب

اسمزی، بلانچینگ، فراصوت و مایکروویو نسبت به تیمار شاهد در دمای ثابت ۴۵ درجه سلسیوس به ترتیب ۳۴، ۳۲، ۴۷ و ۷۴ درصد و در دمای ثابت ۵۵ درجه سلسیوس میزان کاهش این گازها به ترتیب ۵۱، ۴۸، ۸۲ و ۱۰۷ درصد و در دمای ثابت ۶۵ درجه سلسیوس میزان کاهش این گازها به ترتیب ۳۴، ۳۳، ۶۳ و ۸۸ درصد بود.

- نتایج نشان داد که در بین پیش تیمارهای مختلف به کار گرفته شده در طول فرآیند خشک کردن پیش تیمارهای مایکروویو و فراصوت بیشترین تاثیر در کاهش هزینه‌های اجتماعی داشته و استفاده از پیش تیمار بلانچینگ یا آب داغ کمترین تاثیر در کاهش هزینه‌های اجتماعی داشت.

- با تغییرات دما از ۴۵ به ۶۵ درجه سلسیوس مقادیر پارامترهای انرژی شامل انرژی و حرارت مخصوص مصرفی روند نزولی داشت در حالی که مقادیر بازده انرژی، حرارت و خشک شدن روند صعودی داشت.

- استفاده از پیش تیمارهای مختلف سبب کاهش زمان خشک شدن و به دنبال آن افزایش بازده خشک شدن، انرژی و حرارتی گردید. مقایسه استفاده از پیش تیمارهای مختلف نشان داد که پیش تیمار مایکروویو بیشترین و پیش تیمار بلانچینگ کمترین تاثیر را بر پارامترهای انرژی نسبت به تیمار شاهد دارا بودند.

- میزان کاهش گاز گلخانه‌ای CO<sub>2</sub> در پیش تیمارهای

## مراجع

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H. and Samimi-Akhijahani, H. 2008. Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (*Berberidaceae*). *Energ. Convers. Manage.* 49, 2865-2871.
- Agnihotri, V., Jantwal, A. and Joshi, R. 2016. Determination of effective moisture diffusivity, energy consumption and active ingredient concentration variation in *Inula racemosa rhizomes* during drying. *Industrial Crops and Products*. *Indust. Crop. Prod.* 106, 40-47. Doi: 10.1016/j.indcrop.2016.09.068.
- Ahmadi-Moghadam, M., Ghodrati, S., Jaafarzadeh-Haghighi Fard, N. 2013. CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emission estimation using emission factors from Sugarcane Development Company. *Jentashapir Sci. Med. J.* 3, 9-17. (in Persian)
- Amiri-Chayjan, R., Salari, K., Abedi, Q. and Sabziparvar, A. A. 2013. Modeling moisture diffusivity, activation energy and specific energy consumption of squash seeds in a semi fluidized and fluidized bed drying. *J. Food Sci. Technol.* 50(4): 667-677.
- Anon. 2013. Iran Energy Balance-Sheet. Available at: URL: <http://pep.moe.gov.ir/>. (in Persian)
- Barbosa-Canovas, G. V. and Vega-Mercado, H. 1996. *Dehydration of Foods*. 1<sup>st</sup> Ed. NY/USA: Chapman and Hall.
- Brooker, D. B., Baker-Arkema, F. W. and Hal, C. W. 1992. *Drying and Storage of Grain and Oilseeds*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Daliri, N., Zeynali, F. and Smaili, M. 2015. Effect of pretreatments of blanching & microwave on quality characteristics of Zucchini slices (*Cucurbita pepo*. L). *Iranian Food Sci. Technol. Res. J.* 11(1): 48-55. (in Persian)
- Eshraghi, E., Maghsoudlo, Y., Kashani-Nejad, M., Beiraghi-Tosi, Sh. and Aalami, M. 2012. Studying the effect of ultrasound pre-treatment on drying kiwi fruit sheets *Iranian Food Sci. Technol. Res. J.* 7 (4): 273-279.

- Fernandes, F. A. N., Gallao, M. and Rodrigues, S. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *J. Food Eng.* 90, 186-190.
- Ghorbani, M., Darijani, A., Kochaki, A. and Matlabi, M. 2011. Estimation of environmental costs of greenhouse gas emissions in dairy cattle of Mashhad. *J. Agric. Econ. Dev.* 17 (66): 43-63.
- Kalantar, K. and Panahi, M. 2016. Economic assessment of environmental implication and social costs of energy use in iran road transport sector. *Quarter. Energ. Econ. Rev.* 12 (47): 181-204. (in Persian)
- Mazandarani, A., Mahlia, T. M. I., Chong, W. T. and Moghavvemi, M. 2011. Fuel consumption and emission prediction by Iranian power plants until 2025. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 15(3): 1575-1592.
- Motevali, A., Tabatabaee-Koloor, R. 2017. A comparison between pollutants and greenhouse gas emissions from operation of different dryers based on energy consumption of power plants. *J. Clean. Prod.* 154, 445-461.
- Motevali, A., Minaei, S. and Khoshtagaza, M. H. 2011a. Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energ. Convers. Manage.* 52, 1192-1199.
- Motevali, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M. H. and Amirnejat, H. 2011b. Comparison of energy consumption and specific energy requirements of different methods for drying mushroom slices. *Energy.* 36, 6433-6441.
- Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B. and Khoshtagaza, M. H. 2014. Comparison of energy parameters in various dryers. *Energ. Convers. Manage.* 87, 711-725.
- Nazari, S., Shahhoseini, O., Sohrabi-Kashani, A., Davari, S., Sahabi, H. and Rezaeian, A. 2012. SO<sub>2</sub> pollution of heavy oil-fired steam power plants in Iran. *Energ. Policy.* 43, 456-465.
- Nazmara, S. 2000. Coefficients of air emissions from chemical industries in the Greater Tehran area. M. Sc. Thesis. Environmental Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. (in Persian)
- Nowak, D. and Lewicki, P. 2004. Infrared drying of apple slices. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 5, 353-60.
- Pan, Z., Khir, R., Godfrey, L. D., Lewis, R., Thompson, J. F. and Salim, A. 2008. Feasibility of simultaneous rough rice and disinfestations by infrared radiation heating and rice milling quality. *J. Food Eng.* 84, 469-479.
- Prajapati, V. K., Nema, P. K. and Rathore, S. S. 2011. Effect of pretreatment and drying methods on quality of value-added dried aonla (*Emblica officinalis Gaertn*) shreds. *J. Food Sci. Technol.* 48(1): 45-52.
- Rahimi, N., Kargari, N., Samadyar, H. and Nikkhah-Monfared, M. 2014. Social (external) costs of NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> emissions from energy sector (power plants) in Iran. *J. Environ. Sci. Technol.* 16(3): 107-117. (in Persian)
- Sahin, A.Z. and Dincer, I. 2002. Graphical determination of drying process and moisture transfer parameters for solids drying. *Int. J. Heat Mass Transfer.* 45, 3267-3273.
- Shahidi, F., Mohebbi, M., Noshad, M., Ehtiati, A. and Fathi, M. 2012. Effect of osmotic and ultrasound pretreatments on some quality characteristics of air-dried banana. *Iranian Food Sci. Technol. Res. J.* 7(4): 263-272. (in Persian)
- Sledz, M., Wiktor, A., Rybak, K., Nowacka, M. and Witrowa-Rajchert, D. 2016. The impact of ultrasound and steam blanching pre-treatments on the drying kinetics, energy consumption and selected properties of parsley leaves. *Appl. Acous.* 103, 148-156.



- Syahrul, S., Hamdullahpur, F. and Dincer, I. 2002. Thermal analysis in fluidized bed drying of moist particles. *Appl. Therm. Eng.* 22, 1763-1775.
- Timoumi, S., Mihoubi, D. and Zagrouba, F. 2007. Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infrared drying of apple slices. *Lebensm-Wiss Technol.* 40, 1648-54.
- Tohidi, M., Sadeghi, M. and Toriki-Harchegani, M. 2017. Energy and quality aspects for fixed deep bed drying of paddy. *Renew. Sustain. Energ. Rev.* 70, 519-528.
- Tunde-Akintunde, T. Y., Oyelade, O. J. and Akintunde, B. O. 2014. Effect of drying temperatures and pre-treatments on drying characteristics, energy consumption, and quality of bell pepper. *Agric. Eng. Int. CIGR J.* 16(2): 108-118.
- Vieira, M. G. A., Estrella, L. and Rocha, S. C. S. 2007. Energy Efficiency and Drying Kinetics of Recycled Paper Pulp. *Dry. Technol.* 25, 1639-1648.
- Wang, Z., Zhang, Y., Zhang, B., Yang, F., Yu, X., Zhao, B. and Wei, Y. 2017. Analysis on energy consumption of drying process for dried Chinese noodles. *Appl. Therm. Eng.* 110, 941-948.

#### علائم و نشانه‌ها

تعریف و واحد	علامت	تعریف و واحد	علامت
کل زمان خشک کردن (s)	t	گرمای ویژه بخار آب ( $1828/8 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ )	$C_{pv}$
حجم مخصوص هوا ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )	$V_h$	گرمای ویژه هوا ( $1004/16 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ )	$C_{pa}$
مصرف ویژه انرژی بخار کردن آب از نمونه ( $\text{kJ/kg}$ )	S.E.C	دبی هوای ورودی ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Q
کل انرژی حرارتی مصرفی (MJ)	$E.C_{ter}$	جرم آب تبخیر شده (kg)	$m_v$
کل انرژی مکانیکی مصرفی (MJ)	$E.C_{mec}$	سطح مقطع خشک کن ( $\text{m}^2$ )	$A_b$
انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (MJ)	$E_{evaporation}$	رطوبت مطلق هوا ( $\text{kg}_{vapor}/\text{kg}_{dry air}$ )	$h_a$
انرژی لازم برای گرم کردن محصول (MJ)	$E_{heating}$	دمای هوای ورودی به محفظه خشک کن	$T_{in}$
انرژی لازم برای تبخیر رطوبت (MJ)	$E_{evaporation}$	دمای محیط	$T_{am}$
کل گرمای مصرفی (MJ)	$H_{total}$	افت فشار (پاسکال)	$\Delta P$
بازده انرژی (%)	E.E	بازده خشک شدن (درصد)	D.E
بازده حرارتی (%)	T.E	حرارت مصرفی مخصوص (درصد)	S.H.C



## **Investigation of Energy Parameters, Environment and Social Costs for Drying Process (Case Study: Apple Slices)**

**A. Motevali\*, S. J. Hashemi and E. Taghinezhad**

\* Corresponding Author: Associate Professor, Department of Mechanics of Biosystem Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: a.motevali@sanru.ac.ir

Received: 17 February 2017, Accepted: 10 March 2018

### **Abstract**

Now day, global warming is too considerable due to consumption of fossil fuels. Use of fossil fuels in power plants for electricity generates has the largest portion of greenhouse gas and emissions in the world. Agricultural section has the outstanding contribution in electricity industry; furthermore the processing and drying of agricultural products have the highest consumption energy. In the current research, the parameters of energy, the environment (global warming) and social costs of drying of apples slices at three temperatures 45, 55 and 65° C and the air velocity 0.5 m/s for different pretreatment of osmotic, ultrasound, blanching and microwave (each pretreatment at three levels) were evaluated. Result shown that the amount of time, energy consumption, specific energy and heat consumption decreased with increasing temperature and using different pretreatments as compared to control treatment. Also, energy, drying and thermal efficiency, increased with increasing air temperature. The highest amounts of energy and drying efficiency were obtained %5.04 and %5.62, respectively for microwave pretreatment involving 360 W power and 2.5 min at 65 °C temperature. Normal treatment with 45°C temperature gave the lowest value of efficiency energy (%2.27) and drying (%2.38). Results revealed that the highest and lowest greenhouse gas for the withdrawal one kilogram of water from apple slices was produced 21.19 and 9.37 kgCO<sub>2</sub>, 10.05×10<sup>-4</sup> and 4.45×10<sup>-4</sup> kgCH<sub>4</sub>, 2.01×10<sup>-4</sup> and 0.89×10<sup>-4</sup> kgNO<sub>2</sub> respectively. Also, the highest and lowest social costs for leaving one kg of water from apple slices was obtained 34927.60 and 15449.04 Rials for steam power plant, 35263.45 and 15597.59 Rials for power plant and 30561.66 and 13517.91 Rials for combined cycle power plant, respectively.

**Keywords:** Energy Efficiency, Greenhouse Gases, Specific Heat Consumption