١٤٦٤٨٩

دانشگاه ارومیه

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و صنایع غذایی

مقایسه روش های جابجایی و میکروویوی در خشک کردن نهایی کشمش

نگارش:

راضیه ده بوره

استاد راهنما:

آقای دکتر محسن اسمعیلی

۱۳۸۹/۶/۱۱

پایان نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۸۹

۱۴۶۴۵۹

پایان نامه خانم راضیه ده بوره به تاریخ ۸۹/٤/۳۰ به شماره ۱۵۳-۲ک مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه عالی ونمره ۱۹/۱ قرار گرفت.

۱-استاد راهنما و رئیس هیئت داوران :

۲-استاد مشاور :

۳-داور خارجی :

٤-داور ~~داخلی~~ :

۵- نماینده تحصیلات تکمیلی :

حق طبع و نشر این رساله متعلق به دانشگاه ارومیه است.

تقدیم به

روح پدر عزیزم

که شنا در اقیانوس وسیع زندگی و پرواز در آسمان نیلگون محبت را از وی آموختم.

مادر مهربانم

که مسیر سربلندی را به شیواترین روش به من آموخت.

و همه کسانیکه با تمام وجود دوستشان دارم و وجودشان مایه دلگرمی زندگی ام بوده و هست.

تقدیر و تشکر

آغاز کلام با حمد و سپاس خالق هستی، که ستایشش موجب افزایش نعمت و کفران نعمتش موجب زائل شدن آن می شود. خداوند مهربان را به شکرانه الطاف بی پایانش از روی بندگی و اخلاص سپاس و ستایش می گویم.

حال که پایان نامه به پایان رسیده است برخود لازم می دانم از زحمات کسانی که این نگارش مرهون زحمات آنهاست سپاسگذاری کنم.

تشکر و سپاس بی کران خود را نسبت به خانواده عزیزم که آگاهانه مشوقم بوده اند و در دوران تحصیل دانش یاری ام نموده اند، ابراز می دارم و برای خواهران و برادارانم آرزوی موفقیت و سلامتی دارم.

از جناب آقای دکتر اسمعیلی استاد راهنمای پایان نامه که به شایستگی همراهیم کردند ودر تمام مراحل کار راهگشای مشکلات من بودند و با صفا و صداقت خویش به بنده درس دقت، پشتکار و اعتماد به نفس آموختند، تشکر می کنم.

از جناب آقای دکتر خسروشاهی، آقای دکتر پیروزی فرد، آقای دکتر رضازاد و آقای دکتر علیزاده که در طول تحصیلم در دانشگاه ارومیه از محضر این اساتید استفاده کرده ام تشکر می کنم.

در پایان از محبت های همه دوستانم صمیمانه تشکر می کنم و موفقیت و شادکامی را برای همه شان آرزومندم.

نگارنده

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: مرور منابع ۳

۲-۱- حرارت دهی با میکروویو ٤

۲-۱-۱- پلاریزاسیون یونی ٤

۲-۱-۲- چرخش دو قطبی ٥

۲-۲- فرآوری انگور های خشک شده ٦

۲-۳- باز آب پوشانی ٦

۲-٤-رنگ ۸

۲-٥- ضریب نفوذ مؤثررطوبت ۹

۲-٦- مدلهای خشک کردن ۱۱

۲-٦-۱- مدلهای نیمه تئوری ۱۲

فصل سوم: مواد و روشها ۱٦

۳-۱- مواد ۱٦

۳-۱-۱- کشمش ۱٦

۳-۱-۲- اجاق میکروویو ۱٦

۳-۱-۳- وسایل آزمایشگاهی ۱٦

۳-۱-٤- حمام آب ۱۷

۳-۱-٥- خشک کن آزمایشگاهی ۱۷

۳-۱-٦- رنگ سنج ۱۷

۳-۱-۷- اجاق تحت خلا ۱۷

۳-۱-۸- ترازوی دیجیتالی ۱۷
۳-۲- روشها ۱۸
۳-۲-۱- تعیین مقدار رطوبت اولیه نمونه ها ۱۸
۳-۲-۲- شستشوی نمونه ها ۱۸
۳-۲-۳- خشک کردن نهایی نمونه ها ۱۸
۳-۲-٤- اندازه گیری رنگ کشمش ها ۱۹
۳-۲-۵ -تجزیه و تحلیل آماری ۲۰
فصل چهارم: نتایج و بحث ۲۱
٤-۱- باز آب پوشانی ۲۱
٤-۲- رفتار خشک کردن نهایی میکروویوی و جابجایی ۲۳
٤-۳- برازش منحنی های خشک شدن ۳٦
٤-٤- ضریب نفوذ موثر رطوبت ۵۵
٤-۵- رنگ نمونه های کشمش ۵٦
نتیجه گیری نهایی ۷۸
پیشنهادات ۷۹
منابع ۸۰

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مدلهای ریاضی مورد استفاده در برازش داده های خشک کردن..... ۱۵

جدول ٤-۱ مقدار جذب آب نمونه های کشمش آفتابی..... ۲۱

جدول ٤-۲ مقدار جذب آب نمونه های کشمش تیزابی..... ۲۲

جدول ٤-۳ مقادیر درصد باز آب پوشانی دو نوع انگور خشک شده..... ۲۳

جدول ٤-٤ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل لوئیس..... ۳۸

جدول ٤-٥ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل پیج..... ۳۹

جدول ٤-٦ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل پیج اصلاح شده..... ٤۱

جدول ٤-۷ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل هندرسون و پابیس..... ٤۲

جدول ٤-۸ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل لگاریتمی..... ٤٤

جدول ٤-۹ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل دو جمله ای..... ٤٦

جدول ٤-۱۰ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل تقریب نفوذ..... ٤۸

جدول ٤-۱۱ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل ونگ و سینگ..... ٤۹

جدول ٤-۱۲ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل ساده شده نفوذ فیک..... ٥۱

جدول ٤-۱۳ مقادیر R^2 وRMSE وχ^2 مدل پیج اصلاح شده ۲..... ٥۳

جدول ٤-۱٤ داده های حاصل از ارزیابی رنگ نمونه های کشمش آفتابی ٥٦

جدول ٤-۱٥ داده های حاصل از ارزیابی رنگ نمونه های کشمش تیزابی..... ٥۷

جدول ٤-۱٦ نتایج حاصل از آنالیز واریانس پارامترهای رنگ کشمش آفتابی..... ٦٤

جدول ٤-۱۷ نتایج حاصل از آنالیز واریانس پارامترهای رنگ کشمش تیزابی..... ۷۰

جدول ٤-۱۸ نتایج حاصل از آنالیز واریانس ΔE کشمش آفتابی..... ۷٤

جدول ٤-۱۹ نتایج حاصل از آنالیز واریانس ΔE کشمش تیزابی..... ۷۷

فهرست اشکال

شکل ۳-۱ شکل ساده اجاق میکروویو و قسمت های مختلف آن: (۱- اجاق، ۲ -سینی مخصوص، ۳- ترازو، ٤- کابل RS232 و ٥ - رایانه)..... ۱۹

شکل٤-۱ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب $25^{\circ}C$ و زمان ۳۰ دقیقه..... ۲٤

شکل٤-۲ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب $25^{\circ}C$ و زمان ٦۰ دقیقه..... ۲٥

شکل٤-۳ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب $45^{\circ}C$ و زمان ۳۰ دقیقه..... ۲٥

شکل٤-٤ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب $45^{\circ}C$ و زمان ٦۰ دقیقه..... ۲٦

شکل٤-٥ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ۲۷۰ وات، دمای آب $25^{\circ}C$ و زمان ۳۰ دقیقه..... ۲٦

شکل٤-٦ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ۲۷۰ وات، دمای آب $25^{\circ}C$ و زمان ٦۰ دقیقه..... ۲۷

شکل٤-۷ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ۲۷۰ وات، دمای آب $45^{\circ}C$ و زمان ۳۰ دقیقه..... ۲۷

شکل٤-۸ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش میکروویو در سطح توان ۲۷۰ وات، دمای آب $45^{\circ}C$ و زمان ٦۰ دقیقه..... ۲۸

شکل٤-۹ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش جابجایی، در دمای آب $25^{\circ}C$ و زمان ۳۰ دقیقه..... ۲۸

شکل٤-۱۰ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش جابجایی، در دمای آب $25^{\circ}C$ و زمان ٦۰ دقیقه..... ۲۹

شکل٤-١١ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش جابجایی، در دمای آب°C ٤٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٢٩

شکل٤-١٢ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده آفتابی با روش جابجایی، در دمای آب°C ٤٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣٠

شکل٤-١٣ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب°C ٢٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٣٠

شکل٤-١٤ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب°C ٢٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣١

شکل٤-١٥ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب°C ٤٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٣١

شکل٤-١٦ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٤٥٠ وات، دمای آب°C ٤٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣٢

شکل٤-١٧ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٢٧٠ وات، دمای آب°C ٢٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٣٢

شکل٤-١٨ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٢٧٠ وات، دمای آب°C ٢٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣٣

شکل٤-١٩ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٢٧٠ وات، دمای آب°C ٤٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٣٣

شکل٤-٢٠ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش میکروویو در سطح توان ٢٧٠ وات، دمای آب°C ٤٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣٤

شکل٤-٢١ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش جابجایی، دمای آب°C ٢٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٣٤

شکل٤-٢٢ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش جابجایی، دمای آب°C ٢٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣٥

شکل٤-٢٣ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش جابجایی، دمای آب°C ٤٥ و زمان ٣٠ دقیقه..... ٣٥

شکل٤-٢٤ منحنی سرعت خشک کردن نمونه خشک شده تیزابی با روش جابجایی، دمای آب°C ٤٥ و زمان ٦٠ دقیقه..... ٣٦

شکل٤-٢٥ برازش منحنی خشک شدن میکروویوی نمونه خشک شده آفتابی در سطح توان ٤٥٠ و ٢٧٠ وات، دمای °C ٤٥ و زمان ٣٠ دقیقه با مدل دو جمله ای..... ٣٧

شکل٤-٢٦ برازش منحنی خشک شدن جابجایی نمونه تیزابی در زمان ٣٠ دقیقه (١) و زمان ٦٠ دقیقه (٢) و دمای آب °C ٢٥ ..... ٣٧

شکل٤-٢٧ تأثیر روش خشک کردن بر روشنایی در کشمش آفتابی..... ٥٨

شکل٤-٢٨ تأثیر دمای شستشو بر روشنایی در کشمش آفتابی..... ٥٨

شکل٤-٢٩ تأثیر زمان شستشو بر روشنایی در کشمش آفتابی..... ٥٩

شکل٤-٣٠ تأثیر روش خشک کردن بر نسبت a/b در کشمش آفتابی..... ٥٩

شکل٤-٣١ تأثیر دمای شستشو بر نسبت a/b در کشمش آفتابی..... ٦٠

شکل٤-٣٢ تأثیر زمان شستشو بر نسبت a/b در کشمش آفتابی..... ٦٠

شکل٤-٣٣ مقدار روشنایی در روش های مختلف خشک کردن و دماهای متفاوت شستشو در کشمش آفتابی..... ٦١

شکل٤-٣٤ مقدار روشنایی در روش های مختلف خشک کردن و زمان های متفاوت شستشو در کشمش آفتابی..... ٦١

شکل٤-٣٥ برهم کنش متقابل دما و زمان شستشو بر روشنایی در کشمش آفتابی..... ٦٢

شکل٤-٣٦ مقدار نسبت a/b در روش های مختلف خشک کردن و دماهای متفاوت شستشو در کشمش آفتابی..... ٦٢

شکل٤-٣٧ مقدار نسبت a/b در روش های مختلف خشک کردن و زمان های متفاوت شستشو در کشمش آفتابی ٦٣
شکل٤-٣٨ بر هم کنش متقابل دما و زمان شستشو بر نسبت a/b در کشمش آفتابی ٦٣
شکل٤-٣٩ تأثیر روش خشک کردن بر روشنایی در کشمش تیزابی ٦٤
شکل٤-٤٠ تأثیر دمای شستشو بر روشنایی در کشمش تیزابی ٦٥
شکل٤-٤١ تأثیر زمان شستشو بر روشنایی در کشمش تیزابی ٦٥
شکل٤-٤٢ تأثیر روش خشک کردن بر نسبت a/b در کشمش تیزابی ٦٦
شکل٤-٤٣ تأثیر دمای شستشو بر نسبت a/b در کشمش تیزابی ٦٦
شکل٤-٤٤ تأثیر زمان شستشو بر نسبت a/b در کشمش تیزابی ٦٧
شکل٤-٤٥ مقدار روشنایی در روش های مختلف خشک کردن و دماهای متفاوت شستشو در کشمش تیزابی ٦٧
شکل٤-٤٦ مقدار روشنایی در روش های مختلف خشک کردن و زمان های متفاوت شستشو در کشمش تیزابی ٦٨
شکل٤-٤٧ بر هم کنش متقابل دما و زمان شستشو بر روشنایی در کشمش تیزابی ٦٨
شکل٤-٤٨ مقدار نسبت a/b در روش های مختلف خشک کردن و دماهای متفاوت شستشو در کشمش تیزابی ٦٩
شکل٤-٤٩ مقدار نسبت a/b در روش های مختلف خشک کردن و زمان های متفاوت شستشو در کشمش تیزابی ٦٩
شکل٤-٥٠ بر هم کنش متقابل دما و زمان شستشو بر نسبت a/b در کشمش تیزابی ٧٠
شکل٤-٥١ تأثیر روش خشک کردن بر ΔE در کشمش آفتابی ٧١
شکل٤-٥٢ تأثیر دمای شستشو بر ΔE در کشمش آفتابی ٧١
شکل٤-٥٣ تأثیر زمان شستشو بر ΔE در کشمش آفتابی ٧٢

شـکل٤- ٥٤ مقـدار ΔE در روش هـای مختلـف خـشک کـردن و دماهـای متفـاوت شـستـشو در کـشمش آفتابی..... ٧٢

شـکل٤-٥٥ مقـدار ΔE در روش هـای مختلـف خـشک کـردن و زمـان هـای متفـاوت شـستـشو در کـشمش آفتابی..... ٧٣

شکل٤-٥٦ بر هم کنش متقابل دما و زمان شـستشو بر ΔE در کشمش آفتابی..... ٧٣

شکل٤-٥٧ تأثیر روش خشک کردن بر ΔE در کشمش تیزابی..... ٧٤

شکل٤-٥٨ تأثیر دمای شـستشو بر ΔE در کشمش تیزابی..... ٧٥

شکل٤-٥٩ تأثیر زمان شستشو بر ΔE در کشمش تیزابی..... ٧٥

شـکل٤-٦٠ مقـدار ΔE در روش هـای مختلـف خـشک کـردن و دماهـای متفـاوت شـستـشو در کـشمش تیزابی..... ٧٦

شـکل٤-٦١ مقـدار ΔE در روش هـای مختلـف خـشک کـردن و زمـان هـای متفـاوت شـستـشو در کـشمش تیزابی..... ٧٦

شکل٤-٦٢ برهم کنش متقابل دما و زمان شـستشو بر ΔE در کشمش تیزابی..... ٧٧

چکیده

امکان استفاده از روش میکروویو برای خشک کردن نهایی دو نوع خشک کرده انگور آفتابی و تیزابی بررسی گردید. بدین منظور نمونه های مورد مطالعه در حمام آب با دما ۴۵ °C و ۲۵ و زمان ۶۰ و۳۰ دقیقه معین شستشو داده شده و پس از حذف آب سطحی، با روش های میکروویوی در دو توان۲۷۰ و۴۵۰ وات و روش جریان هوای داغ روش جابجایی در دمای ۵۰ °C خشکانیده شدند. درصد جذب آب، ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و شاخص های رنگ هانتر (L بعنوان روشنایی و نسبت a/b) اندازه گیری گردید. برای تعیین مناسبترین مدل ریاضی جهت توصیف رفتار خشک شدن نمونه ها، برازش ۱۰ مدل ریاضی از طریق تعیین ضریب تبیین (R^2)، مربع خی (χ^2) و ریشه مربعات میانگین خطا (*RMSE*) ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که درصد جذب آب نمونه های تیزابی حدود ۳ تا ۴/۵ برابر نمونه های آفتابی است. طبق نتایج بدست آمده، خشک کردن در دوره سرعت نزولی رخ می دهد. بر اساس ارزیابی مدل ها، مدل دو جمله ای دارای بالاترین مقدارR^2 و کمترین مقدار χ^2 و *RMSE* می باشد. نتایج نشان می دهد که روش خشک کردن نهایی، رنگ محصول را تحت تاثیر قرار می دهد و همچنین استفاده از روش میکروویو برای خشک کردن نهایی تابع توان مورد استفاده و نوع محصول است.

واژگان کلیدی: خشک کردن نهایی، میکروویو، کشمش، کیفیت

فصل اول

مقدمه

انگور از نظر مقدار تولید مهمترین میوه دنیا است[۵]. طبق گزارش وزارت جهاد کشاورزی سالانه ۲ میلیون و ۶۰۰ هزار تن انگور در کشور تولید می شود که ۱۶۰ هزار تن آن به صورت کشمش به بازارهای خارجی صادر می شود. از نظر تولید انگور کشور ما بین ۷ کشور برتر دنیاست (اطلاعات آماری وزارت جهاد کشاورزی). استان های فارس، خراسان، قزوین، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و همدان تولید کننده اصلی انگور می باشند[۶]. از ارقام مختلف انگور برای تازه خوری، خشک کردن و آبگیری استفاده می شود. مهمترین رقم برای تولید کشمش، رقم سفید بیدانه می باشد. بین فرآورده های گوناگون این محصول باغی (میوه رومیزی، آبمیوه، کنسانتره آبمیوه، شیره، خمیر کشمش و کنسانتره شیره کشمش)، کشمش نه تنها دارای بیشترین ارزش افزوده است بلکه بیشترین عواید ارزی را نیز به خود اختصاص می دهد[۱]. هدف از خشک کردن مواد غذایی تولید محصولی با کیفیت بالا و قابلیت نگهداری بیشتر با کاربرد ویژه و خصوصیات مشخص، با صرف حداقل هزینه و با بیشترین راندمان تولید است. کیفیت محصول خشک شده تابع تغییرات فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی است که در حین فرآیند خشک کردن اتفاق می افتد. این تغییرات خود متأثر از شرایط خشک کردن و خصوصیات فیزیکوشیمیایی ماده تحت فرآیند است. ممکن است از یک نوع ماده بسته به روش خشک کردن و شرایط حاکم بر فرآیند و تحت تأثیر عوامل مؤثر بر ماده، مواد خشک با خواص متفاوت ایجاد شود[۱]. کشمش تولید شده در ایران به کشور های اروپایی صادر می شود و دارای رقیبان مهمی از جمله یونان، اسپانیا، آمریکا ، ایتالیا و ترکیه می باشد. کشمش بر حسب کیفیت، درجه بندی و تخلیص می شود. با توجه به اینکه انگور پس از خشک کردن قابل خوردن نمی باشد، فرآوری انگور خشک شده با توجه به آلودگی آن به انواع مواد خارجی گیاهی، لاشه های حشرات و گرد و غبار امری اجتناب ناپذیر است. لذا فرآوری کشمش در مقایسه با فرآوری سایر محصولات خشک شده نسبتاًسخت است[۱].

در این تحقیق امکان استفاده از روش میکروویوی برای خشک کردن نهایی خشک کرده انگور و مطالعه پارامتر ضریب نفوذ رطوبت و تغییرات کیفی محصول بررسی شده است لذا هدف این مطالعه، بررسی باز آب پوشانی نمونه های

خشک کرده انگور، مدل سازی و مقایسه دو روش خشک کردن نهایی میکروویوی و جابجایی، تعیین ضریب نفوذ رطوبت و بررسی تأثیر این دو روش در رنگ محصول نهایی است.

فصل دوم

مرور منابع

هر چند خشک کردن قرنها پیش نیز وجود داشته است و از قدیمی ترین روش های نگهداری غذاست اما آبگیری از غذا به دلیل تغییرات نا مطلوب کیفی محصول خشک شده هنوز هم یکی از عملیات واحد بسیار مشکل در فرآوری غذا است[۱۷ و۴۹]. روش های حرارتی جابه جایی از قبیل خشک کردن آفتابی و خشک کردن با هوای داغ به طور معمول برای خشک کردن میوه ها و سبزیجات به کار می رود[۱۷]. مهمترین معایب خشک کردن مواد غذایی با هوای داغ(روش جابجایی)، افت کیفیت و طولانی شدن زمان خشک کردن طی دوره خشک شدن با سرعت نزولی و کاهش کارایی انرژی و تغییر در رنگ و کاهش ظرفیت آبدار شدن محصول می باشد[۷۸]. به دلیل کاهش ضریب هدایت حرارتی مواد غذایی در دوره سرعت نزولی فرآیند خشک کردن با روش جابجایی، سرعت انتقال حرارت به قسمت های درونی ماده غذایی کاهش می یابد[۷۵]. خشک کردن انجمادی و خشک کردن در خلا گزینه های پیشنهادی برای خشک کردن میوه های تازه تا رسیدن به محتوای رطوبت نهایی است، اما این روش ها گران بوده و نیاز به سرمایه گذاری بالایی دارند[۳۸]. همچنین ممکن است انتقال حرارت در خلا به طور جدی به وسیله سرعت خشک کردن تحت تاثیر قرار گیرد[۲۳]. به منظور بر طرف کردن این مشکلات و جلوگیری از کاهش کیفیت معنی دار محصول، و برای رسیدن به فرآیند مؤثر و سریع انتقال حرارت، استفاده از میکروویو برای خشک کردن مواد غذایی توسعه یافته است. میکروویو برای اهداف مختلفی نظیر پاستوریزاسیون، پختن، غیر فعال کردن آنزیم ها و خشک کردن به کار می رود[۱۹]. در سال های اخیر خشک کردن با میکروویو وجهه عمومی مطلوبی را به عنوان یک روش خشک کردن برای طیف وسیعی از مواد غذایی نظیر میوه ها و سبزیجات به دست آورده است[۴۹ و ٦٧]. خشک کردن با میکروویو باعث بهبود خواص کیفی محصول نظیر افزایش ظرفیت آبدار شدن، کاهش تجزیه رنگها و کاهش شمارش میکروبی می شود[۴۹- ٦٠ و ٦١]. علاوه بر این خشک کردن با میکروویو زمان خشک کردن را معمولاً کاهش می دهد [۲۸ و۳۹]. لین و همکارانش در سال ۱۹۹۸ برای خشک کردن برش های هویج از میکروویو استفاده کردند[٤٦] . کلاری

و همکارانش در سال ۲۰۰۷ اثر توان میکروویو را بر روی مشخصات خشک کردن میوه تازه بررسی کردند[۱۷]. در حالت کلی محصولات فراوری شده با میکروویو دارای شاخص های کیفی بهتری می باشند.

۲-۱- حرارت دهی با میکروویو:

امواج میکروویو بخشی از امواج الکترومغناطیسی هستند که دارای میدان های الکتریکی و مغناطیسی بوده و بسامد آنها بین ۳۰۰ مگا هرتز تا ۳۰۰ گیگا هرتز متغیر می باشد[۷]. امواج میکروویو شباهت هایی با نور مرئی دارند. این امواج می توانند به صورت پرتو، کانونی شوند. امواج میکروویو می توانند از داخل لوله های تو خالی نیز عبور نمایند. بسته به خواص دی الکتریک ماده، این امواج منعکس شده یا توسط آن جذب می شوند. علاوه بر این امواج میکروویو می توانند بدون اینکه جذب شوند از ماده عبور نمایند. مواد بسته بندی نظیر شیشه، سرامیک و اکثر مواد ترموپلاستیک بدون جذب یا اندکی جذب به میکروویو اجازه عبور می دهند. امواج میکروویو به هنگام عبور از یک ماده به ماده دیگر همچون شعاع نورانی که موقع عبور از هوا به آب انحراف پیدا می کند، تغییر جهت می دهند[٦٦]. بر خلاف سیستم های گرمایشی متداول چون امواج میکروویو به داخل ماده غذایی نفوذ می کنند در نتیجه حرارت در سرتاسر ماده غذایی انتشار می یابد، به همین دلیل سرعت گرمایش با آن سریعتر از سایر روش های حرارت دهی است[۷-۱۱-۱۷-٤۹ و ٦۱]. ذکر این نکته حائز اهمیت است که امواج میکروویو در اثر واکنش با مواد غذایی ایجاد گرما می کنند. خود اشعه ی میکروویو یک اشعه ی غیر یونیزه کننده است. این اشعه به کلی با اشعه های یونیزه کننده نظیر اشعه ایکس و اشعه گاما تفاوت دارد. وقتی مواد غذایی در معرض اشعه میکروویو قرار داده می شوند، اثرات غیر حرارتی نامعلومی در ماده غذایی به وجود می آیند[۵۱]. دو مکانیسم مهمی که تولید گرما را در یک ماده واقع در میدان میکروویو توضیح می دهند عبارتند از: پلاریزاسیون یونی و چرخش دو قطبی[۳۹].

۲-۱-۱- پلاریزاسیون یونی:

وقتی یک محلول غذایی دارای یون در یک میدان الکتریکی قرار می گیرد، یونها در اثر بار خود با یک حرکت شتاب دار جابجا می شوند. برخورد هایی که بین یونها صورت می گیرد، موجب تبدیل انرژی جنبشی یونهای در حال حرکت به انرژی حرارتی می گردد. هر چه غلظت یون ها در محلول بیشتر باشد تعداد برخورد بین آنها بیشتر شده و در نتیجه دمای محلول به طور قابل توجهی افزایش می یابد.

۲-۱-۲- چرخش دو قطبی:

مواد غذایی حاوی مولکول های قطبی نظیر آب می باشند. این مولکولها معمولاً دارای یک جهت یابی تصادفی هستند. اما در صورتی که میدان الکتریکی اعمال شود، این مولکولها خود را در راستای قطبیت میدان جهت می دهند. در یک میدان میکروویو قطبیت بر حسب فرکانس امواج تغییر می کند (به عنوان مثال در بسامد میکروویو ۲٤٥۰ مگاهرتز، قطبیت ۲/٤٥ بیلیون سیکل بر ثانیه تغییر می کند). بنابراین مولکولهای قطبی به چرخش در می آیند تا جهت خود را با قطبیتی که به سرعت در حال تغییر است حفظ کنند. این گونه چرخش مولکولها موجب ایجاد اصطکاک با محیط اطراف می گردد و گرما تولید می شود. با افزایش دما مولکولها سعی می کنند با سرعت بیشتری با میدان اعمال شده هم جهت شوند. عوامل مختلفی بر روی گرمایش یک ماده با میکروویو تأثیر می گذارند از جمله؛ اندازه، شکل، حالت، خواص ماده و تجهیزات فرآوری[٦٦].

اصولا گرمایش مواد غذایی با میکروویو رابطه مستقیم با ویژگی های دی الکتریکی آنها داشته و این ویژگی خود متأثر از ثابت و ضریب افت دی الکتریک نسبی است. ثابت دی الکتریک نسبی (ε') نشانگر توانایی ماده در نگهداری انرژی الکتریکی است در حالی که ضریب افت دی الکتریک نسبی (ε'') نشانگر توانایی ماده در اتلاف انرژی الکتریکی است. به کمک رابطه زیر می توان ارتباط این دو متغیر را نشان داد:

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \tan \delta \qquad (۱-۲)$$

تانژانت اتلاف[1] ($\tan \delta$) معیاری از میزان نفوذ میدان الکتریکی در ماده و مقدار اتلاف انرژی الکتریکی درماده به صورت حرارت است. جذب امواج میکروویو توسط یک ماده دی الکتریک سبب می شود تا امواج میکروویو انرژی خود را به ماده داده و در نتیجه حرارت به سرعت در ماده غذایی گسترش یابد و این ویژگی معیاری از میزان قدرت دی الکتریکی ماده بوده و از آنجایی که مواد غذایی عایق های ضعیفی هستند بنابراین وقتی این مواد در میدان میکروویو قرار می گیرند مقدار زیادی انرژی جذب کرده در نتیجه گرمایش سریع اتفاق می افتد[۷ و ٦٦].

اگرچه تجهیزات یک سیستم خشک کن میکروویوی در مقایسه با خشک کن جابجایی فقط به ۳٥-۲۰٪ فضا نیاز دارد، ولی اگر از آن به طور مناسب استفاده نشود می تواند منجر به افت کیفیت محصول شود[۸-۲۲ و ۸۱].

[1] Loss tangent

۲-۲- فرآوری انگور های خشک شده:

انگورهای خشک شده بر اساس روش آماده سازی آنها قبل از فرآیند خشک کردن به انواع آفتابی و تیزابی طبقه بندی می شوند. خشک کرده آفتابی که از آن به کشمش آفتابی یاد می شود بدون عمل آوری مستقیماً در معرض آفتاب خشک می شود ولی نوع تیزابی پس از آماده سازی با امولسیون قلیایی در معرض آفتاب خشک می شود. انگورهای خشک شده محصول نهایی نبوده و گاهاً چندین ماه در شرایط معمولی نگهداری و سپس به کارخانجات فرآوری و بسته بندی انتقال می یابند[۲۵].

بدنبال تولید انگور خشک با روش آفتابی یا دیگر روشها، محصول باید به یک واحد فرآوری ارسال شود. شرایط عملیاتی می تواند در خصوصیات بهداشتی و کیفی محصول نهایی مؤثر باشد. مراحل عملیات فرآوری پس از خشک کردن انگور ممکن است بسته به روش خشک کردن فرق کند. در طول فرآوری محصول تمیز می شود که این عمل شامل جدا کردن تک تک میوه خشک، حذف دم و مواد خارجی و حذف میوه های معیوب و فاسد است. با توجه به اینکه حذف مواد خارجی نظیر گرد و غبار و یا گاهاً خاک رس که به بدنه میوه چسبیده نیازمند شستشوی میوه است، این عمل سبب باز آب پوشانی[۲] محصول می شود. به دلیل افزایش رطوبت محصول جهت حذف مواد خارجی، خشک کردن نهایی محصول اجباری است[۱]. فرآوری میوه خشک و شرایط آن به طور قابل توجهی در خواص کیفی و فیزیکی محصول نهایی اثر می گذارد[٤٠].

۲-۳- باز آب پوشانی:

بازآب پوشانی محصولات خشک فرآیند پیچیده ای است. در خشک کردن هدف تولید محصولاتی است که پس از باز آب پوشانی، ویژگی های ماده اولیه مجدداً ایجاد گردد. در طی بازآب پوشانی، جذب آب به بافت و نشت مواد حل شده فرآورده (قند، اسید، مواد معدنی و ویتامین ها) به محیط به طور متقابل اتفاق می افتد. علاوه براین بازآب پوشانی سریع هزینه های کارگری و فضای مورد نیاز برای نگهداری را کاهش داده و اجازه برنامه ریزی کردن برای تولید کافی را می دهد. ظرفیت بازآب پوشانی به ماکزیمم مقدار آبی که فرآورده قادر است با غوطه وری جذب کند مربوط می شود[٦٨]. نسبت جرم ماده خشک به جرم آب در محصول پس از باز آب پوشانی بسته به دمای آب که از دمای

---

[2] Rehydration