

تأثیر پیش فرآیندهای مختلف در فرآیند خشک کردن موز توسط مایکروویو

لیلا زیرجانی^{۱*}، حمید توکلی پور^۲

^۱ کارشناس ارشد مهندسی علوم و صنایع غذایی، مدرس دانشکده‌ی کشاورزی شهید رجایی نیشابور
^۲ استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۱۲

چکیده

از آن‌جا که موز قند بالایی دارد و این قبیل میوه‌ها در خشک کردن با هوای گرم، دچار صدمات جدی از نظر رنگ، طعم، مواد مغذی و... می‌شوند، بنابراین، استفاده از مایکروویو می‌تواند فرآیند حرارتی مؤثری برای خشک کردن این گونه مواد غذایی باشد. از این رو در پژوهش حاضر، شرایط بهینه‌ی خشک کردن موز توسط مایکروویو مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، سه برش متفاوت (۱۰ و ۳،۵ mm) از موز تهیه و روی هر کدام از برش‌ها سه پیش فرآیند مختلف انجام گردید. (T₁: بلانچ شیمیایی در محلول ۱٪ متابی سولفیت سدیم، T₂: ابتدا بلانچ با آب جوش و سپس بلانچ شیمیایی در محلول ۱٪ متابی سولفیت سدیم، T₃: ابتدا بلانچ با آب جوش و سپس بلانچ شیمیایی در محلول ۱٪ مخلوط یک به یک اسید سیتریک و اسید آسکوربیک) یک نمونه تیمار نشده نیز به عنوان نمونه شاهد در نظر گرفته شد و هر کدام از نمونه‌ها در سه توان متفاوت مایکروویو (۷۰۰W و ۵۰۰، ۳۰۰) به طور مجزا خشک شدند. نمونه‌های خشک شده پس از یک هفته نگهداری در محیط خشک و تاریک از نظر شاخص‌های کیفی (رنگ، جذب مجدد آب، میزان قند و ویتامین ث، زمان و آهنگ خشک کردن) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج، نشان داد که در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه‌ی شاهد زمان خشک کردن کاهش می‌یابد اما آهنگ خشک کردن از روند خاصی پیروی نمی‌کند و با افزایش توان مایکروویو آهنگ خشک کردن افزایش و زمان خشک کردن کاهش می‌یابد، هم‌چنین با افزایش ضخامت برش‌ها آهنگ خشک کردن افزایش و زمان خشک کردن کاهش می‌یابد. پیش فرآیندها بر روی رنگ، جذب مجدد آب، میزان ویتامین ث و قند تأثیر داشتند.

واژه‌های کلیدی: موز، خشک کردن، مایکروویو، جذب مجدد آب.

۱- مقدمه

موز، یکی از مهم‌ترین میوه‌های تجاری مناطق گرم و مرطوب است که حدود ۲۶/۲۸ هکتار را پوشش می‌دهد. به نظر می‌رسد استفاده از موز ابتدا از جنوب شرقی آسیا، هند و چین آغاز شده باشد. تولید جهانی آن به طور متوسط ۷۶ میلیون تن است که کم‌تر از ۱۱ میلیون تن آن به کشورهای ثروتمند گردیده و ۸۵ درصد آن توسط تولید کنندگان و بازارهای محلی به مصرف می‌رسد (۳).

میوه‌ی موز، مغذی، لذیذ، غنی از ویتامین و دارای ارزش غذایی بالایی است. این میوه به علت ارزش انرژی‌زایی بالایی که دارد (۱۵۳ کالری به ازای هر ۱۰۰ گرم میوه) به عنوان غذای بحران استفاده می‌شود. علاوه بر ارزش غذایی بالای آن، از خواص درمانی نیز برخوردار است. در طب قدیم ایران، معتدل و تر است و خون را غلیظ می‌کند. موز، تقویت کننده‌ی معده و نیروی جنسی است و در درمان زخم معده و روده به کار می‌رود. همچنین تأثیر خوبی در تأمین رشد و تعادل سیستم اعصاب داشته، به دلیل داشتن پتاسیم زیاد، ضد سرطان است (۷). حدود نیمی از تولید جهانی موز به صورت پخته خورده می‌شود و مابقی مصرف تازه خوری یا فرآوری شده دارد. به عنوان مثال: در کشورهای استوایی معمولاً موز را می‌پزند و همراه با برنج و لوبیا می‌خورند و در کشورهای آمریکای لاتین آن را ورقه ورقه کرده، در آفتاب خشک می‌کنند (۶).

موز، دارای قند بسار بالایی دارد. در خشک کردن با هوای گرم برای میوه‌جات محتوای قند بالا، زمان و دمای بالاتری مورد نیاز است که ممکن است باعث صدمات جدی به طعم، رنگ، مواد مغذی، کاهش دانسیته‌ی حجمی و ظرفیت آگیری مجدد در محصولات خشک شده شوند. در خشک‌کن‌های با هوای گرم به دلیل این که هدایت حرارتی پایین است و انتقال حرارت به قسمت‌های داخلی ماده‌ی غذایی محدود شده است، راندمان انرژی پایین آمده، مدت زمان طولانی‌تری برای خشک کردن لازم است. برای رفع این مشکل و جلوگیری از کاهش کیفیت و دستیابی به یک فرآیند حرارتی مؤثر، از مایکروویو برای خشک کردن مواد غذایی استفاده شده است. مثال‌های متعددی از کاربردهای خشک کردن ماکروویو وجود دارد. مایکروویو، از مزایای قابل توجهی برخوردار است. کاربرد مایکروویو در

خشک کردن، گستره‌ی وسیعی از صنایع شامل صنایع غذایی، صنایع شیمیایی، اتومبیل‌سازی و غیره را دربرمی‌گیرد. در هر مورد سیستم‌های خشک کردن مایکروویو، زمان خشک کردن را به طور قابل توجهی کاهش داده‌اند بدون این که اثر منفی بر روی کیفیت محصول داشته باشد. در خشک کردن مایکروویو، گرما، حاصل از تبدیل انرژی مایکروویو به انرژی حرارتی در درون مواد مرطوب است و فشار و دمای مطلوب را برای خشک کردن سریع مواد فراهم می‌کند. گرمایش حجمی ناشی از نفوذ مایکروویو و کاهش هزینه‌های فرآیند، مایکروویو را به منبع جذاب انرژی حرارتی تبدیل کرده است. زمان‌های کوتاه‌تر فرآوری، به میزان قابل توجهی هزینه‌های تولید برخی محصولات را کاهش می‌دهد (۲).

مایکروویو، یک روش سریع خشک کردن مواد غذایی است که انرژی آن، قابل مقایسه با روش خشک کردن با هوای گرم است. در خشک کردن با مایکروویو خروج رطوبت سریع‌تر است و هم چنین به دلیل تمرکز انرژی سیستم مایکروویو فقط ۲۰ تا ۳۵٪ نسبت به سایر روش‌های خشک کردن، نیاز به فضا دارد (۲۲).

در تحقیقی که توسط مسکن^۱ در سال ۲۰۰۰ انجام شد، موزهای رسیده در سه روش خشک کردن با جابجایی هوا و خشک کردن با مایکروویو و ترکیب این دو روش خشک شدند و نتایج، نشان داد که زمان خشک کردن در روش جابجایی هوا طولانی‌تر از دو روش دیگر بود و سرعت‌های خشک کردن بالاتر در توان‌های بالاتر مایکروویو مشاهده شد. همچنین موز خشک شده با روش ترکیبی، رنگ روشن‌تر و مقدار جذب مجدد آب بیش‌تری داشت. تغییر در میزان رنگ، وابسته به شدت مایکروویو نبود و تغییرات رنگ در روش جابه‌جایی هوا بیش‌تر از دو روش دیگر بود و هیچ یک از نمونه‌های خشک شده مجدداً رطوبت اولیه‌ی خود را به دست نیاوردند (۲۲).

در تحقیقی که در سال ۲۰۰۳ توسط تورهان^۲ و دمیرال^۳ انجام شد، رفتار خشک کردن دو گونه موز دووارف کاوندیش^۴ و گروس میشل^۵ به صورت تیمار شده و تیمار نشده، مورد

1- Maskan
2- Turhan
3- Demiral
4- Cavendish
5- Gros Michel

کردن از روش جابه‌جایی هوای داغ استفاده کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که غلظت‌های بالای ساکارز برای محلول‌های اسموتیک بهتر است (۱۷).

ایمتیاز^۵ و همکارانش در سال ۲۰۰۴ اثر محلول‌های با نسبت‌های مختلف ساکارز و گلوکز را روی ویژگی‌های کیفی موز خشک شده به روش اسمزی بررسی کردند. نتایج نشان داد که بعد از ۷۲ ساعت غوطه‌وری برش‌ها در محلول‌های اسموتیک، محتوای رطوبتی از ۷۴٪ به ۶۳٪ کاهش یافت (۲۰).

تالا^۶ و همکارانش در سال ۲۰۰۳ در مطالعه‌ی خود نتایج تفاوت دانسیته و چروکیدگی برش‌های موز را در طول خشک کردن با هوای گرم، مورد بررسی قرار دادند (۲۶).

کریم^۷ و همکارانش در سال ۲۰۰۴ در مطالعات خود یک معادله‌ی ریاضی را برای خشک کردن غذاهایی که در حین خشک کردن چروکیده می‌شوند مانند موز، طراحی کردند (۱۰). این محققین در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۰۴ ویژگی‌های موز خشک را بررسی کرده و از یک مدل ریاضی برای تصدیق آزمایشات خود استفاده کردند (۹).

سانکات^۸ و همکارانش در سال ۲۰۰۲ کف کردن و رفتار خشک کردن موزهای رسیده را که به صورت پوره درآورده بودند، در یک خشک‌کن کابینتی مورد بررسی قرار دادند (۲۳). این محققین در مطالعه‌ای دیگر خشک کردن موز به روش اسمزی را بررسی کردند (۲۴).

هرناندز^۹ و همکارانش در سال ۲۰۰۴ دو روش تجربی را برای ارزیابی و استخراج ویتامین ث در میوه‌های گرمسیری از جمله موز مورد بررسی قرار دادند (۱۹).

هدف از این تحقیق، بررسی و تعیین شرایط بهینه در فرایند خشک کردن موز با مایکروویو است. بنابراین، در این پژوهش سه پیش‌فرآیند مختلف روی برش‌های موز اعمال شده است. ضمناً برش‌های موز با سه ضخامت متفاوت تهیه شدند و آزمایش‌ها در سه توان متفاوت مایکروویو انجام شد. نمونه‌ها در یک آون مایکروویو تا رسیدن به رطوبت نهایی، خشک شدند. در نهایت، ۳۶ نمونه به دست آمد که تأثیر توان‌های مختلف

بررسی قرار گرفت. آن‌ها در آزمایش‌های خود برش‌های موز ۲ mm تهیه کرده و از تیمارهای بی‌سولفیت سدیم ۱٪ و مخلوط اسید آسکوربیک و سیتریک ۰/۱٪ استفاده کردند و یک نمونه‌ی تیمار نشده نیز به عنوان شاهد در نظر گرفتند و نمونه‌ها را در حرارت‌های ۴۰ تا ۸۰ °C خشک کردند. نتایج، نشان داد که تیمارهای اعمال شده بر روی موز، سرعت خشک کردن را افزایش می‌دهد، اما روی چروکیدگی بافت موزهای خشک شده تأثیری ندارد و نمونه‌های موز کاوندیش نسبت به نمونه‌های موز میشل در شرایط مشابه چروکیدگی بیشتری نشان دادند (۱۵).

راک داندامرونگرک^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۲ از تیمارهای بلانچ کردن، خنک کردن و فریز کردن و ترکیب بلانچ کردن و فریز کردن استفاده کردند و رفتار خشک کردن موزهای تیمار شده را در یک خشک‌کن پمپ حرارتی در دمای ۵۰ °C و با ۳/۱ m/s سرعت عبور هوا مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که تیمارهای فریز کردن و ترکیب فریز کردن و بلانچ کردن سرعت خشک کردن را افزایش می‌دهند (۱۴).

در تحقیقی که توسط بودهیرو^۲ و همکارانش در سال ۲۰۰۲ انجام شد، خواص رئولوژیکی برش‌های موز پس از دو هفته نگهداری در انبار با ضخامت ۵ mm و سرعت جریان هوای گرم ۲ m/s، طی خشک کردن با هوای گرم ۸۰، ۶۰ و ۴۰ °C مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش درجه‌ی حرارت، سرعت خشک کردن افزایش می‌یابد و موزهای رسیده زودتر خشک می‌شوند (۱۲).

چو^۳ و همکارانش در سال ۲۰۰۲ نیز برای خشک کردن موز از خشک‌کن پمپ حرارتی که یک خشک‌کن دو مرحله‌ای با هوای داغ بود، استفاده کردند. در این روش، مشخص شد که اگر دمای هوا در ابتدای خشک کردن بالاتر باشد و به تدریج در حین فرآیند خشک کردن کاهش یابد، رنگ محصول بهبود یافته، زمان خشک کردن کاهش می‌یابد (۱۲).

فرناندز^۴ و همکارانش در سال ۲۰۰۴ فرایند آگیری اسمزی برش‌های موز را بررسی کردند و برای آزمایش‌های خشک

(T₃): در این روش نیز مانند روش قبل برش‌های موز ابتدا با آب جوش بلانچ شدند و سپس به مدت ۱ دقیقه در محلول ۱٪ مخلوط ۱:۱ اسید آسکوربیک و اسید سیتریک غوطه‌ور شده، در نهایت، نمونه‌ها روی کاغذ صافی پهن شدند تا آب سطحی آن‌ها گرفته شود.

۲-۲- فرایند خشک کردن با مایکروویو

نمونه‌ها در سه ضخامت و سه پیش‌فرآیند در آون مایکروویو با سه توان ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ وات خشک شدند. در حین خشک کردن، کاهش رطوبت هر ۳۰ ثانیه تا رسیدن به رطوبت نهایی، ثبت می‌شد.

نحوه‌ی قرار گرفتن نمونه‌ها در داخل آون مایکروویو بسیار مهم است چون حداکثر انرژی مایکروویو در مرکز آون جذب می‌شود. به همین دلیل، نمونه‌ها نسبت به مرکز آون به صورت متقارن چیده شده و بعد از هر بار وزن کردن، نمونه‌ها مجدداً در مکان سابق خود قرار داده می‌شدند تا زاویه‌ی تابش ثابت بماند. زمان قطع عملیات خشک کردن به این نحو تعیین شد که ابتدا میزان ماده‌ی خشک برش‌ها اندازه‌گیری و سپس بر اساس رطوبت نهایی که گفته شد وزن برش‌ها توسط فرمول زیر به دست آمد:

$$M_1(1-X_1) = M_2(1-X_2)$$

M₁: وزن اولیه‌ی برش‌های موز

M₂: وزن نهایی برش‌های موز

X₁: رطوبت اولیه

X₂: رطوبت ثانویه

جهت انجام آزمایش‌های خشک کردن با مایکروویو، از یک آون مایکروویو خانگی با نام تجاری پاناسونیک مدل NN-S651 WF با حداکثر توان خروجی ۱۰۰۰ وات و ظرفیت ۳۲ لیتر استفاده شد.

۲-۳- ارزیابی پارامترهای کیفی

نمونه‌ها بعد از رسیدن محتوای رطوبتی آن‌ها به رطوبت نهایی جمع‌آوری و خنک شدند. سپس در بسته‌هایی از جنس پلی اتیلن بسته‌بندی شده و در جای خشک، خنک و تاریک تا انجام آزمایش‌های کیفی نگهداری شدند.

مایکروویو، پیش‌فرآیندها و ضخامت‌های متفاوت بر رفتار خشک شدن موز در حین فرایند خشک کردن و همچنین بر روی پارامترهای کیفی از قبیل رنگ، جذب مجدد آب، میزان قند و ویتامین ث، در محصول خشک شده مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

موزهای رسیده با رنگ زرد و سبز از یک بازار محلی خریداری و در یخچال با دمای ۵ تا ۱۰ °C نگهداری شدند. موزها با دست پوست‌گیری شده و سپس به وسیله‌ی یک چاقوی تیز، روی یک تخته برش از جنس پلی اتیلن به قطعات با ضخامت ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر برش زده شدند. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها به صورت تصادفی در چهار گروه برای انجام روش‌های پیش‌فرآیند تقسیم شدند.

۲-۱- روش‌های پیش‌فرآیند

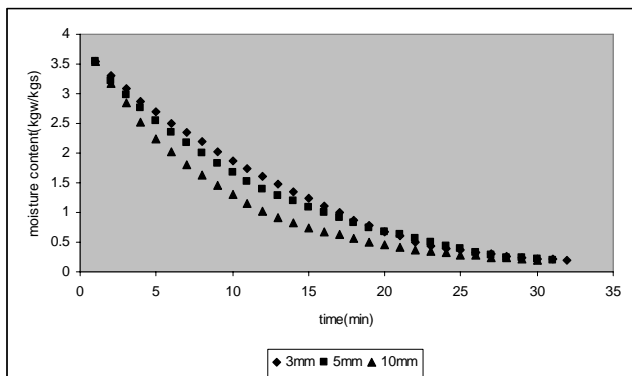
سه روش پیش‌فرآیند قبل از خشک کردن روی برش‌های موز صورت گرفت و یک نمونه‌ی تیمار نشده (T₀) نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

(T₀): نمونه‌ها بعد از پوست‌گیری و تهیه‌ی برش‌هایی به ضخامت‌های ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر مستقیماً به خشک‌کن منتقل شدند بدون این که هیچ پیش‌فرآیندی روی آن صورت گیرد.

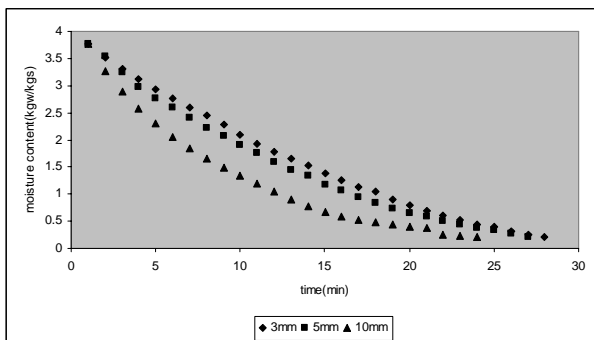
(T₁): نمونه‌ها بعد از پوست‌گیری و تهیه برش به مدت ۲ دقیقه در داخل محلول ۱٪ متابی سولفیت سدیم غوطه‌ور و سپس وارد آب مقطر شدند (به مدت ۳۰ ثانیه) تا باقی مانده‌ی متابی سولفیت سدیم از روی برش‌ها حذف شوند. در نهایت، برش‌ها روی کاغذ صافی قرار گرفتند تا آب سطحی آن‌ها خارج شود.

(T₂): برش‌های موز بعد از پوست‌گیری و تهیه‌ی برش ابتدا با آب جوش بلانچ شدند. به این ترتیب که برش‌ها به مدت سه دقیقه در آب در حال جوش غوطه‌ور شده، بلافاصله به مدت سه دقیقه نیز توسط آب معمولی خنک شدند و سپس مشابه روش قبل، بلانچ شیمیایی در محلول ۱٪ متابی سولفیت سدیم انجام شد.

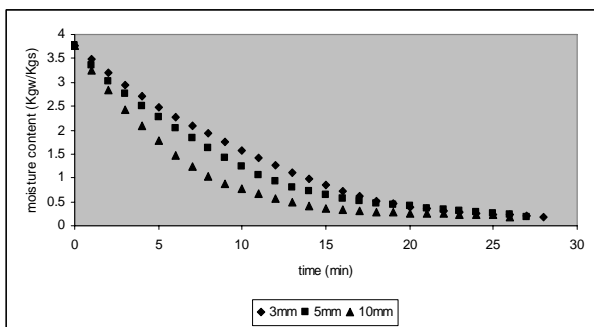
به رطوبت نهایی در نمونه‌های با ضخامت‌های ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر با پیش فرایند (T₂) که در مایکروویو با توان ۵۰۰ وات خشک شده‌اند، به ترتیب، ۲۸، ۲۷ و ۲۴ دقیقه بود (شکل ۲).



شکل ۱- منحنی زمان خشک کردن برش‌های موز در ضخامت ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر، پیش فرایند (T₁) توسط مایکروویو در توان ۳۰۰ وات



شکل ۲- منحنی زمان خشک کردن برش‌های موز در ضخامت ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر، پیش فرایند (T₂) توسط مایکروویو در توان ۵۰۰ وات



شکل ۳- منحنی زمان خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر با پیش فرایند (T₂) در مایکروویو با توان ۳۰۰ وات

یک هفته بعد از خشک کردن نمونه‌ها، آزمایش‌های کنترل کیفیت، شامل اندازه‌گیری رنگ (رنگ موز قبل و بعد از خشک کردن توسط یک دستگاه لایویند مدل F اندازه‌گیری شد) (۸)، اندازه‌گیری جذب مجدد آب (۸)، اندازه‌گیری میزان ویتامین ث (در این تحقیق اندازه‌گیری ویتامین ث توسط روش تیتراسیون ۶ و ۲- دی کلرو فنل اندو فنل انجام شد) (۲۶)، و اندازه‌گیری میزان قند (مقدار ساکارز) (در این تحقیق اندازه‌گیری میزان قند توسط روش تیتراسیون لین آینون انجام شد) روی نمونه‌ها انجام شد (۱).

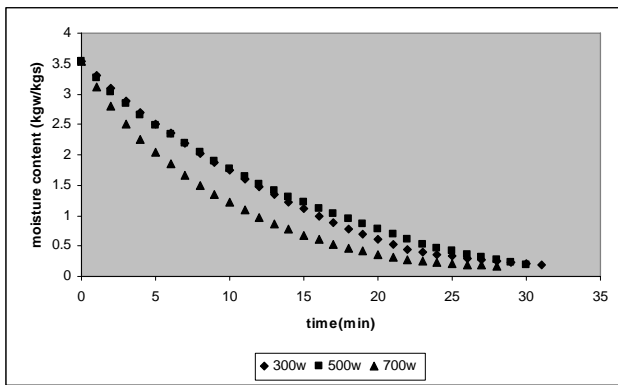
۴-۴- آنالیز آماری

در مجموع، ۳۶ نمونه جمع‌آوری شد و در سه تکرار، تحت آزمایش‌های کنترل کیفیت قرار گرفتند. جهت آنالیز آماری، از طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی استفاده شد. آنالیز واریانس برای تعیین اثر فاکتورهای مختلف بر روی پارامترهای خشک کردن، با استفاده از نرم‌افزار MSTAT انجام گرفت و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیز برای مقایسه‌ی میانگین‌ها استفاده گردید. به منظور بررسی راحت‌تر نتایج آزمایش‌ها، منحنی‌های زمان و آهنگ خشک کردن، با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها، توسط نرم‌افزار EXCEL رسم شدند.

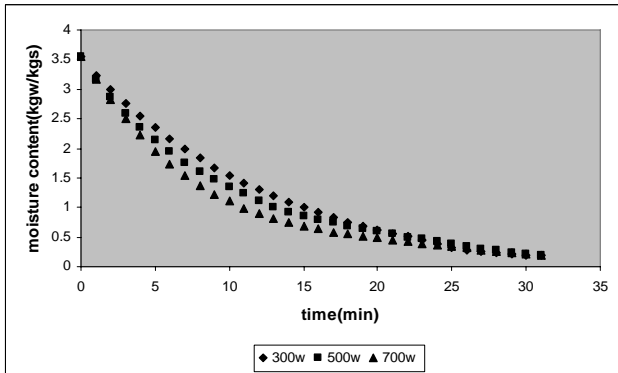
۳- نتایج و بحث

۳-۱- زمان خشک کردن

در تمام سطوح توان مایکروویو، شیب تندتری در ابتدای خشک کردن دیده می‌شود که علت آن جذب امواج مایکروویو به وسیله‌ی مولکول‌های دو قطبی به ویژه آب و نوسان آن‌ها در بسامد ۲۴۵۰ مگاهرتز موجب ایجاد اصطکاک و تولید گرما و در نتیجه تبخیر رطوبت در درون برش موز و انتقال آن به سمت بیرون می‌شود. در اثر این رویدادها، بافت موز متخلخل شده، با افزایش ضخامت، زمان خشک کردن در تمام روش‌های پیش فرایند و توان‌های مختلف مایکروویو کوتاه‌تر می‌شود (۴). به عنوان مثال، زمان خشک کردن برای رسیدن به رطوبت نهایی در نمونه‌های با ضخامت‌های ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌متر با پیش فرایند (T₁) که در مایکروویو با توان ۳۰۰ وات خشک شده‌اند، به ترتیب، ۲۸، ۲۷ و ۲۴ دقیقه (شکل ۱) و زمان خشک کردن برای رسیدن

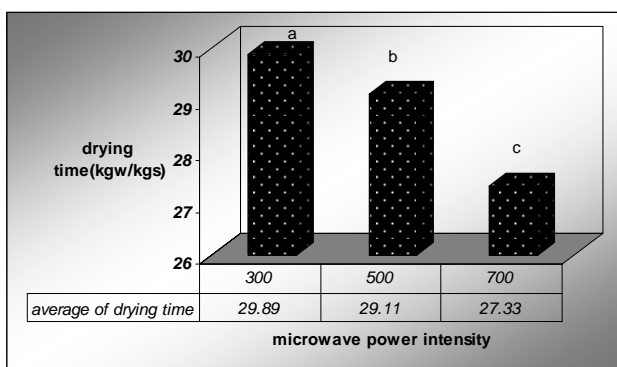


A



B

شکل ۴ - A : منحنی زمان خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳ mm با پیش فرآیند (T1) در مایکروویو با توان‌های ۷۰۰ W. و ۵۰۰ و ۳۰۰ B : منحنی زمان خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۵ mm با پیش فرآیند (T1) در مایکروویو با توان‌های ۷۰۰ و ۵۰۰ و ۳۰۰



شکل ۵ - تأثیر توان مایکروویو بر زمان خشک کردن

با افزایش توان مایکروویو، زمان خشک کردن کاهش می‌یابد اما این کاهش، قابل ملاحظه نیست و در حد چند دقیقه است. حتی در ضخامت‌های بالاتر، زمان خشک کردن در تمام توان‌های مایکروویو یکسان است. به عنوان مثال، زمان خشک کردن برای رسیدن به رطوبت نهایی در نمونه‌های با ضخامت ۳ mm با پیش فرآیند (T1) که در مایکروویو با توان‌های ۷۰۰ W و ۵۰۰، ۳۰۰ خشک شده‌اند، به ترتیب، ۳۲، ۳۰ و ۲۸ دقیقه است (شکل A ۴) در حالی که زمان خشک کردن برای رسیدن به رطوبت نهایی در نمونه‌های با ضخامت ۵ mm با پیش فرآیند (T1) که در مایکروویو با توان‌های ۷۰۰ W و ۵۰۰، ۳۰۰ خشک شده‌اند، ۳۲ دقیقه است (شکل B ۴).

نتایج تجزیه واریانس نیز نشان داد که تأثیر توان مایکروویو بر زمان خشک کردن، معنی‌دار بوده است (شکل ۵).

نتایج آزمایش‌های خشک کردن، نشان داد که هر چه مراحل پیش فرآیند بیش تر شده، زمان خشک کردن کوتاه‌تر می‌گردد. به طوری که زمان خشک کردن در پیش فرآیند (T1) که فقط یک مرحله غوطه‌وری در محلول متابی سولفیت سدیم ۱٪ دارد از زمان خشک کردن در پیش فرآیند (T2) که یک مرحله بلانچ کردن بیش‌تر از پیش فرآیند (T1) دارد، بیش تر است اما در پیش فرآیندهای (T2) و (T3) که در هر دو ابتدا بلانچ صورت گرفته و سپس نمونه‌ها در محلول‌های تیمار کننده مورد نظر غوطه‌ور می‌شوند، زمان خشک کردن تفاوت چندانی با هم ندارند. همچنین زمان خشک کردن در نمونه‌های تیمار نشده بیش‌تر از نمونه‌های تیمار شده است. به نظر می‌رسد علت این پدیده، تأثیر محلول‌های تیمار کننده بر بافت برش‌های موز و آسیب بافت در اثر بلانچ کردن باشد که باعث افزایش سرعت خروج رطوبت از آن می‌گردد. به عنوان مثال، زمان خشک کردن در نمونه‌های با ضخامت ۳ mm در مایکروویو ۳۰۰ W با پیش فرآیندهای T1، T2، T3 و T0 به ترتیب، ۳۲، ۲۹، ۳۰ و ۳۵ دقیقه است (شکل ۶).

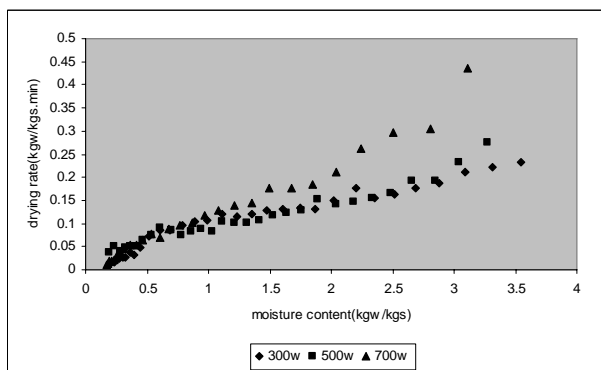
آنالیز واریانس نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری در اثر پیش فرآیندها بر روی زمان خشک کردن وجود دارد (شکل ۷).

نمونه در حین گرمایش مایکروویو بالاست که دلایل آن گرمایش حجمی، تولید حرارت در داخل نمونه و اختلاف فشارزادی است که بین مرکز و سطح تولید برقرار می‌شود. این اختلاف فشار بخار در نمونه‌های با ضخامت بیش تر و توان‌های مایکروویو بالاتر، بزرگ تر است و باعث افزایش آهنگ خشک کردن می‌شود. مشابه این نتایج را لین و همکارانش در سال ۱۹۹۸ و مسکن در سال ۱۹۹۹ نیز به دست آوردند (۱۸ و ۲۲).

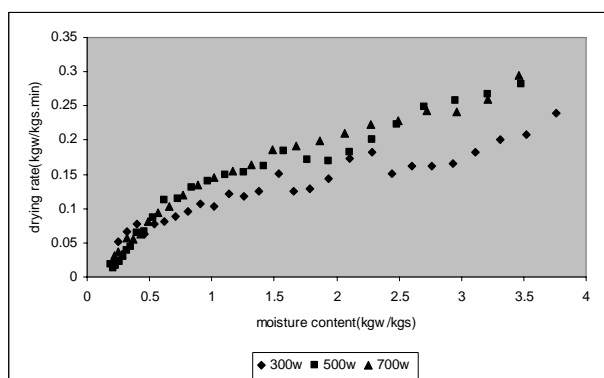
اما نتایج، نشان داد که به طور کلی تغییرات آهنگ خشک کردن با پیش فرایندهای مختلف در توان ثابت از روند خاصی تبعیت نمی‌کند (شکل ۱۱، ۱۲ و ۱۳).

با افزایش ضخامت برش‌ها آهنگ خشک کردن نیز افزایش می‌یابد که علت این پدیده گرمایش حجمی در روش مایکروویو است (شکل ۱۴، ۱۵ و ۱۶).

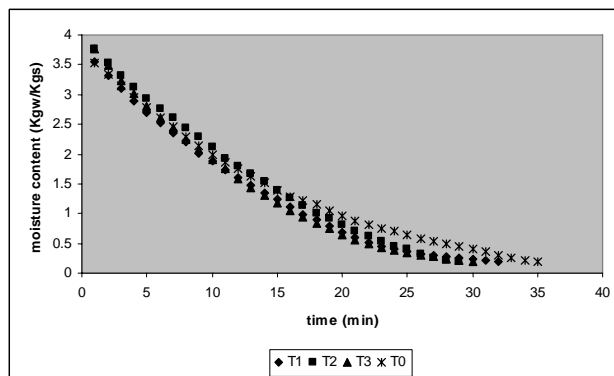
آنالیز ANOVA تفاوت معنی‌داری در اثر توان مایکروویو بر روی آهنگ خشک کردن نشان می‌دهد (شکل ۱۷).



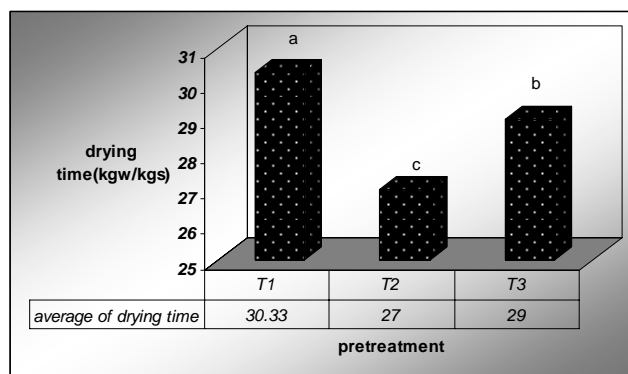
شکل ۸ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳ mm با پیش فرآیند (T1) در توان‌های مایکروویو ۷۰۰ و ۵۰۰، ۳۰۰



شکل ۹ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۵ mm با پیش فرآیند (T2) در توان‌های مایکروویو ۷۰۰ و ۵۰۰، ۳۰۰



شکل ۶ - منحنی زمان خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳mm در مایکروویو ۳۰۰ W با پیش فرایندهای T3، T2، T1 و T0

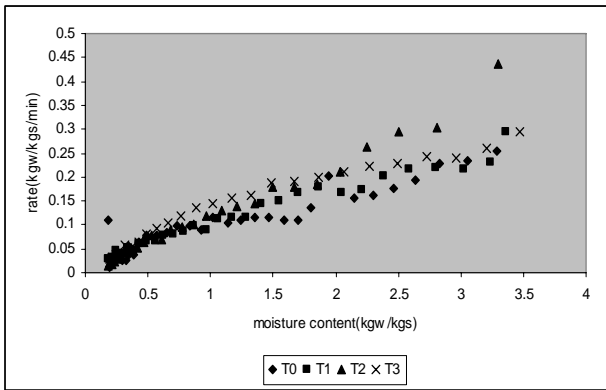


شکل ۷ - تأثیر پیش فرایندها بر زمان خشک کردن

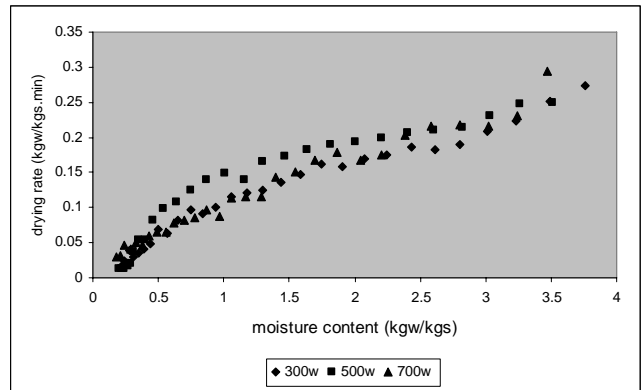
۳-۲- آهنگ خشک کردن

وزن آبی که در هر لحظه نسبت به وزن ماده‌ی خشک از محصول تبخیر می‌شود، آهنگ خشک کردن گفته می‌شود و هر چه آهنگ خشک کردن بیش تر باشد، زمان خشک کردن کوتاه تر می‌گردد. طی آزمایش‌های خشک کردن، آهنگ خشک کردن نیز با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها در زمان‌های مختلف محاسبه و بر حسب مقدار رطوبت در مبنای خشک، رسم گردید. با استفاده از این شکل‌ها، بررسی رفتار خشک کردن، ساده تر می‌شود.

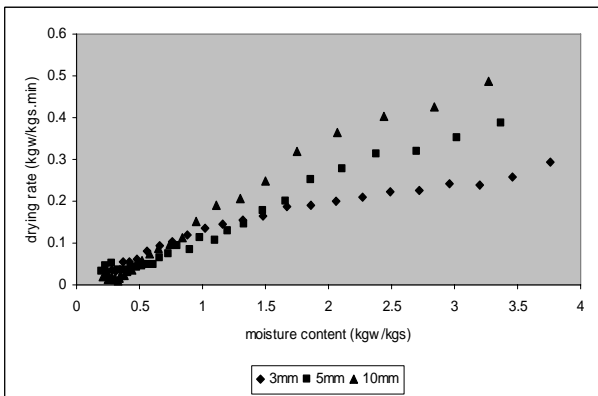
با افزایش توان مایکروویو آهنگ خشک کردن در تمام ضخامت‌ها و روش‌های پیش فرآیند، افزایش می‌یابد. مثلاً آهنگ خشک کردن متوسط طی خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳ mm با پیش فرآیند (T1) در توان‌های مایکروویو ۷۰۰ و ۵۰۰، ۳۰۰ به ترتیب، (۰/۱۲۰، ۰/۱۱۱، ۰/۱۰۸) است (شکل ۸، ۹ و ۱۰) زیرا آهنگ انتقال رطوبت در



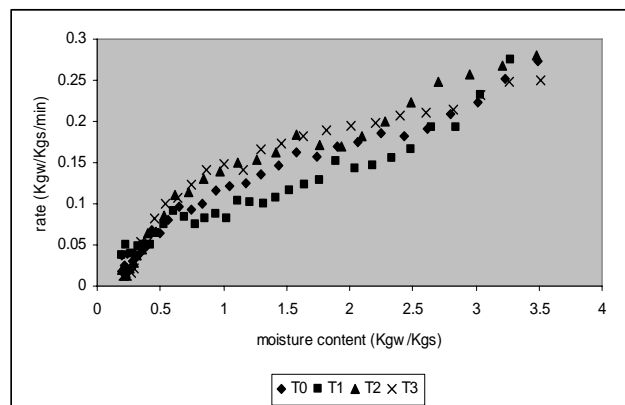
شکل ۱۳ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳mm در مایکروویو ۷۰۰ w با پیش‌فرآیندهای T1، T2، T3 و T0



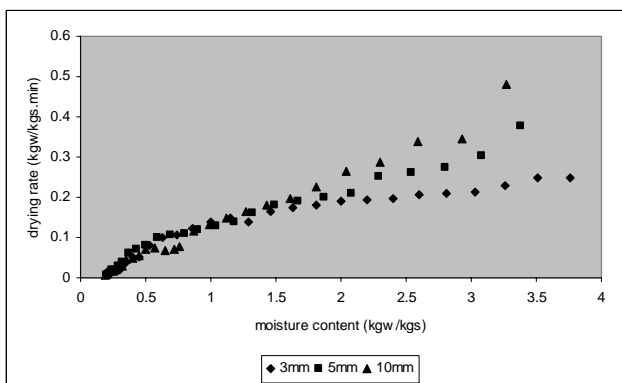
شکل ۱۰ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۱۰ mm با پیش‌فرآیند (T3) در توان‌های مایکروویو ۷۰۰ W و ۳۰۰، ۵۰۰



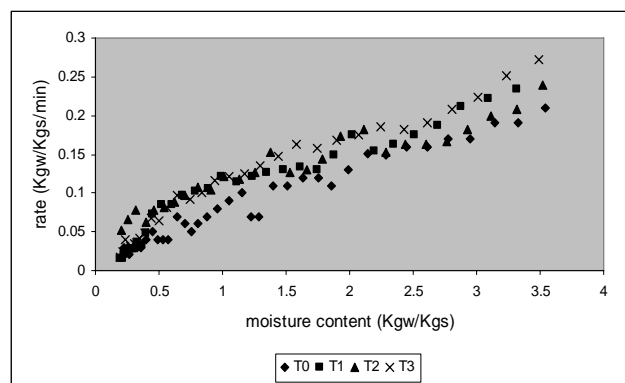
شکل ۱۴ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳mm، ۵ و ۱۰ با پیش‌فرآیند (T2) در مایکروویو ۷۰۰W



شکل ۱۱ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳mm در مایکروویو ۳۰۰ w با پیش‌فرآیندهای T1، T2، T3 و T0

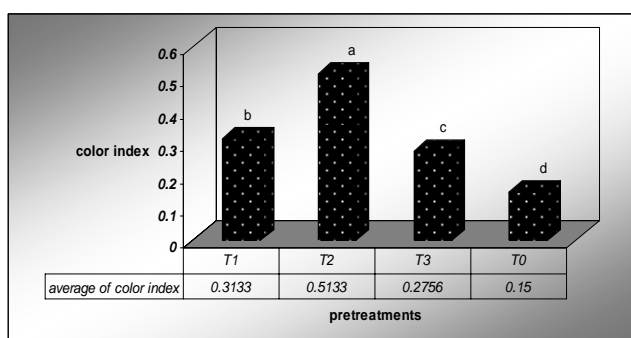


شکل ۱۵ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳mm، ۵ و ۱۰ با پیش‌فرآیند (T3) در مایکروویو ۵۰۰W

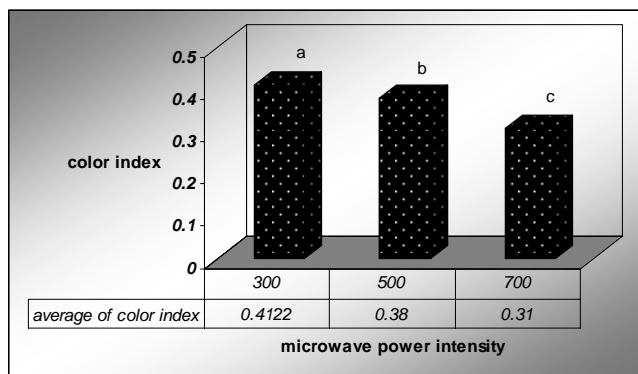


شکل ۱۲ - منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های موز با ضخامت ۳mm در مایکروویو ۵۰۰ w با پیش‌فرآیندهای T1، T2، T3 و T0

کمتری را نسبت به سایر پیش فرآیندها ایجاد می‌کند که علت آن این است که در این پیش فرایند بلانچ با آب جوش و همچنین بلانچ شیمیایی با متابی سولفیت سدیم صورت گرفته است و از طرفی متابی سولفیت سدیم با آنزیم‌های تغییر دهنده رنگ واکنش داده و در کار آن‌ها اختلال ایجاد می‌کند و نیز با عوامل ایجاد کننده‌ی رنگ در قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی واکنش داده و از ایجاد رنگ جلوگیری می‌کند. اما اسید آسکوربیک و اسید سیتریک به ترتیب با مصرف سریع اکسیژن و کاهش pH باعث غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌شوند (۵)، (شکل‌های ۱۸ و ۱۹).



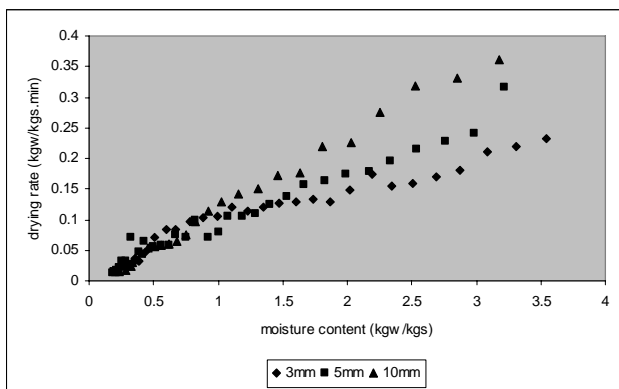
شکل ۱۸- اثر پیش فرآیندها بر روی رنگ



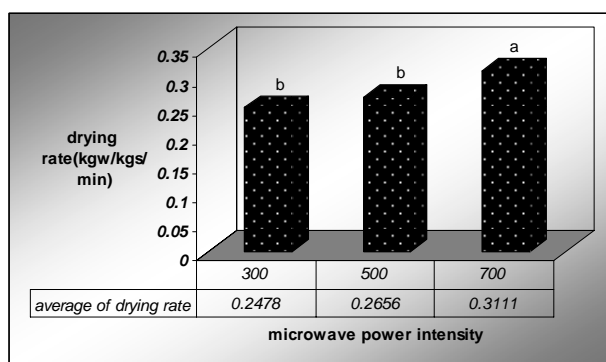
شکل ۱۹- اثر توان مایکروویو روی رنگ

۳-۴- قند (میزان ساکارز)

نتایج آزمایش‌های خشک کردن نشان داد که توان مایکروویو و پیش فرآیندها بر روی میزان قند موز خشک شده، تأثیر دارند. میزان قند موز تازه در حدود $2/26 \text{ mg}/100$ اندازه گیری شد. اما در خشک کردن با مایکروویو با افزایش توان مایکروویو میزان قند کاهش می‌یابد که علت آن افزایش واکنش‌های قهوه‌ای شدن مایلارد در دماهای بالاتر و در نتیجه تجزیه‌ی بیش‌تر قندها



شکل ۱۶- منحنی آهنگ خشک کردن برش‌های با ضخامت mm ۱۰ و ۵ و ۳ با پیش فرآیند (T1) در مایکروویو ۳۰۰W

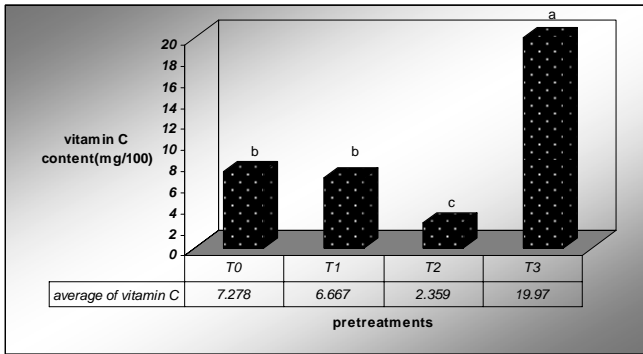


شکل ۱۷- تأثیر توان مایکروویو بر آهنگ خشک کردن

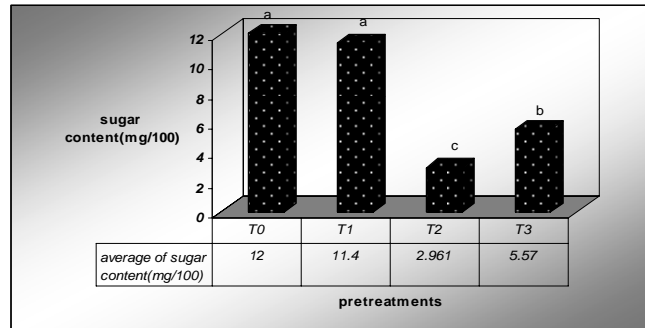
۳-۳- تغییرات رنگ

مشاهدات بصری موزهای خشک شده، نشان می‌دهد که پیش فرآیند و توان مایکروویو بر روی رنگ نمونه‌ها نسبت به نمونه‌ی شاهد اثر داشته‌اند. رنگ برش‌های موز به طور طبیعی سفید مایل به زرد است که با شروع عمل خشک کردن به تدریج رنگ زرد مایل به قهوه‌ای نمایان می‌شود. با افزایش توان مایکروویو نیز تغییر رنگ افزایش می‌یابد که علت آن بروز سوختگی سطحی در توان‌های بالاتر است. تحت شرایط مشابه، برش‌های تیمار شده نسبت به برش‌های تیمار نشده تغییر رنگ کمتری را تجربه می‌کنند چون طی عمل بلانچ کردن با آب جوش و بلانچ شیمیایی آنزیم‌هایی که مسوول تغییر رنگ محصول حین خشک کردن و نگهداری است غیرفعال می‌شوند و همچنین با عوامل ایجاد کننده‌ی رنگ در قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی نیز واکنش داده و از قهوه‌ای شدن غیر آنزیمی جلوگیری می‌کنند. به علاوه، پیش فرآیند (T2) تغییر رنگ

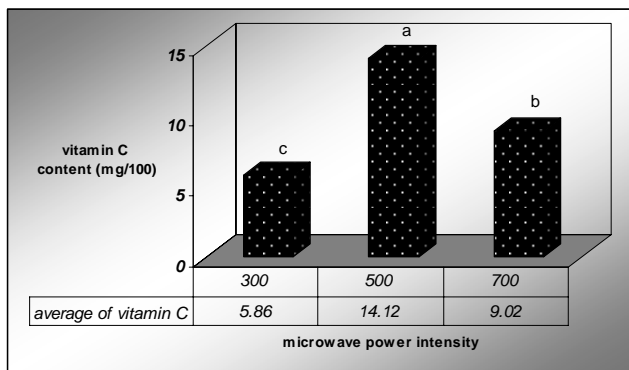
است. در بین سه روش پیش فرآیند، پیش فرآیندهایی که شامل بلانچ کردن با آب جوش هستند به دلیل انحلال قند در آب مقدار قند را بیش‌تر کاهش می‌دهند (شکل‌های ۲۰ و ۲۱).



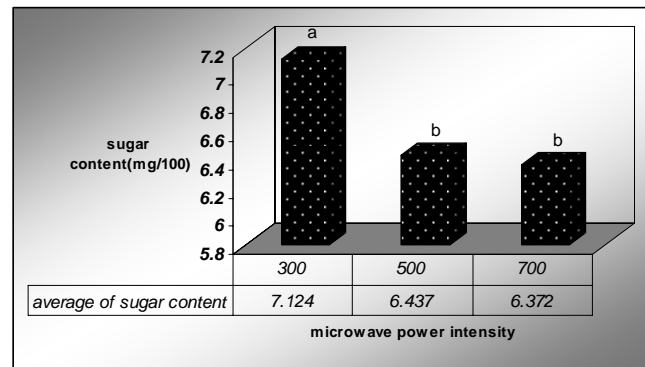
شکل ۲۲ - اثر پیش فرآیندها بر روی میزان ویتامین ث



شکل ۲۰ - اثر پیش فرآیندها بر روی میزان قند (میزان ساکارز)



شکل ۲۳ - اثر توان مایکروویو بر روی میزان ویتامین ث



شکل ۲۱ - اثر توان مایکروویو بر روی قند (میزان ساکارز)

۶-۳- جذب مجدد آب

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که پیش فرآیندها و توان مایکروویو بر روی میزان جذب مجدد آب موز خشک شده تأثیر دارد. بهترین جذب مجدد آب در توان مایکروویو ۵۰۰ وات به دست آمد و در میان پیش فرآیندها، پیش فرآیند (T₁) بهترین جذب مجدد آب را داشت (علت آن می‌تواند این باشد که در دو پیش فرآیند دیگر که بلانچ کردن با آب صورت گرفته است بافت موز بیش‌تر آسیب می‌بیند) و هیچ یک از نمونه‌ها رطوبت اولیه‌ی خود را به دست نیاوردند (علت آن این است که طی فرآیند خشک کردن بسیاری از جایگاه‌های اتصال آب به طور غیر قابل برگشتی از بین می‌روند و بنابراین، منحنی‌های جذب و دفع آب از مواد غذایی هیچ گاه بر هم منطبق نمی‌شوند) (۵)، (شکل‌های ۲۴ و ۲۵).

۳-۵- ویتامین ث

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که پیش فرآیند و توان مایکروویو بر روی میزان ویتامین ث در موز خشک شده تأثیر داشته‌اند. در این مطالعه، استخراج ویتامین ث با استفاده از روش تیتراسیون ۲ و ۶- دی کلرو ایندوفنل انجام شد. مقدار ویتامین ث موز تازه ۶/۲۶ mg/100 به دست آمد. در روش خشک کردن مایکروویو، با افزایش توان، دمای درونی برش موز نیز افزایش یافته، در نتیجه تخریب ویتامین ث که نسبت به گرما حساس است، بیش‌تر می‌شود. در میان سه روش پیش فرآیند، همان‌طور که انتظار می‌رود پیش فرآیند اسید آسکوربیک و سیتریک (T₃) کاهش کم‌تری در ویتامین ث ایجاد کرده است و در پیش فرآیند (T₂) نسبت به (T₁) به دلیل انحلال ویتامین ث در آب میزان اتلاف ویتامین ث بیش‌تر بوده است (شکل‌های ۲۲ و ۲۳).

کارشناسی ارشد دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی.

۴- زیرجانی، ل.، توکلی پور، ح. و پدram نیا، ا. ۱۳۸۷. بهینه سازی فرآیند خشک کردن موز با هوای داغ و مایکروویو. مجله علمی پژوهشی علوم غذایی و تغذیه، شماره ۱، سال ششم.

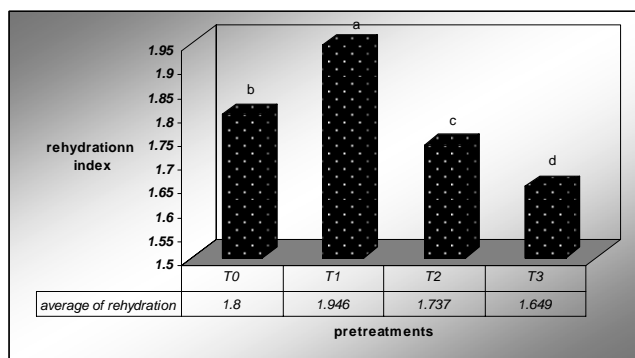
۵- فاطمی، ح. ۱۳۸۴. شیمی مواد غذایی، شرکت سهامی انتشار.

۶- محبوب خمایی، ع. ۱۳۸۰. کشت گلخانه ای موز.

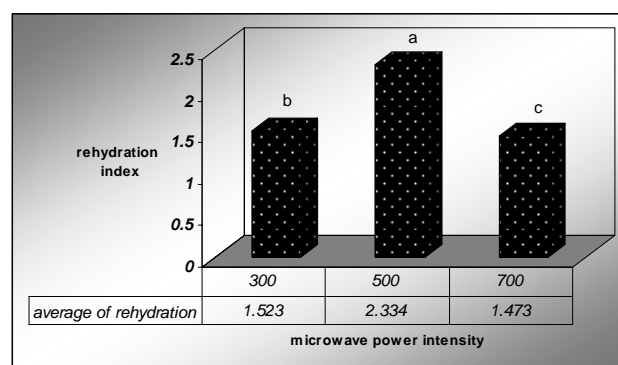
۷- معمار، ر. ۱۳۷۶. بررسی ارزش غذایی و دارویی برخی از انواع موز موجود در ایران. پایان نامه ی دکترا ی دانشگاه علوم پزشکی تهران، دانشکده داروسازی.

۸- میرزمانی، ش. ۱۳۸۳. فرآیند خشک کردن سیب توسط هوای داغ و بررسی برخی از پارامترهای فیزیکوشیمیایی موثر در آن. پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سبزوار.

- 9- Azharnual Karim, MD. and Hawlader. M. N. A. 2005. Drying characteristics of banana: theoretical modeling and experimental validation, *Journal of Food Engineering* (70)35-45.
- 10- Azharual Karim, MD. and Hawlader. M. N. A. 2005. Mathematical modeling and experimental investigation of tropical fruits drying, *International Journal of Heat and Mass Transfer*. (34)230-235.
- 11- Boudhrioua, N. Michon. C. Carelier, G. and Borazzi. C. 2002. Influence of ripeness and temperature on changes in banana texture during drying. *Journal of Food Engineering* (55)115-127.
- 12- Chua, K.J. Mujumdar, A.S. Hawlader, M.N.A. Chua, S.K. and HO, J.C.2002. Batch drying of banana pieces-effect stepwise change in drying air temperature on drying kinetics and product color, *Food Research International* (34)721-731.
- 13- Cutinho, S.A. Alsina, O.L.S. and silva, O.S.1997. Effect of the thickness in the drying of banana in monologer. In *2 Congress O Brasilerio de Engenharia Quimicaem Iniciaogao cintifica* (vol.I.pp.217-278). Uberladia, Brasil.
- 14- Dandamrongrak, R. Young, G. and Mason, R. 2002. Evaluation of various pre-treatments for the dehydration of banana



شکل ۲۴ - اثر پیش فرآیندها بر روی جذب مجدد آب



شکل ۲۵ - اثر شدت توان مایکروویو بر روی جذب مجدد آب

۴- نتیجه گیری

پیش فرآیندهای اعمال شده، قبل از خشک کردن، آهنگ خشک کردن را افزایش و زمان خشک کردن را کاهش دادند. پیش فرآیندها، بر روی شاخص های کیفی نیز تأثیر مثبت داشتند به طوری که با افزایش توان مایکروویو، زمان خشک کردن کاهش می یابد اما بر روی شاخص های کیفی تأثیر منفی دارد. با افزایش ضخامت برش ها، آهنگ خشک کردن افزایش و زمان خشک کردن کاهش می یابد. پس از بررسی پارامترهای کیفی، پیش فرایند (T₂) بیشترین امتیاز را کسب کرد.

۵- منابع

- ۱- پروانه، و. ۱۳۷۷. چاپ چهارم، کنترل کیفی و آزمایشگاهی شیمیایی مواد غذایی، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۲- توکلی پور، ح. ۱۳۸۶. خشک کردن مواد غذایی، اصول و روش ها، انتشارات آبیژ، تهران.
- ۳- دمی زاده، غ. ۱۳۷۵. شناسایی موزهای محلی ایران در استان های سیستان و بلوچستان و هرمزگان - پایان نامه ی

- and selection of suitable drying models, *Journal of Food Engineering* (55)139-146.
- 15- Demiral. D. and Turhan. M. 2003. Air-drying behavior of Dwarf Cavendish and Gross Michel banana slices, *Journal of Food Engineering* (59)1-11.
- 16- Drouzas, A. E. and Schubert. H. 1996. Microwave application in vacuum drying of fruits. *Journal of Food Engineering* (28)203-209.
- 17- Fabiano, A.N. Fernandes, S. Odisseia, R. Gaspareto, C.P. and Olivera, E.L. 2005. Optimization of osmotic dehydration of banana followed by air-drying, *Journal of Food Engineering*. (37)423-432.
- 18- Garcia, R. Lean, F. and Rolz, C. 1998. Drying of bananas using microwave and air ovens. *International Journal of Food Science and Technology* (23)73-80.
- 19- Hernandez, Y. Labo, M. G. and Gonzales, M. 2005. Determination of vitamin c in tropical fruits: a comparative evaluation of methods, *Food Chemistry*. (76)103-107.
- 20- Imtiaz, H. Iqbal, M. Shakir, I. and Ayub, N. 2004. Effect of sucrose and glucose mixture on the quality characteristics of osmotically dehydrated banana slices, *Pakistan Journal of Nutrition*.3(5):282-284.
- 21- Lee, K. T. Farid, M. and Nguang. S.K. 2006. The mathematical modeling of the rehydration characteristics of fruits, *Journal of Food Engineering* (72)16-23.
- 22- Maskan, M. 2000. Microwave air and microwave finish drying of banana, *Journal of Food Engineering* (44)71-78.
- 23- Sankat, C. K. and Castaigne, F. 2004. Foaming and drying behavior of ripe bananas, *Lebensm- Wiss. U. Technol.* (37) 517-525.
- 24- Sankat, C. k, Castaigne, F. and Maharaj, R. 1996. The drying behavior of fresh and osmotically dehydrated banana slices. *International Journal of Food Science and Technology* (31)123-135.
- 25- Talla, A. Puiggali, J. R. Jamaa, W. Jannot, Y. 2004. Shrinkage and density evolution during drying of tropical fruits: *Application to banana*. *Journal of Food Engineering* (64)103-709