



بررسی اثر پیش تیمار پلاسما ی سد دی الکترونیک در سینتیک خشک کردن برگ بو (*nobilis Laurus*)

اسماعیل مریدار^۱، محمد رضا بیاتی^۲، جلال برادران مطیع^{۳*}، مهدی خجسته پور^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (moridarseydabadi@gmail.com)

۲. استادیار گروه مهندسی بیوسستم دانشگاه فردوسی مشهد (bayati@um.ac.ir)

۳. استادیار گروه مهندسی بیوسستم دانشگاه فردوسی مشهد (j.baradaran@um.ac.ir) - نویسنده مسئول

۴. استاد گروه مهندسی بیوسستم دانشگاه فردوسی مشهد (mkhpour@um.ac.ir)

چکیده

پلاسما ی سرد محیطی مملو از یون های فعال و ذرات پراثری است که با برخورد به سطح نمونه در زمینه اسریلیزاسیون، آب دوست کردن و بهبود رنگ مواد استفاده می شود. این ذرات موجب ایجاد میکرو-روزنه هایی در سطح نمونه شده می تواند در فرایند خروج رطوبت و خشک کردن مواد ح ساس مفید باشد. برگ بو با نام علمی *nobilis Laurus* گیاهی همیشه سبز می باشد که دارای خواص دارویی متنوعی بوده و در صنعت غذایی نیز استفاده می شود. در این تحقیق اثر استفاده از پیش تیمار پلاسما ی سرد DBD بر سینتیک خشک شدن برگ بو در خشک کن کابینتی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات به روش سطح پاسخ بر پایه طرح باکس بنکن با متغیر های مستقل دما (۳۰، ۴۰، ۵۰ درجه سلسیوس)، سرعت باد (۱، ۲، ۳ متر بر ثانیه)، زمان پلاسما دهی (صفر، ۱۰، ۲۰ ثانیه) و شدت پلاسما دهی (۲۳، ۲۹ و ۳۵ کیلوولت) انجام شد. مغییر های وابسته شامل زمان خشک شدن تا رطوبت ده در صد و حداقل رطوبت قابل دستیافت بود. نتایج اثر معنی دار دما، سرعت باد و زمان پلاسما دهی را نشان داد. افزایش دما موجب کاهش زمان خشک شدن و همچنین کاهش حداقل رطوبت قابل دستیابی شد. شدت پلاسما دهی اثر معنی داری بر حداقل رطوبت قابل دستیافت و زمان خشک شدن نداشت. نتایج اثر معنی دار زمان پلاسما دهی را بیان کرد به طوری که ۲۰ ثانیه پلاسما دهی موجب کاهش ۲۰ درصد در زمان خشک شدن نسبت به تیمار بدون پلاسما گردید. این امر می توان موجب صرفه جویی قابل توجهی در توان مصرفی دستگاه خشک کن شود.

کلمات کلیدی:

پلاسما ی سرد، برگ بو، خشک کن کابینتی، سینتیک خشک شدن، روش سطح پاسخ

*نویسنده مسئول: j.baradaran@um.ac.ir



بررسی اثر پیش تیمار پلاسماى سد دی الکتریک در سینتیک خشک کردن برگ بو (*nobilis Laurus*)

مقدمه

برگ بو با نام علمی *nobilis Laurus* و نام‌های عمومی انگلیسی *Bay sweet* و *Tree Bay* یا *laurel* گیاهی از تیره *Lauraceae* است (شکل ۱) (زرگری، ۱۳۶۹). برگ بو یک گیاه همیشه سبز می‌باشد که به ارتفاع ۱۰ متر می‌رسد دارای تنه صاف به رنگ سبز تیره تا سیاه می‌باشد. این درخت بومی نواحی مدیترانه و اروپای جنوبی است و در زمان سلسله قاجاریه به ایران وارد شده است. برگ بو به صورت درخت و درختچه همیشه سبز و ناخزان است (در مناطق با زمستان‌های خیلی سرد باید محافظت شود) که در شرایط مساعد ارتفاع آن به ۱۵-۲۰ متر هم می‌رسد (میرحیدر، ۱۳۷۲). چیدن برگ‌های معطر آن برای اینکه سبزی کامل داشته باشد باید صبح زود انجام شود و برای خشک کردن روی هم انباشته نشود و در لایه‌های نازک و در سایه پهن و خشک شود. خشک کردن در آفتاب موجب می‌شود که رنگ سبز زیبای آن قهوه‌ای شود و مقدار زیادی روغن معطر و اسانس آن از بین برود (میرحیدر، ۱۳۷۲). از برگ‌های این گیاه به عنوان خوش بو کننده طعم غذا در آشپزی مدیترانه‌ای استفاده‌های زیادی می‌شود. شکل ۱ نمایی از برگ‌های تازه چیده شده گیاه برگ بو را نشان می‌دهد. گیاهان این تیره به علت داشتن اسانس، خواص دارویی و درمانی بسیاری دارند. برخی از آنها مولد کافور هستند. از برگ این گیاه سابقاً در طب عوام به عنوان معرق و رفع نزله استفاده به عمل می‌آمده است. میوه آن به صورت خشک شده مصرف می‌شود و دارای اثر درمانی قوی تری نسبت به برگ‌هاست و مصرف آن سابقاً برای رفع کم‌اشتهایی و ضعف معده معمول بوده است. در برونشیت‌های مزمن نیز توصیه شده است. اسانس آن در پیچ خوردگی مفاصل، بواسیر و دردهای روماتیسمی، به صورت مالش دادن بر روی عضو، مصرف دارد (Kilic et al., 2005).



شکل ۱. تصویری از برگ‌های گیاه برگ بو

خشک کردن برگ‌ها یکی از روش‌های متداول فرآوری برگ بو است به طوری که هرچه برگ‌ها در دمای پایین‌تری خشک شوند درصد کمتری از مواد موثره آن از دست می‌رود. از طرفی در دمای پایین زمان خشک کردن طولانی است که بدین منظور تحقیق و توسعه روش‌های نوین خشک کردن و استفاده از پیش تیمارها در فرایند خشک کردن می‌تواند مفید باشد.

خشک کردن به روش سنتی یک عمل نسبتاً کند است، تلفات قابل توجهی ممکن است در فرآیند خشک شدن با استفاده از این روش رخ دهد. علاوه بر این به دلیل هجوم حشرات، واکنش‌های آنزیمی و رشد میکروارگانیسم‌ها، کاهش کیفیت نهایی محصول را در پی دارد. این روش دارای معایبی از جمله فساد محصول به دلیل شرایط نامساعد اقلیمی مانند باران، وزش باد، خشک شدن بیش از حد، خشک شدن ناکافی، آلودگی توسط مواد خارجی مانند خاک گردوغبار، از بین رفتن محصول به وسیله پرندگان و حیوانات، خراب شدن مواد در اثر تجزیه، هجوم حشرات و رشد قارچ می‌باشد. علاوه بر این‌ها تغییر رنگ توسط اشعه ماوراءبنفش خورشید برای خشک کردن در روش سنتی رخ می‌دهد. در نهایت نیز این روش کاری فشرده و زمانبر است و به منطقه وسیعی نیاز دارد.

با هر روشی که عمل خشک کردن مواد غذایی انجام گیرد دو مکانیزم زیر همزمان رخ می‌دهد:

انتقال حرارت به داخل ماده غذایی

گرفتن رطوبت از ماده غذایی

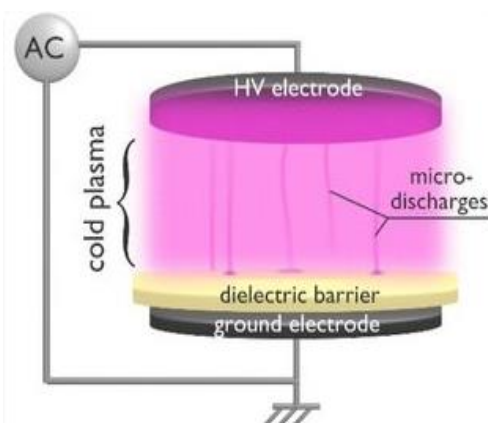
در فرایند خشک کردن مواد غذایی، سعی بر این است که سرعت خشک شدن از طریق انتقال گرما و رطوبت به حداکثر ممکن رسانده شود. از این منظر، فاکتورهایی شامل دما، سطح ویژه محصول، جریان هوا بروی محصول و نرخ انتقال گرما و رطوبت درون بافت محصول بر سرعت خشک شدن تاثیر گذار است. از آنجایی که در فرایند خشک کردن اغلب مواد غذایی علی‌الخصوص گیاهان دارویی به جهت حفظ مواد موثره، نمی‌توان دما را از مقدار مشخصی بالاتر برد، تحقیقات بر روی سایر روش‌های افزایش سرعت خشک کردن معطوف شده است. استفاده از پیش تیمارها در فرایند خشک کردن، شامل پیش تیمارهای شیمیایی و فیزیکی است که می‌تواند شرایطی را ایجاد کند که کیفیت محصول خشک شده افزایش یافته و راندمان مصرف انرژی را کاهش دهد. یکی از پیش تیمارهای فیزیکی که استفاده از آن امروزه در صنعت صنایع غذایی رو به گسترش است، پیش تیمار پلاسمای سرد می‌باشد. پلاسمای سرد سد دی الکتریک (DBD)^۱ با ایجاد محیطی مملو از یون‌های فعال و پراثری ضمن ایجاد ریز-روزنه^۲هایی در سطح برگ و محصول شرایط را محیا می‌کند که رطوبت با سرعت بیشتری از سطح خارج شود (Rezaei *et al.*, 2021). پیش تیمار پلاسمای سرد، در دسته پیش تیمارهای فیزیکی قرار می‌گیرد و تاثیر سوء بر کیفیت و مواد موثره گیاه نخواهد داشت. همچنین در کنار استفاده از پیش تیمار بکار گرفتن جریان هوا برای دور کردن هوای مرطوب از اطراف محصول (در خشک کن‌های کابینتی) موجب افزایش سرعت خشک شدن می‌شود. تحقیقات مختلفی اثر بخشی استفاده از پیش تیمار پلاسمای سرد را در بهبود فرایند خشک کردن شامل کاهش زمان خشک شدن، بهبود شکل و تغییرات رنگ محصولات را نشان داده‌اند.

پلاسمای شامل ذرات باردار، گونه‌های واکنشگر (برای مثال گونه‌های واکنش گر اکسیژن و گونه‌های واکنش گر نیتروژن)، مولکول‌های برانگیخته و اشعه ماوراءبنفش است که با برخورد به سطح نمونه منجر به غیرفعالسازی میکروارگانیسم‌ها می‌شود (Liao *et al.*, 2017). از کاربردهای پلاسمای سرد در صنایع غذایی می‌توان به ضدعفونی کردن مواد غذایی، غیرفعال کردن

¹ Dielectric barrier discharge

² Micro pore

آنزیم، حذف سموم، اصلاح بسته بندی مواد غذایی اشاره نمود. عواملی مانند pH، نوع مواد غذایی و رطوبت نسبی ماده غذایی تاثیر قابل توجهی بر اثر بخشی پلاسمای سرد دارند (Tappi et al, 2014).



شکل ۲. شماتیک فرایند ایجاد پلاسمای سرد. با اعمال یک میدان الکتریکی قوی در یک فاصله کوتاه بین دو الکترود، ملکول های هوا یا گاز انتخابی با دریافت انرژی به فاز پلازما تبدیل می شوند.

تحقیقات گسترده ای در خصوص بررسی شرایط خشک کردن و سینتیک خشک شدن محصولات کشاورزی و غذایی انجام شده است که در ادامه تعدادی از آنها که با هدف این تحقیق بیشترین ارتباط را دارند بیان می شود. در تحقیقی، از یک خشک کن خورشیدی کابینتی برای خشک کردن لایه نازک برگ های به لیمو استفاده شد. صفات مستقل عبارت بودند از: سرعت هوا (۲، ۲/۵ و ۳ متر بر ثانیه)، دمای هوا (۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس) و قطر معادل مش سینی محصول (۳، ۶ و ۱۰ میلی متر). صفت مورد اندازه گیری زمان خشک شدن برگ های به لیمو به منظور رسیدن رطوبت از ۲۴۰٪ (بر مبنای خشک) به رطوبت ۱۰٪ (بر مبنای خشک) بود. نتایج نشان داد که سرعت و دمای هوا و اندازه مش سینی محصول اثر معنی داری بر زمان خشک شدن برگ گیاه دارویی به لیمو دارند. بر این اساس، با افزایش سرعت و دمای هوا زمان خشک شدن محصول کاهش یافت. تاثیر اندازه مش سینی بر زمان خشک شدن تحت سایر شرایط خشک شدن متفاوت بود (مرادی و همکاران، ۱۳۹۸).

مطالعه دیگری با هدف تعیین تاثیر دمای هوا بر سینتیک خشک شدن برگ مریم گلی در دماهای ۴۵، ۵۰، ۵۵، ۶۰ و ۶۵ درجه سانتی گراد در خشک کن کابینتی انجام شد. زمان خشک شدن به طور قابل توجهی تحت تاثیر دما قرار گرفت. دمای خشک شدن به طور قابل توجهی بر محتوای فنلی کل (TPC) و فعالیت آنتی اکسیدانی (AA) تاثیر گذاشت (Doymaz & Karasu, 2018).

در تحقیقی برخی پارامترها جهت بهینه سازی خشک کردن برگ بو (*Laurus nobilis*) استفاده شد. این مطالعه بر مقادیر مختلف برای پارامترهای زیر متمرکز شد: دما، رطوبت نسبی و سرعت هوای خشک شدن. پاسخ های اندازه گیری شده شامل:

کیفیت برگ (رنگ)، زمان خشک شدن و انتشار جرم در یک برگ بود. شرایط بهینه برای دما، رطوبت نسبی و سرعت به ترتیب ۵۹/۸۷ درجه سلسیوس، ۱۵ درصد و ۱/۵۱ متر بر ثانیه بدست آمد. سپس این شرایط به صورت تجربی تایید شد (Soltani *et al.*, 2021). از تفاوت های تحقیق حاضر با این مقاله بررسی نقش پیش تیمار پلاسما سرد و همچنین بررسی سینتیک خشک کردن می باشد.

در تحقیقی از تخلیه سد دی الکتریک (DBD) پلاسما سرد (CP) برای تیمار سطحی دانه های رازیانه (*Foeniculum vulgare Mill*) و برگ های نعناع (*Mentha spicata L*) استفاده شده است. آزمایش ها با دو متغیر مستقل طراحی شدند: زمان های پلاسما دهی (۵-۱۵ دقیقه) و مقدار ولتاژ (۱۷-۲۳ kV). عملکرد اسانس گیری با اعمال تیمار افزایش یافت. بازده بهینه در زمان پلاسما دهی ۱۰ دقیقه و ولتاژ اعمالی ۱۹ کیلو ولت، به ترتیب با ۱/۸۳ (درصد v/w) و ۱/۸۱ (درصد v/w)، با در نظر گرفتن رازیانه و نعناع بدست آمد. هیچ تغییر قابل توجهی در ترکیبات اسانس در مورد هر دو ماده مشاهده نشد (Rezaei *et al.*, 2021).

در پژوهشی اثر فرکانس های مختلف تحریک پلاسما سرد (۲۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ هرتز) به عنوان پیش تیمار برای خشک کردن توکوما (tucumã) بررسی شد. تنوع رنگ حاشیه ای و کاهش زمان خشک شدن در نمونه های تیمار شده با فرکانس های ۲۰۰ و ۸۰۰ هرتز مشاهده شد (Loureiro *et al.*, 2021).

به منظور بررسی تاثیر سرعت جریان هوا و شدت تابش مادون قرمز بر زمان خشک کردن، درصد و اجزای اسانس گیاه دارویی به لیمو (*Lippia citriodora Kunth*)، آزمایشی توسط عبادی و همکاران (۱۳۹۵) به اجرا درآمد. نتایج نشان داد با کاهش سرعت جریان هوا و افزایش میزان شدت تابش مادون قرمز، زمان خشک شدن نمونه ها کاهش یافت بطوریکه کمترین مدت زمان خشک کردن (۳۵ دقیقه) مربوط به تیمار سرعت جریان هوای ۰/۵ (m/s) و شدت تابش ۰/۵ (W/cm²) بود و بیشترین زمان (۶۵ دقیقه) به تیمار سرعت جریان هوا ۱/۵ (m/s) و شدت تابش ۰/۳ (W/cm²) تعلق داشت (عبادی و همکاران، ۱۳۹۵).

در پژوهش دیگری، برگ های بو با استفاده از خشک کن همرفتی در مقیاس پایلوت-کابینتی، خشک شدند. آزمایشات خشک کردن با استفاده از سرعت هوای ثابت ۲ متر بر ثانیه و دمای ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سانتیگراد انجام شد. سرعت خشک شدن با افزایش دمای هوا افزایش می یابد و در نتیجه زمان خشک شدن کاهش می یابد (Doymaz, 2014).

فرایند خشک کردن برگ گیاهان با کاربرد دارویی و غذایی از نظر حفظ کیفیت ظاهری و خواص فیزیکی شیمیایی محصول اهمیت زیاد دارد، همچنین با توجه به بررسی های انجام شده در منابع و مقالات، تحقیقی در خصوص بررسی سینتیک خشک کردن برگ های گیاه برگ بو و تاثیر شرایط بهینه دما، زمان و اثر شدت پیش تیمار پلاسما سرد، یافت نشد. لذا در این مقاله ضمن بررسی سینتیک خشک کردن گیاه برگ بو شرایط بهینه خشک کردن (دما و سرعت باد) و اثر پیش تیمار پلاسما (زمان پلاسما دهی و شدت پلاسما) بررسی شد.

مواد و روش‌ها

به منظور تهیه نمونه های برگ و در دسترس بودن نمونه ها، دو عدد درختچه برگ بو از نهالستان های مشهد خریداری شد. درختچه ها به گلخانه دانشگاه انتقال یافت و نگهداری شد. یک روز قبل از هر مرحله چیدن برگ ها آبیاری انجام شد. نمونه های تهیه شده در داخل پلاستیک های زیپ دار قرار داده و سپس نمونه ها در یخچال آزمایشگاه در دمای ۵ درجه سلسیوس تا زمان آزمایش نگهداری گردید.



شکل ۳. درختچه برگ بو خریداری شده

مشخصات فنی خشک کن

برای انجام آزمایش از یک دستگاه خشک کن کابینتی آزمایشگاهی با قابلیت تنظیم سرعت جریان هوا و تنظیم دما و همچنین امکانات تصویر برداری بود استفاده گردید. (شکل ۴). خشک کن شامل یک فن سانتریفوژ، کانال عبور جریان هوا، المنت های حرارتی، لوله های مستقیم کننده، و سینی محصولات است. تابلو برق کنترل و فن دستگاه در طبقه پایین و کانال عبور هوا که شامل المنت های حرارتی الکتریکی، بدنه عایق و محفظه قرارگیری نمونه در طبقه بالایی دستگاه قرار گرفته است. این دستگاه مجهز به محلی برای نصب دوربین تصویر برداری جهت بررسی تغییرات نمونه ها در حین خشک شدن نیز می باشد.

سرعت باد توسط بادسنج دیجیتال مدل PROVA سری AVM-07 اندازه گیری و فرکانس کاری موتور فن دستگاه توسط اینورتور بر اساس متغیر های مستقل در طرح آزمایش تعیین و تنظیم شد. دما سنج دستگاه خشک کن که به واحد کنترلر متصل است توسط بادسنج دماسنج، هات وایر تستو مدل tes-425 کنترل و کالیبره شد.

جدول ۱. مشخصات فنی دستگاه خشک کن مورد استفاده در آزمایشات

تجهیز	نوع	محدوده کاری	شرکت سازنده
الکتروموتور فن	سه فاز ۰/۷۵ اسب بخار	۳ تا ۵۰ Hz	موتورژن تبریز
کنترلر برق	PR220	۰ تا ۵۰ Hz	پاد رعد
ترموستات	۵°C الی ۱۲۵°C	۵۰ تا ۶۰ Hz	شیوا امواج
اینورتر	N50	۰ تا ۶۰ Hz	Hyundai
المنت های هیتر	میله ای	۴۰۰۰ W	تکنودیزاین
	طول (cm)	عرض (cm)	ارتفاع (cm)
ابعاد کلی دستگاه	۲۴۰	۸۵	۲۰۰
ابعاد محفظه نمونه	۵۵	۴۵	۳۰



شکل ۴. نمایی از خشک کن کابینتی مورد استفاده در این تحقیق

پلاسمای سرد

در این تحقیق به منظور بررسی اثر اعمال پیش تیمار پلاسمای سرد، نمونه‌های برگ بو در دستگاه پلاسمای سرد مدل A18 (شرکت کاوش یاران فن پویا، ساخت ایران) در معرض پلاسمای قرار گرفتند. پلاسمای سرد به روش تخلیه سد دی الکتریک با ایجاد اختلاف پتانسیل و جریان گاز هوا ایجاد شد. متغیرهای فرایند در این پژوهش شامل ۳ سطح ولتاژ ورودی ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ ولت و مدت زمان پلاسمادهی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ثانیه بود. سطوح ولتاژ ورودی دستگاه معادل با ایجاد میدان الکتریکی به ترتیب برابر با ۲۳، ۲۹ و ۳۵ کیلوولت بر روی نمونه می باشد (شکل ۵).



شکل ۵. دستگاه اعمال پیش تیمار پلاسما ی سرد

محتوای رطوبتی نمونه‌ها:

محتوای رطوبتی بیانگر میزان آب موجود در یک نمونه مرطوب می‌باشد. عموماً از دو مبنای بیان میزان رطوبت استفاده می‌کنند، که عبارتند از مقدار رطوبت بر مبنای تر و مقدار رطوبت بر مبنای خشک؛ نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده غذایی در هر لحظه در طی خشک شدن است.

در این تحقیق اندازه‌گیری رطوبت نمونه‌های برگ بو بر اساس استاندارد موجود انجام شد. برای هر تیمار تعداد ۲۵ عدد برگ تازه و سالم با شکل ظاهری یکسان انتخاب شد و پس از اعمال پیش تیمار پلاسما توزین گردید. وزن اولیه برگ‌ها به کمک ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم (AND GF-6100، ساخت ژاپن) اندازه‌گیری شد. تیمارها درون خشک کن کابینتی قرار داده شد و به منظور تعیین روند تغییرات محتوای رطوبتی و بدست آورد سینتیک خشک شدن نمونه‌های برگ بو در بازه‌های زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰ دقیقه تا زمانی در سه بار توزین متوالی تغییر وزن مشاهده نشود (W_t)، وزن آنها ثبت شد. این در حالی بود که ترازو از طریق یک پایه رابط با توری مشبک نمونه‌ها درون خشک کن در ارتباط بود. پس از پایان مرحله خشک شدن در خشک کن کابینتی نمونه‌ها به آون الکتریکی منتقل گردید و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد تا وزن خشک (W_d) آنها به منظور محاسبات درصد رطوبت تعیین شود. درصد رطوبت نمونه‌ها بر پایه تر از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$M_{wb}(\%) = \frac{W_t - W_d}{W_t} \times 100 \quad (1)$$

رطوبت اولیه نمونه‌های برگ بو ۵۰ درصد بر پایه تر بود که در حین فرایند خشک شدن تا محدوده ۸ الی ۱۱ درصد (با توجه نوع تیمار) کاهش پیدا کرد. با توجه به داده‌های زمانی از وزن نمونه‌ها، درصد‌های رطوبت محاسبه و نمودار روند تغییرات درصد رطوبت رسم شد.

چهاردهمین گنگره ملی مهندسی مکانیک پوسیتیم و مکانیزاسیون ایران،

۱۵-۱۷ شهریور ۱۴۰۱



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



دانشگاه رازی

14th National Congress of Mechanical Engineering of Biosystems and Mechanization of Iran, 6-8 Sep 2022



شکل ۶. توزین نمونه‌ها قبل قرارگیری در خشک‌کن توسط ترازوی دیجیتال

طرح کلی آزمایش

به منظور بررسی اثر پیش تیمار پلاسما سرد، آزمایشات بر پایه طرح باکس بنکن به روش سطح پاسخ^۳ طراحی شد. در این پژوهش متغیرهای مستقل شامل زمان پلاسما دهی (در ۳ سطح به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ ثانیه)، شدت پلاسما (سه سطح ۲۳، ۲۹ و ۳۵ کیلوولت) معادل با ولتاژ ورودی ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ ولت ورودی تغذیه دستگاه، دمای خشک کردن (۳ سطح ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سانتیگراد) و سرعت جریان هوا (۳ سطح ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه) انتخاب شد (جدول ۲). متغیرهای وابسته شامل زمان خشک شدن تا رطوبت ۱۰ درصد (بر پایه تر) و درصد رطوبت نهایی بود. همچنین تغییرات روند کاهش رطوبت نمونه های برگ در طول خشک شدن نیز به منظور بررسی رفتار سینتیک خشک شدن بررسی شد. داده های بدست آمده توسط نرم افزار دیزاین اکسپرت ۷ تحلیل شد. نمودار های سینتیک توسط نرم افزار اکسل تهیه گردید.

انتخاب سطوح دما: دمای ۳۰ درجه به عنوان سطحی معادل با شرایط دمایی خشک کردن برگ ها در سایه در یک روز تابستانی شبیه سازی شد. دمای ۵۰ درجه سلسیوس به عنوان یک مقدار حداکثری در جهت حفظ خواص دارویی برگ ها انتخاب شد. سرعت جریان هوا با توجه به معادل سازی با شرایط جریان هوای طبیعی در روش خشک کردن سنتی و حداکثر جریان باد تولیدی توسط خشک کن انتخاب شد. سطوح ولتاژ پلاسما دهی با توجه به توانایی دستگاه پلاسما سرد در اختیار انتخاب گردید. زمان پلاسما دهی: از آنجا که هدف مقایسه شرایط اعمال پیش تیمار پلاسما با وضعیت شاهد بود، سطح زمانی صفر ثانیه انتخاب شد. همچنین به دلیل نازک بودن برگ ها امکان زمان حداکثر اعمال پلاسما ۲۰ ثانیه انتخاب شد تا فرایند پلاسما دهی موجب سوزاندن برگ ها نشود.

حدود ۳۰ دقیقه قبل از شروع فرآیند، دستگاه خشک کن روشن و دمای آن تنظیم شد؛ این کار به دلیل رسیدن دمای هوای داخل خشک کن به حالت پایدار انجام شد. نمونه ها بر روی توری مشبک فلزی با مش مربعی با ابعاد ۱۰ میلیمتر گذاشته و سپس داخل دستگاه خشک کن قرار گرفت. فرآیند خشک کردن تا زمان رسیدن وزن نمونه ها به ۱۰ درصد بر پایه وزن مرطوب و یا ثابت شدن تغییرات وزن ادامه داشت.

جدول ۲. متغیر های مستقل در طرح آزمایشی

عامل	حداقل	حداکثر	میان
دما (C)	۳۰	۵۰	۴۰
سرعت باد (m/s)	۱	۳	۲
زمان پلاسما دهی (s)	۰	۲۰	۱۰
ولتاژ پلاسما دهی (V)	۲۰۰	۳۰۰	۲۵۰

به منظور مشخص کردن تیمار ها از سیستم کد گذاری ۴ عدد استفاده شده که به ترتیب از سمت چپ اعداد ۳۰، ۴۰ و ۵۰ مربوط به درجه حرارت خشک کن و بر حسب درجه سانتی گراد، دسته دوم اعداد ۱، ۲ و ۳ سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه، دسته سوم اعداد ۱۰، ۲۰ و ۳۰ بر حسب ثانیه و مدت زمان پیش تیمار پلاسما است و دسته چهارم اعداد ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ ولتاژ دستگاه پلاسما و بر حسب ولت می باشد.

نتایج و بحث

خشک کردن نمونه های تازه برگ بو توسط خشک کن کابینتی، در آزمایشگاه پس از برداشت گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. آزمایشات در اسفند ماه ۱۴۰۰ درون سوله آزمایشگاهی با میانگین دمای ۱۸ درجه سلسیوس اجرا شد. نمونه های

³ Response surface method

برگ تازه از درختچه های برگ بو در گلخانه تهیه و پس از تمیز کردن و اعمال پیش تیمار مطابق با جدول ۴ درون دستگاه خشک کن قرار می گرفت. مطابق طرح آزمایشات ۲۷ آزمایش برنامه ریزی و اجرا شد.

جدول ۴. چیدمان تیمارها در طرح آزمایشات

کد تیمارها		کد تیمارها	
(ولتاژ پلاسما- زمان پلاسما- سرعت باد-دما)	شماره	(ولتاژ پلاسما- زمان پلاسما- سرعت باد-دما)	شماره
40-2-10-250	۱۵	30-1-10-250	۱
40-2-20-200	۱۶	30-2-0-250	۲
40-2-20-300	۱۷	30-2-10-200	۳
40-3-0-250	۱۸	30-2-10-300	۴
40-3-10-200	۱۹	30-2-20-250	۵
40-3-10-300	۲۰	30-3-10-250	۶
40-3-20-250	۲۱	40-1-0-250	۷
50-1-10-250	۲۲	40-1-10-200	۸
50-2-0-250	۲۳	40-1-10-300	۹
50-2-10-200	۲۴	40-1-20-250	۱۰
50-2-10-300	۲۵	40-2-0-200	۱۱
50-2-20-250	۲۶	40-2-0-300	۱۲
50-3-10-250	۲۷	40-2-10-250	۱۳
		40-2-10-250	۱۴

رطوبت نهایی

جدول ۵ نتایج آنالیز واریانس طرح باکس بنکن در روش سطح پاسخ برای متغیرهای مستقل و تاثیر آنها بر رطوبت نهایی نمونه ها نشان می دهد. براساس نتایج به دست آمده دما در سطح یک درصد و زمان پلاسمادهی در سطح احتمال یک درصد تاثیر معنی داری بر رطوبت نهایی قابل دستیافت محصول حین فرایند خشک کردن داشتند و اثر سایر عوامل معنی دار نبود.

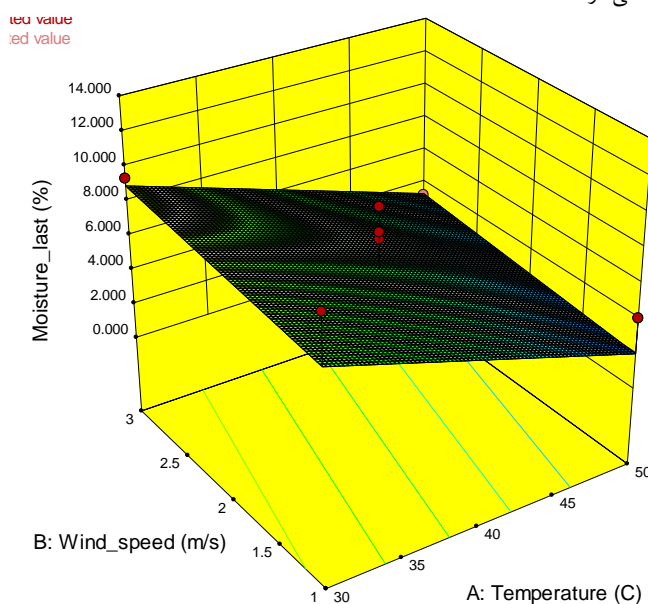
مطابق با شکل ۷ و ۸ می توان دریافت که افزایش دما به دلیل افزایش فشار تبخیر رطوبت درونی برگ ها موجب خروج مقدار بیشتری آب از درون نمونه ها شده و درصد رطوبت نهایی کاهش یافته است. همچنین افزایش زمان پلاسمادهی موجب افزایش تعداد میکرو-روزنه های ایجاد شده بر روی سطح برگ ها شده است که این مورد نیز باعث خروج سریع تر و همچنین مقدار بیشتری رطوبت شده است. لذا درصد رطوبت نهایی کاهش یافته است. سرعت باد و توان پلاسمادهی تاثیر معنی داری بر رطوبت نهایی نداشت.

جدول ۵. آنالیز واریانس پارامترهای مستقل در مدل سطح پاسخ برای درصد رطوبت نهایی

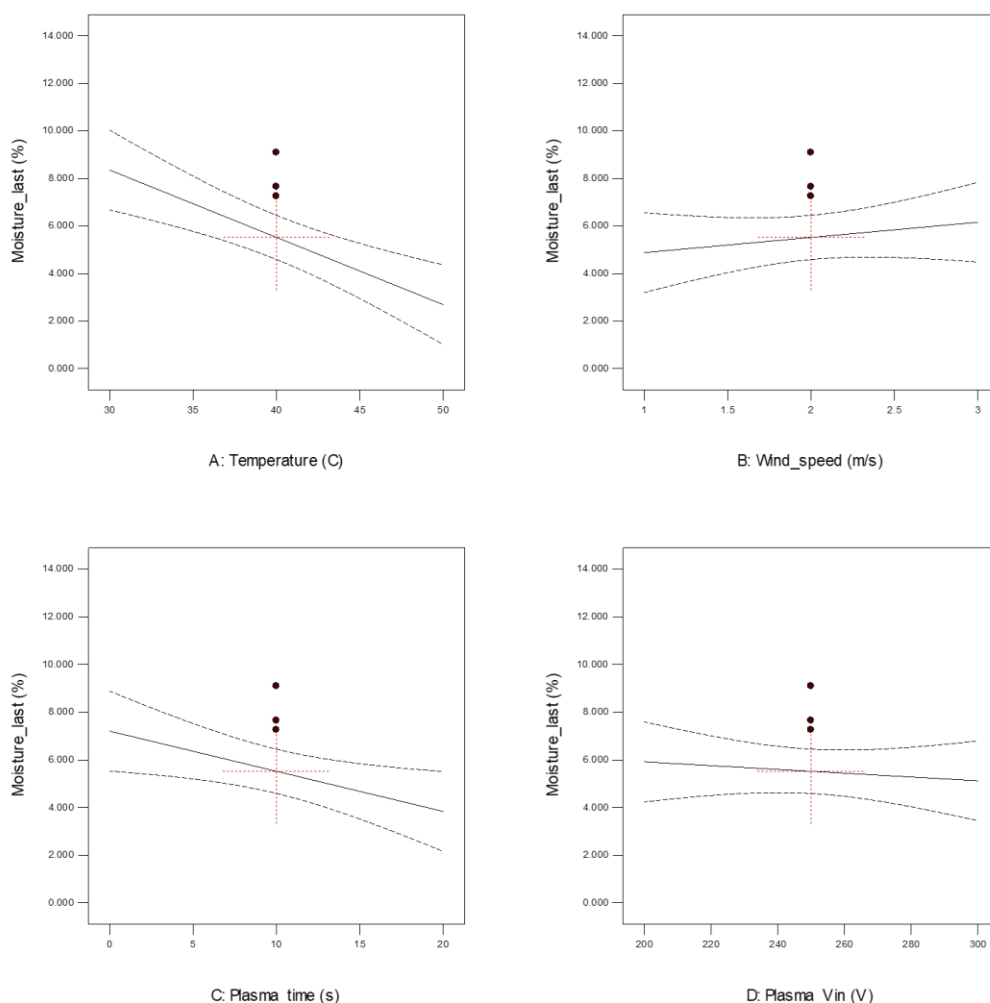
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
مدل	۴	۳۴/۲۹	۶/۳۲**
دما	۱	۹۶/۲۹	۱۷/۷۴**
سرعت باد	۱	۴/۹۲	۰/۹۱ ^{ns}
زمان پلاسمادهی	۱	۳۴/۰۷	۶/۲۸*
ولتاژ پلاسمادهی	۱	۱/۸۹	۰/۳۵ ^{ns}
باقی مانده	۲۲	۵/۴۳	
عدم برازش	۲۰	۵/۸۸	۶/۳۰ ^{ns}
خطای خالص	۲	۰/۹۳	
کل	۲۶		

***، * و ns به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و

عدم وجود اختلاف معنی دار



شکل ۷. نمودار سطح پاسخ درصد رطوبت نهایی نسبت به تغییرات دما و سرعت باد



شکل ۸. رفتار پاسخ (درصد رطوبت نهایی قابل دستیافت) نسبت به تغییرات فاکتورهای مستقل

زمان خشک شدن تا رطوبت ۱۰ درصد

به دلیل آنکه رطوبت نهایی و حداکثر زمانی که نمونه‌ها در دستگاه خشک کن قرار داشت با یکدیگر متفاوت بود، به منظور انجام یک مقایسه بهتر، زمان خشک شدن نمونه‌ها تا رطوبت ۱۰ درصد بر پایه‌تر که یک معیار معتبر برای اعلام پایان فرایند خشک شدن است، بررسی می‌شود. نتایج تجزیه واریانس متغیرهای مستقل و تاثیر آن‌ها بر زمان خشک شدن نمونه‌ها در جدول ۶ نشان داده شده است، براساس نتایج اثر دما و سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن نمونه‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، زمان پلاسما دهی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد ولی ولتاژ پلاسما دهی تاثیر معنی‌داری بر زمان خشک شدن برگ‌ها نداشت.

اثر تغییرات دما و سرعت هوا بر زمان خشک شدن در شکل ۹ و ۱۰ نشان داده شده است، افزایش دما از یک طرف با افزایش ظرفیت جذب رطوبت هوا و از طرف دیگر با گرم شدن سریع‌تر محصول و تبخیر بهتر آب از آن، موجب کاهش زمان خشک شدن نمونه‌ها شده است. افزایش دما موجب شیب بیشتر منحنی‌های بدست آمده گردیده و بیانگر افزایش سرعت از دست دادن رطوبت شده است. همچنین افزایش دما سرعت خشک شدن در یک ساعت اول را نیز بیشتر کرده است. محققین دیگری نیز نتایج مشابهی را ارائه کرده‌اند (گازر و مینایی، ۲۰۰۵؛ ونگ و همکاران، ۲۰۰۷). با این حال برخلاف انتظار با افزایش سرعت هوای ورودی زمان خشک شدن نمونه‌ها افزایش یافته است.

جدول ۶. آنالیز واریانس مدل سطح پاسخ متغیرهای مستقل و تاثیر آن‌ها بر زمان خشک شدن تا رطوبت ۱۰ درصد

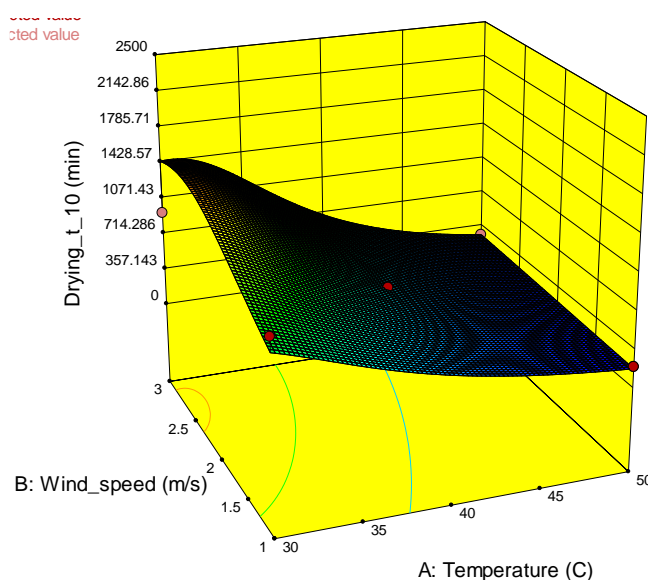
منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	مقدار F
دما	۱	$3/99 \times 10^{-5}$	۲۱۹/۶۴**
سرعت باد	۱	$3/18 \times 10^{-6}$	۱۷/۵۳**
زمان پلاسما دهی	۱	$4/07 \times 10^{-7}$	۲/۲۴*
ولتاژ پلاسما دهی	۱	$1/86 \times 10^{-7}$	۱/۰۲ ^{ns}
باقی مانده	۱۲	$2/18 \times 10^{-6}$	
عدم برازش	۱۰	$2/15 \times 10^{-6}$	۱۸/۳۱ ^{ns}
خطای خالص	۲		
کل	۲۶		

***، ** و ns به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و عدم وجود اختلاف

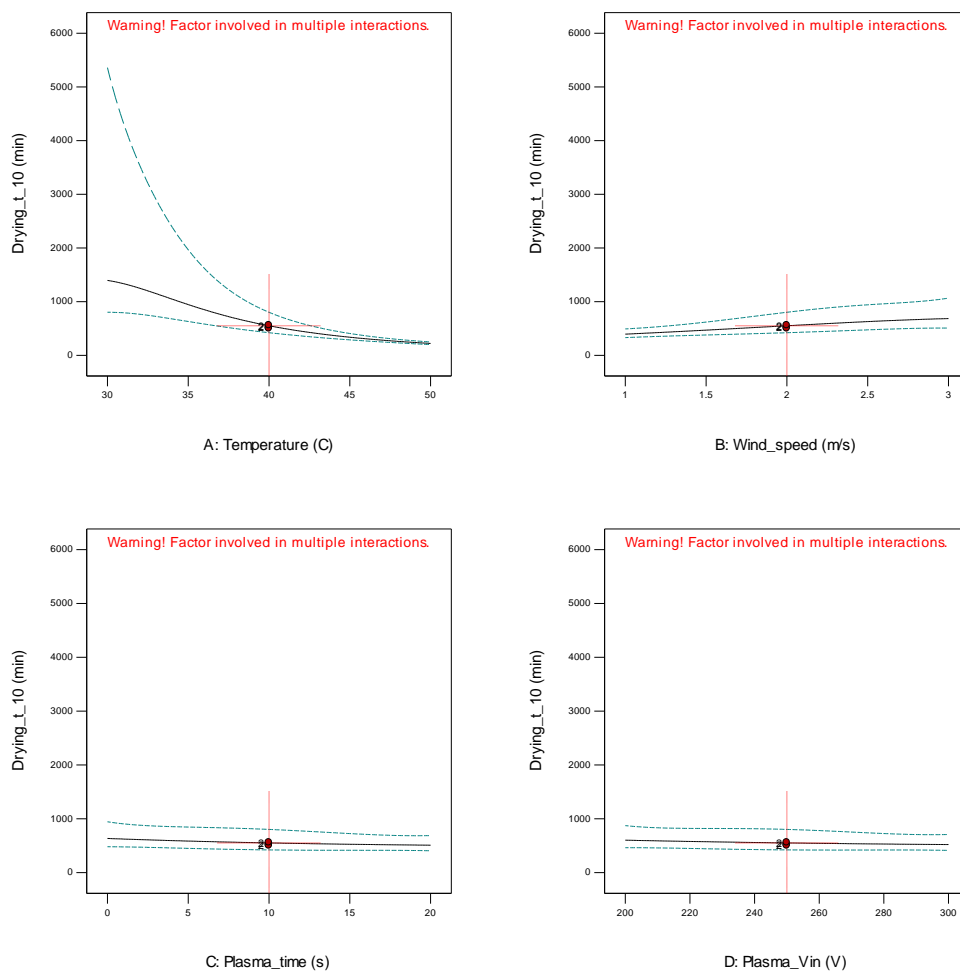
معنی دار

شکل های ۱۱ تا ۱۳ روند تغییرات درصد رطوبت نمونه ها (بر پایه تر) در تیمار های مختلف (کد گذاری شده) برای دما های مختلف را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود، افزایش دما موجب افزایش شیب نمودار ها شده است و در نتیجه زمان خشک شدن را کاهش داده است. در مقایسه بین تیمار های مختلف مشاهده می شود تیمار هایی که از پیش تیمار پلاسما (۲۰ ثانیه) در آنها استفاده شده زمان خشک شدن به مراتب کوتاه تری داشته اند. به عنوان مثال در شکل ۱۱، مقایسه تیمار ۲۵۰-۲۰-۲۰ (بدون پلاسما) و ۲۵۰-۲۰-۲۰ (۲۰ ثانیه پلاسما) نشان می دهد اعمال ۲۰ ثانیه پلاسما علاوه بر کاهش رطوبت نهایی از ۹/۵ به ۳/۴ درصد موجب کاهش ۲۲۰ دقیقه (حدود ۴ ساعت) در زمان خشک شدن تا رطوبت ۱۰ درصد شده است. این عدد از منظر کاهش مصرف انرژی بسیار حائز اهمیت است.

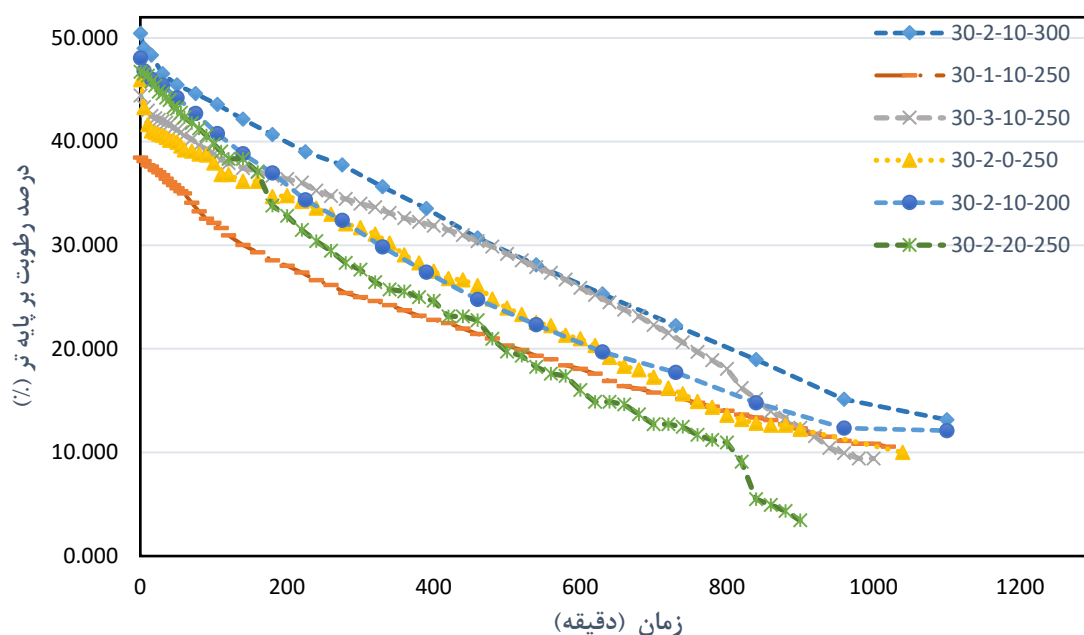
در مقایسه ای دیگر در شکل ۱۳ مربوط به فرایند خشک کردن در دمای ۵۰ درجه مقایسه تیمار شاهد ۲۵۰-۲۰-۲۰ با تیمار ۲۵۰-۲۰-۲۰-۲۰ نشان می دهد استفاده از پیش تیمار پلاسما به مدت ۲۰ ثانیه توانسته است ۸۰ دقیقه زمان خشک شدن را برای رسیدن به رطوبت ۱۰ درصد کاهش دهد. نتایج بین سطوح زمان پلاسما دهی نیز نشان داد تاثیر معنی داری بین سطح اعمال پلاسما ۱۰ ثانیه و صفر ثانیه وجود ندارد اما زمان ۲۰ ثانیه پلاسما دهی اختلاف معنی داری دارد که نمودار ها نیز تایید کننده این موضوع است.



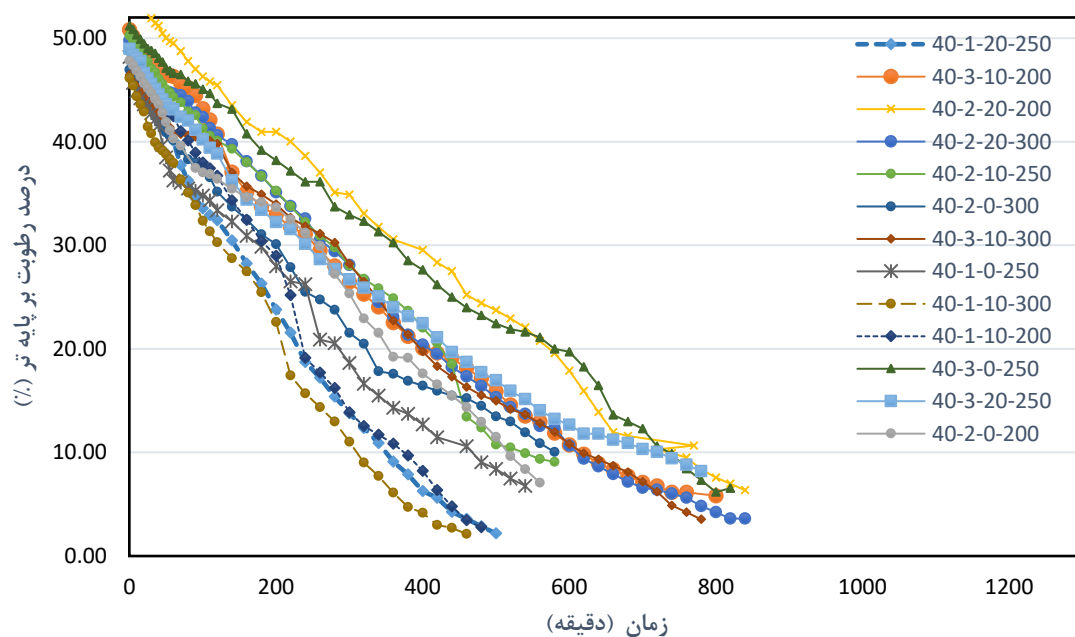
شکل ۹. نمودار سطح پاسخ تاثیر دما و سرعت جریان هوا بر زمان خشک شدن برگ بو



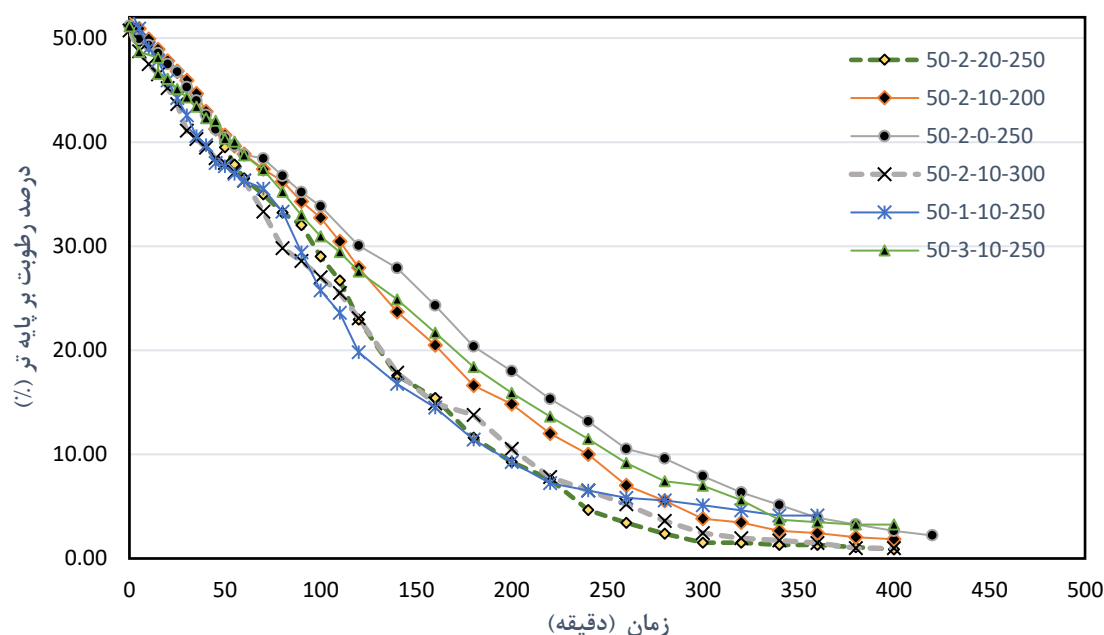
شکل ۱۰. رفتار پاسخ (زمان خشک شدن تا رطوبت ۱۰ درصد) نسبت به تغییرات فاکتورهای مستقل



شکل ۱۱. نمودار تغییرات درصد رطوبت نمونه های برگ بو در تیمار های مختلف در حین خشک شدن با جریان هوا در دمای ۳۰ درجه سلسیوس



شکل ۱۲. نمودار تغییرات درصد رطوبت نمونه های برگ بو در تیمار های مختلف در حین خشک شدن با جریان هوا در دمای ۴۰ درجه سلسیوس



شکل ۱۳. نمودار تغییرات درصد رطوبت نمونه های برگ بو در تیمار های مختلف در حین خشک شدن با جریان هوا در دمای ۵۰ درجه سلسیوس

نتیجه گیری

در این پژوهش اثر پیش تیمار پلاسما سرد دی الکتریک DBD بر روی سینتیک خشک کردن برگ های گیاه بو *nobilis Laurus* در خشک کن کابینتی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات دما، سرعت باد و زمان پلاسما دهی بر درصد رطوبت نهایی و زمان خشک شدن تا رطوبت ۱۰ درصد تاثیر معنی داری دارد. اعمال پیش تیمار پلاسما به مدت ۲۰ ثانیه بر روی برگ ها موجب کاهش زمان خشک شدن برگها و کاهش مصرف انرژی می شود. همچنین نتایج نشان داد سطوح توان (اختلاف پتانسیل میدان الکتریکی) سیستم پلاسما دهی تاثیر معنی داری بر روی نتایج ندارد و نیازی به سطوح بالای اعمال پلاسما نیست، که این مطلب نیز می تواند در خصوص کاهش مصرف انرژی فرایند خشک کردن مهم باشد. به طور کلی استفاده از خشک کن کابینتی و پیش تیمار پلاسما در دمای ۳۰ درجه در مقایسه با خشک کردن سنتی برگ ها در سایه، ۴ ساعت سریعتر برگ ها را به رطوبت ۱۰ درصد می رساند این مطلب از نظر صرفه جویی در زمان، تولید محصول با آلودگی کم و کیفیت بالاتر حائز اهمیت است. در دمای ۳۰ درجه مصرف برق دستگاه خشک کن در یک سیکل بارگیری تنها حدود ۳/۵ کیلو وات ساعت می باشد.

تشکر و قدردانی

از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل حمایت از این تحقیق در قالب طرح پژوهشی و نیز گروه مهندسی بیوسستم دانشگاه فردوسی مشهد به دلیل فراهم نمودن فضا و امکانات آزمایشگاهی تشکر و قدر دانی می گردد.

منابع

- زرگری، ع، (۱۳۶۹). گیاهان دارویی. جلد چهارم، چاپ پنجم، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- عبادی، م، ت، سفیدکن، ف، عزیزی، م، و احمدی، ن. (۱۳۹۵). بررسی تأثیر سرعت جریان هوا و شدت تابش مادون قرمز بر مؤلفه‌های خشک کردن گیاه دارویی به لیمو (*Lippia citriodora* Kunth). تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۲(۱)، ۱۶۱-۱۷۳.
- گازر، ح، مینایی س، و بصیری، ع. (۱۳۸۲). تاثیر تغییرات دما، سرعت جا به جایی هوا و ضخامت لایه محصول در فرآیند خشک کردن پسته کله فوجی. علوم کشاورزی.
- مرادی، م، قاسمی ابنوی، ج، و کارپرورفرد، س. (۱۳۹۸). بررسی سنتتیک خشک شدن برگ های به لیمو در یک خشک کن خورشیدی کابینتی، دومین کنفرانس بین المللی و ششمین کنفرانس ملی کشاورزی ارگانیک و مرسوم، اردیبهشت.
- میرحیدر، ح. (۱۳۷۲). معارف گیاهی و کاربرد گیاهان در پیشگیری و درمان بیماری ها. جلد دوم، چاپ اول، انتشارات دفتر نشر فرهنگ اسلامی، ص ۵۳۵.
- روزگار محمدرضا، عبا سپور فرد محمد حسین، هدایتی زاده مهدی، محمدی نژاد حمید. مقایسه سینتیک خشک کردن برگ نعنای با خشک کن خورشیدی فتوولتائیک / گرمایی با خشک کردن طبیعی. مجله علوم و صنایع غذایی ایران. ۱۴۰۰؛ ۱۸ (۱۱۹): ۱۹۳-۲۰۴
- Qing, W., Liang, Z., Jingru, B., Hongpeng, L., & Shaohua, L. (2011). THE INFLUENCE OF MICROWAVE DRYING ON PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF LIUSHUHE OIL SHALE. *Oil Shale*, 28(1).
- Doymaz, İ. (2014). Thin-Layer Drying of Bay Laurel Leaves (*Laurus nobilis* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 38(1), 449-456.
- Doymaz, İ., & Karasu, S. (2018). Effect of air temperature on drying kinetics, colour changes and total phenolic content of sage leaves (*Salvia officinalis*). *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10(3), 269-276.
- Kilic, A., Kollmannsberger, H., & Nitz, S. (2005). Glycosidically bound volatiles and flavor precursors in *Laurus nobilis* L. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(6), 2231-2235.
- Liao, X., Liu, D., Xiang, Q., Ahn, J., Chen, S., Ye, X., & Ding, T. (2017). Inactivation mechanisms of non-thermal plasma on microbes: A review. *Food Control*, 75, 83-91.
- Loureiro, A. d. C., Souza, F. d. C. d. A., Sanches, E. A., Bezerra, J. d. A., Lamarão, C. V., Rodrigues, S., Fernandes, F. A., & Campelo, P. H. (2021). Cold plasma technique as a pretreatment for drying fruits: Evaluation of the excitation frequency on drying process and bioactive compounds. *Food Research International*, 147, 110462.
- Min, S. C., Roh, S. H., Niemira, B. A., Boyd, G., Sites, J. E., Uknalis, J., & Fan, X. (2017). In-package inhibition of *E. coli* O157: H7 on bulk Romaine lettuce using cold plasma. *Food microbiology*, 65, 1-6.
- Rezaei, S., Ebadi, M.-T., Ghobadian, B., & Ghomi, H. (2021). Optimization of DBD-Plasma assisted hydro-distillation for essential oil extraction of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) seed and spearmint (*Mentha spicata* L.) leaf. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 24, 100300.
- Soltani, A., Azzouz, S., Romdhana, H., & Goujot, D. (2021). Multi-response optimization of drying process parameters for *Laurus Nobilis*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 22, 100302.
- Tappi, S., Berardinelli, A., Ragni, L., Dalla Rosa, M., Guarnieri, A., & Rocculi, P. (2014). Atmospheric gas plasma treatment of fresh-cut apples. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21, 114-122.

Investigation of the effect of dielectric barrier plasma pretreatment on the drying kinetics of Bay leaves (*Laurus nobilis*)

Esmaeel Moridar¹, Mohammad Reza Byati², Jalal Baradaran Motie^{3*}, Mehdi Khojastepour⁴

1. MSc. Student of Biosystems Engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran.

2. Assistant Prof. Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran.

3. Assistant Prof. Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran
(corresponding author)

4. Prof. Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran.

Abstract

Cold plasma is an ambient full of active ions and energetic particles that are applied to the surface of the sample for sanitation, hydrophilic surface, and color improvement of materials. These particles create micro-pores on the surface of the sample and can be useful in the process of removing moisture and drying sensitive materials. The Bay leaf tree with the scientific name *Nobilis Laurus* is an evergreen plant that has various medicinal properties and is also used in the food industry. In this study, the effect of using DBD cold plasma pretreatment on the Bay leaves drying kinetics in a cabinet dryer was investigated. Experiments were done using the Response surface method based on the Box-Behnken design. The independent variables were the temperature (30, 40, and 50 degrees Celsius), wind speed (1, 2, 3 m/s), plasma treatment time (zero, 10, 20 seconds), and plasma intensity (23, 29, and 35 kV). Dependent variables included drying time up to 10% humidity percent and minimum accessible moisture content. The results showed the significant effect of temperature, wind speed, and plasma treatment time on dependent variables. Increasing the temperature reduced the drying time as well as the minimum accessible moisture. Plasma intensity had no significant effect on the minimum accessible moisture and drying time. The results showed the significant effect of plasma treatment time so 20 seconds caused a reduction of about 20% in drying time compared to the treatment without plasma. This can save a considerable amount of energy in the drying process.

Key words: Cold plasma, Bay leaf, Cabinet dryer, Drying kinetics, Response surface methodology

*Corresponding author

E-mail: j.baradaran@um.ac.ir