وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریه فنی:

مروری بر فناوری‌های خشک‌کردن دانه انار، چالش‌ها و تأثیر بر کیفیت محصول

اکبر جوکار و ماشالله زارع

سال انتشار: ۱۴۰۵

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، کدپستی: ۳۱۳۵۹۱۳۵۳۳، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:

مروری بر فناوری‌های خشک‌کردن دانه انار، چالش‌ها و تأثیر بر کیفیت محصول

تهیه و تدوین:
اکبر جوکار و ماشالله زارع

به ترتیب عضو هیئت علمی و کارشناس مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

سال انتشار:
۱۴۰۵

وزارت جهاد کشاورزی

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی

عنوان نوشتار: مروری بر فناوری‌های خشک‌کردن دانه انار، چالش‌ها و تأثیر بر کیفیت محصول

نگارندگان: اکبر جوکار و ماشالله زارع

ویراستار ادبی: محمدرضا داهی

صفحه‌آرا: شبنم جباری

طراح جلد: سمیه وطن‌دوست

ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

شمارگان: محدود

نوبت چاپ: اول

سال انتشار: ۱۴۰۵

مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.

شماره ثبت ٦٩٤٤٢ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ١٤٠٥/٠٣/١٩

مخاطبان نشریه/دستورالعمل

صاحبان و بهره برداران صنعت خشک‌کردن

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه/دستورالعمل با:

- اصول خشک‌کردن دانهٔ انار
- روش‌های خشک‌کردن مدرن
- انتخاب روش خشک‌کردن
- خواص تغذیه‌ای و دارویی دانهٔ انار خشک
- کاربردهای دانهٔ انار خشک

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱

انار ۱

تلفات، دورریز و افت ارزش انار ۱

دانهٔ انار خشک شده ۲

ویژگی‌های تغذیه‌ای و دارویی دانهٔ انار خشک ۳

خشک‌کردن دانهٔ انار ۳

فرآیند خشک‌کردن دانهٔ انار ۵

روش‌های خشک‌کردن دانهٔ انار ۵

خشک‌کردن در آفتاب (روش سنتی) ۵

خشک‌کردن با هوای داغ ۶

خشک‌کردن انجمادی ۷

خشک‌کردن با کمک امواج مایکروویو ۸

خشک‌کردن با کمک امواج فروسرخ ۸

خشک‌کردن با خشک‌کن خورشیدی ۸

خشک‌کردن با آون تحت خلأ ۱۱

خشک‌کردن با کمک امواج فرا صوت ۱۱

تأثیر روش‌های خشک‌کردن بر کیفیت دانه‌های انار ۱۲

حفظ کیفیت محصول ۱۲

حفظ ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی ۱۲

پایداری رنگ ۱۳

ویژگی‌های بافت ۱۳

زمان خشک‌کردن ۱۴

انتخاب روش خشک کردن دانهٔ انار ۱۵

نتیجه‌گیری ۱۶

پیشنهادها ۱۶

خشک کردن خانگی و روستایی ۱۶

خشک کردن صنعتی ۱۷

فهرست منابع ۱۷

مقدمه

انار

انار میوهٔ درخت *پونیکا گراناتوم*[1] و از خانوادهٔ پونیکاسه[2] است. انار بومی ایران است و در تمام استان‌های کشور به‌استثنای همدان وجود دارد. انار از ایران به دیگر نقاط جهان برده شده است. بنا بر آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی، ایران یکی از بزرگترین تولید کنندگان انار در دنیا با سطح زیر کشت بیش از ۹۳۰۰۰ هکتار و تولید سالانه بیش از یک میلیون و سیصد هزار تن انار است. در بین استان‌های مختلف نیز استان فارس با سطح زیر کشت بیش از ۲۷ هزار هکتار و بیش از ۴۴۰ هزار تن تولید سالانه بزرگترین تولید کنندهٔ انار در کشور است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۳). انار ایران به دلیل کیفیت و مرغوبیت بالا، محصولی بی‌رقیب از نظر صادرات است و اهمیت اقتصادی فراوانی دارد.

تلفات، دورریز و افت ارزش انار

محصولات باغی همچون انار به دلیل مشکل انبارمانی و فسادپذیری وضعیت پیچیده‌ای دارند. انار به دلیل داشتن کرم گلوگاه و اینکه در ظاهر سالم است و پس از مدتی فساد را از درون میوه نشان می‌دهد، وضعیت پیچیده‌ای دارد. یکی از مشکلات میوهٔ انار در ایران نگهداری و عرضهٔ نامناسب آن است. در حال حاضر، پوسیدگی میوه انار در انبار یا در مراحل بازاررسانی، مهم‌ترین مشکل انبارمانی و مانع عمدهٔ صادرات میوهٔ انار محسوب می‌گردد. هرگونه کم‌توجهی و ضربه‌زدن یا زخمی‌شدن میوه در هنگام برداشت ، حمل‌ونقل و بازار رسانی می‌تواند منجر به پوسیدگی و کاهش بازارپسندی تمام میوه‌های آن محموله گردد. از طرف دیگر، محصولات درجه ۲ و ۳ انار ارزش صادرات ندارند و مدت‌زمان ماندگاری آن‌ها نیز به دلیل ترک‌خوردگی یا وضعیت فیزیولوژیکی این میوه محدود است (جوکار و همکاران، ۱۳۹۱؛ کاهارامانوگلو و یوسانماز[3]، ۲۰۱۶).

[1] *Punica granatum* L.
[2] Punicaceae
[3] Kahramanoğlu, & Usanmaz

ایران طی دورهٔ ۱۹۹۳ تا ۱۴۰۳، ۳۱ درصد افزایش در تولید انار و ۳۹ درصد افزایش در سطح زیر کشت این محصول داشته است (آمارنامه جهاد کشاورزی، ۱۴۰۳)، با توجه به سطح زیر کشت بالای انار در کشور (بیش از ۹۳۰۰۰ هکتار) و افزایش تولید آن، موضوع نگهداری و کنترل عوامل موثر در کاهش کیفیت و ایجاد تلفات، دورریز و افت ارزش میوهٔ انار در مراحل برداشت و پس از برداشت اهمیت زیادی دارد. با تولید سالانه بیش از یک میلیون تن انار در کشور، تلفات، دورریز و افت ارزش ۳۰ تا ۵۰ درصد (معادل ۳۹۰ تا ۶۵۰ هزار تن) شامل انارهای درجه پایین، ترکیده و نامرغوب، بحران اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی ایجاد کرده است. با توجه به فصل کوتاه برداشت انار، دانه کردن و خشک‌کردن دانه‌ها روشی مؤثر برای ایجاد ارزش افزوده و درآمدزایی، کاهش تلفات و دورریز، حفظ ویژگی‌های تغذیه‌ای دانه‌های انار و دسترسی به آن در تمام فصول است (جوکار و همکاران، ۱۳۹۱؛ جوکار و همکاران، ۱۴۰۰).

دانهٔ انار خشک شده

دانه‌های خشک شدهٔ انار در ایران به نام اناردانه معروف است، و در نواحی شمال ایران و در خارج ازکشور به عنوان چاشنی غذا، سوپ و غیره مصارف زیادی دارد. دانهٔ انار خشک شده مانند دیگر محصولات خشک دارای کاربرد متفاوت و بسیار گسترده‌تری نسبت به محصول اصلی است. کاربردهای اصلی دانهٔ انار خشک در صنعت غذا، طب سنتی و به عنوان مکمل غذایی است. یکی از چاشنی‌ها و طعم‌دهنده‌های طبیعی و خیلی خوشمزه ایرانی دانهٔ انار خشک شده است که در غذاهای سنتی ایرانی مانند مرغ ترش، ماهی سفید شکم پر و مرغ شکم پر، در تهیهٔ خورش مرغ ناردونی، خورش اناربیج، کیک ها و دسرهای زمستانی و سالادها و شامی کتلت و کوکو استفاده می‌شود. پودر دانهٔ انار (معادل ۳ گرم) به عنوان جایگزین دانهٔ تازه در اسموتی‌ها، ماست و نوشیدنی‌ها مصرف می‌شود. از دانهٔ انار خشک شده برای تهیه دمنوش انار برای سرماخوردگی و طعم‌دهندهٔ غذا نیز استفاده می‌شود. دانهٔ انار خشک‌شده در کشورهای دیگر از جمله هند و پاکستان نیز به صورت

چاشنی و طعم دهنده کاربرد زیادی دارد و به دلیل داشتن طعم خاص، مطلوب و همچنین خواص دارویی، طرفداران زیادی دارد و به صورت معمولی و حتی به صورت پودر استفاده می‌شود (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۰؛ وانگ[1] و همکاران، ۲۰۲۴).

ویژگی‌های تغذیه‌ای و دارویی دانهٔ انار خشک

دانهٔ انار به دلیل داشتن مواد زیست فعال فنلی مانند فلاوونوئید، فنلیک اسید، تانین‌ها، الاجیتانین‌ها، کاتچین، روتین و اپیکاتچین بسیار معروف شده است. این مواد ضد اکسایشی در محافظت از قلب، جلوگیری از سرطان، تقویت سیستم ایمنی، و درمان بیماری‌های مزمن موثر هستند. انار به دلیل داشتن ترکیبات فنلی، فلاوونوئیدها، ویتامین ث، و آنتوسیانین‌ها دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی، ارزش دارویی و غذایی بالایی است. خواص هستهٔ انار خشک و پودر شده نیز بسیار بالا است و ماده‌ای ضد سرطان به شمار می‌آید. در طب سنتی، پودر هستهٔ انار به دلیل دارا بودن تانن و فیبر، در درمان کولیت و اسهال و بهبود عملکرد معده کاربرد دارد. روغن هستهٔ انار نیز به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی و ترمیم‌کنندگی در محصولات بهداشتی استفاده می‌شود. این محصول در صورت خشک شدن کامل (بدون چسبندگی)، تا ۶ ماه در ظرف‌های دربسته و در شرایط خنک و خشک قابل نگهداری است (وانگ و همکاران، ۲۰۲۴).

خشک‌کردن دانهٔ انار

خشک‌کردن مواد غذایی که به آن آب‌زدایی[2] نیز گفته می‌شود، عملیات واحد[3] در فرآوری مواد غذایی است که شامل حذف عمدی بخش قابل توجهی از آب در مادهٔ غذایی با اعمال انرژی حرارتی است. هدف اصلی، کاهش فعالیت آبی محصول است تا به سطحی که رشد میکروارگانیسم‌های مولد فساد (باکتری‌ها، مخمرها، کپک‌ها) را مهار کند و سرعت واکنش‌های شیمیایی و آنزیمی تخریب‌کننده را کاهش دهد. این فرآیند منجر به افزایش

[1] Wang
[2] Dehydration
[3] Unit Operation

عمر نگهداری و کاهش وزن و حجم برای حمل‌ونقل و انبارداری، و اغلب ایجاد محصولی با ویژگی‌های حسی متمایز می‌شود (چن و موجومدار[1]، ۲۰۰۸؛ فلاوز[2]، ۱۹۹۰).

عصاره یا مواد زیست فعال دانهٔ انار (تازه یا خشک) در بسیاری از فرمولاسیون‌های دارویی برای درمان بیمارهای کلیه، اعصاب، و قلب و نیز برای عفونت‌های معده استفاده می‌شوند. اسیدهای غالب در انار شامل سیتریک اسید، مالیک اسید، تارتاریک اسید هستند و اندازه گیری اسید قابل تیتراسیون بر اساس سیتریک اسید صورت می‌گیرد. دانه‌های خشک انار بسته به رقم حاوی ۵ تا ۹ درصد اسید هستند و به دلیل داشتن همین اسید می‌توانند احساس دهانی و هضم را بهبود دهند (جوکار و همکاران، ۱۳۹۰؛ جوکار و همکاران، ۱۳۸۹). خشک‌کردن دانه‌های انار که به صورت سنتی در مناطقی مانند هند، ایران و خاورمیانه دیده می‌شود و محصولی به نام اناردانه را به وجود می‌آورد، یک روش کلیدی برای حفظ و افزایش ارزش این محصول با ارزش است. علاوه بر استفاده از اناردانه به عنوان چاشنی، این ماده به عنوان جایگزین پودر انبه و تمر هندی یا در تهیهٔ سالاد میوه، ماست و بستنی طعم‌دار استفاده می‌شود. روش‌های متفاوت خشک‌کردن دانهٔ انار و بسته‌بندی از عوامل بسیار مهم و تاثیرگذار بر ویژگی‌های محصول نهایی هستند (ادتورو و همکاران،[3] ۲۰۲۰؛ گلوکو[4]، ۲۰۱۵).

خشک‌کردن دانهٔ انار فقط روش نگهداری سنتی نیست، بلکه فرآیندی علمی با هدف‌های متعدد است:

- افزایش عمر نگهداری (که در تعریف خشک‌کردن توضیح داده شد).
- ایجاد ارزش افزوده و کاهش تلفات، دورریز و افت ارزش.

[1] Chen & Mujumdar
[2] Fellows
[3] Adetoro
[4] Gölükcü

- تغلیظ ترکیبات فعال زیستی مفید مانند آنتوسیانین‌ها و پلی‌فنل‌ها طوری که اناردانه به یک منبع غلیظ از آنتی‌اکسیدان‌ها تبدیل می‌شود.
- سهولت در حمل و نقل و نگهداری (فلاوز، ۱۹۹۰؛ گولوکو، ۲۰۱۵).

فرآیند خشک‌کردن دانهٔ انار

انتخاب روش و شرایط خشک‌کردن تأثیر مستقیمی بر زمان خشک شدن و کیفیت نهایی محصول دارد. تحقیقات علمی عمدتا بر بهینه‌سازی این فرآیند برای حفظ حداکثری خواص کیفی متمرکز هستند. روش‌های خشک‌کردن و استفاده از فناوری‌های نوین در خشک‌کردن دانهٔ انار بررسی شده‌است و در آینده نیز گسترش خواهد یافت.

روش‌های خشک‌کردن دانهٔ انار

خشک‌کردن در آفتاب (روش سنتی)

دانهٔ انار در اغلب نقاط ایران به صورت آفتابی یا در هوای آزاد خشک می‌شود. میوه‌ها معمولا در مناطق آفتابی رشد می‌کنند و در مقطعی از سال که تابش خورشید زیاد است، برداشت می‌شوند و به دلیل آنکه بیش از مصرف تازه‌خوری برداشت شده‌اند یا به دلیل اینکه برای فروش در بازار نامناسب هستند خشک می‌شوند. در این مرحله باید تلاش شود تا دانهٔ انار خشک بهداشتی و با کیفیت تولید گردد(شکل ۱). در این روش دانه‌ها روی سطحی تمیز پخش و در برابر آفتاب خشک می‌شوند. بهتر است دانه‌ها شب‌ها به داخل منتقل شوند. این روش ممکن است تا ۱۵ روز به‌درازا بکشد و استفاده از توری برای جلوگیری از آلودگی و اضافه کردن نمک برای تسریع فرآیند توصیه می‌شود. به طور کلی کیفیت دانهٔ انار خشک شده در این روش پایین است.

خشک کردن آفتابی یکی از روش‌های رایج نگهداری محصولات کشاورزی است. در روش خشک کردن سنتی (در برابر آفتاب) به‌دلیل هوای نامساعد، باران‌های موسمی، آلوده شدن محصول با فضولات یا بقایای حشرات، هجوم پرندگان و حیوانات، و همچنین آلوده

شدن محصول با گرد و غبار مشکلات متعددی ایجاد می‌شود شود مانند آلودگی شدید محصول، طولانی شدن زمان خشک‌کردن، نیاز به فضا و نیروی انسانی زیاد، یکنواخت‌نبودن محصول، و خشک نشدن محصول به اندازهٔ لازم (ایمودو و الوفای[1]، ۲۰۰۰؛ توگرول و پلیوان[2]، ۲۰۰۲).

شکل ۱- خشک‌کردن دانهٔ انار در آفتاب

خشک‌کردن با هوای داغ

خشک‌کردن با هوای داغ فرآیندهای همزمان انتقال حرارت و جرم است که حرارت از طریق هوای گرم به سطح محصول منتقل می‌شود و دمای سطح افزایش می‌یابد. این افزایش دما، فشار بخار آب روی سطح محصول را بالا می‌برد و نیروی لازم را برای تبخیر و انتقال رطوبت به هوای اطراف فراهم می‌کند. حرکت مولکول‌های آب از لایه‌های داخلی به سمت سطح ادامه می‌یابد. این انتقال جرم داخلی (که می‌تواند به صورت مایع یا بخار باشد)، اغلب کندترین بخش فرآیند، به‌ویژه در مراحل پایانی خشک‌کردن است. سرعت خشک کردن به شدت تحت تأثیر دما، سرعت و رطوبت نسبی هوا قرار می‌گیرد (چن و موجومدار، ۲۰۰۸؛ فلاوز، ۱۹۹۰). رایج‌ترین و ارزان‌ترین روش برای خشک‌کردن در صنعت استفاده از هوای داغ است. اما دما و زمان بالا (دمای بالاتر از ۵۵ درجه سلسیوس و زمان

[1] Imoudu, & Olufay
[2] Togrul, & Pehlivan

بیشتر از ۳۰ ساعت) در این روش می‌تواند ترکیباتی مانند آنتوسیانین‌ها (مسئول رنگ قرمز) و ویتامین‌ها را تخریب و تغییرات نامطلوب را در رنگ و طعم ایجاد کند.

با افزایش دما و سرعت عبور هوا، زمان خشک‌کردن دانه‌های انار در خشک‌کن تونلی با هوای داغ کاهش می‌یابد اما با افزایش ضخامت محصول زمان خشک‌کردن افزایش خواهد یافت. زمان خشک‌کردن در روش آفتابی بسیار طولانی‌تر است، طوری که برای خشک‌کردن دانهٔ انار با ضخامت ۲ سانتی‌متر حدود ۱۷۰ ساعت زمان لازم است. اما کمترین و بیشترین زمان خشک‌کردن در دستگاه به ترتیب ۱۰ و ۱۴۰ ساعت گزارش شده است. در دمای ۵۵ درجه سلسیوس و ضخامت ۲ سانتی‌متر دانهٔ انار، حدود ۲۵ ساعت زمان برای خشک کردن لازم است (جوکار و همکاران، ۱۳۹۰).

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود کیفیت انارداندهای خشک شده در آفتاب بسیار پایین است و قابل مقایسه با روش دستگاهی نیست، تعداد میکروارگانیسم‌ها در روش آفتابی بسیار زیاد (غیر قابل شمارش) اما در روش دستگاهی صفر است. اسید قابل تیترکردن در روش آفتابی بالاتر از ۱۰ درصد اما در روش دستگاهی حدود ۵ درصد است. قرمزی رنگ در روش آفتابی بسیار پایین‌تر است. قرمزی رنگ در روش دستگاهی ۱۰ و در روش آفتابی کمتر از یک است. طعم نمونه‌های خشک شده در دستگاه بسیار بالاتر و بهتر از طعم نمونه‌های آفتابی است (جوکار و همکاران، ۱۳۹۰).

خشک‌کردن انجمادی

خشک‌کردن انجمادی فرآیند پیشرفتهٔ حذف آب است. در این روش، ابتدا مادهٔ غذایی را به سرعت منجمد می‌کنند و پس از آن تحت خلأ قرار می‌دهند. با اعمال گرمای بسیار ملایم، یا افزایش کمی فشار، آب یخ‌زده مستقیماً از حالت جامد به گاز (بخار آب) تبدیل و از مادهٔ غذایی خارج می‌شود. در این روش که در دماهای بسیار پایین اجرا می‌شود، شکل، رنگ، طعم و بخش عمده‌ای از مواد مغذی و حساس محصول به طرز فوق‌العاده‌ای حفظ می‌شود. محصول نهایی بسیار سبک، ماندگاری آن طولانی و قابلیت جذب آب در آن سریع است. در مقابل، هزینهٔ سرمایه‌گذاری و عملیات آن بسیار بالا است (فلاوز، ۱۹۹۰).

خشک‌کردن با کمک امواج مایکروویو

در این روش، انرژی امواج الکترومغناطیسی (مایکروویو) مستقیماً توسط مولکول‌های قطبی، عمدتاً آب، در تمام نقاط مادهٔ غذایی جذب می‌شود. این جذب انرژی باعث نوسان سریع مولکول‌های آب و تولید گرما در داخل خود محصول می‌گردد، برخلاف روش‌های سنتی که حرارت از سطح خارجی به داخل منتقل می‌شود. ایجاد گرمای درونی باعث خروج رطوبت به شکل چشمگیری می‌شود. در نتیجه، این روش سرعت خشک‌کردن را به شدت افزایش می‌دهد و بازده انرژی را بالا می‌برد. این روش باید به صورت ترکیبی با هوای داغ یا خلأ (مایکروویو–خلأ) به کار رود تا به کیفیت و یکنواختی بهتر محصول کمک شود (موجومدار، ۲۰۱۴؛ دهقان‌نیا و حبیبی‌قدس[1]، ۲۰۲۵).

خشک‌کردن با کمک امواج فروسرخ

در این روش، انرژی الکترومغناطیسی از منبع تابش (مانند لامپ‌ها یا هیترهای فروسرخ) مستقیماً به سطح محصول تابانده می‌شود و توسط مولکول‌های آب و دیگراجزا جذب می‌گردد. این جذب انرژی باعث افزایش دمای داخلی محصول و تبخیر سریع‌تر رطوبت می‌شود. برخلاف خشک‌کردن با هوای داغ که در آن گرما باید از سطح به داخل نفوذ کند، انرژی فروسرخ می‌تواند تا عمق مشخصی از محصول به صورت کارآمدتری نفوذ کند و گرمایش را سریع‌تر به‌انجام برساند. در نتیجه سرعت خشک‌کردن به شدت افزایش و مصرف انرژی کاهش می‌یابد (موجومدار، ۲۰۱۴؛ دلفیا[2] و همکاران، ۲۰۲۲).

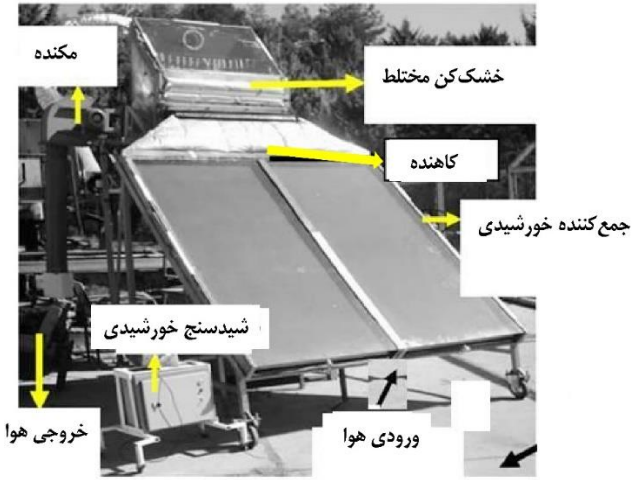
خشک‌کردن با خشک‌کن خورشیدی

در این روش، نور خورشید از پوششی شفاف (مانند شیشه یا پلاستیک) می‌گذرد و هوای داخل محفظهٔ خشک‌کن را گرم می‌کند. این هوای گرم که رطوبت کمتری دارد، به طور طبیعی به سمت بالا حرکت می‌کند و پس از عبور از سطح مادهٔ غذایی موجب خشک شدن آن می شود. همزمان، هوای خشک‌تر و خنک‌تر از محیط از طریق دریچه‌های

[1] Dehghannya, & Habibi-Ghods
[2] Dlfiya

ورودی در پایین دستگاه مکیده می‌شود تا این چرخه ادامه یابد. این فرآیند مداوم حرکت هوای گرم و خشک سرعت تبخیر را به شدت افزایش می‌دهد و در مقایسه با خشک‌کردن سنتی در فضای باز، محصولی سریع‌تر، بهداشتی‌تر و با کیفیت بالاتر (از نظر حفظ رنگ و مواد مغذی) تولید می‌کند (نامچی[1] و همکاران، ۲۰۲۵).

خشک کردن محصولات کشاورزی با خشک‌کن‌های خورشیدی نه تنها معایب خشک کردن آفتابی را ندارد بلکه بهره‌وری انرژی و کیفیت محصول را به دلیل کاهش چشمگیر زمان خشک شدن، افزایش می‌دهد. به کار گرفتن خشک‌کن‌های خورشیدی موجب افزایش کیفیت و عمر ماندگاری محصولات کشاورزی می‌شود. شکل ۲ نمونه‌ای از دستگاه خشک‌کن خورشیدی را نشان می‌دهد (جوکار و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل۲- قسمت‌های مختلف دستگاه خشک‌کن خورشیدی

خشک کردن دانهٔ انار رقم بریت فارس با خشک‌کن خورشیدی نه تنها موجب افزایش کیفیت محصول شد بلکه مدت زمان خشک کردن را به مقدار قابل توجهی (۸۳ درصد)

[1] Nnamchi

کاهش داد. بهترین حالت در مورد خشک کردن دانه‌های انار در خشک‌کن خورشیدی ضخامت ۲ سانتی‌متر و جریان هوا در دستگاه با دبی ۶ متر بر ثانیه به حالت ترکیبی (ترکیب آفتاب و حرارت در کابینت) است. با توجه به فراوانی شدت تابش آفتاب در مناطق جنوبی، ترویج این نوع خشک‌کن برای محصولات کشاورزی توصیه می‌شود. شکل ۳ دانهٔ انار را پیش از خشک شدن و شکل ۴ دانهٔ انار را بعد از خشک شدن نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، دانهٔ انار خشک‌شده با دستگاه خورشیدی تفاوت رنگ چندانی با قبل از خشک شدن ندارد (جوکار و همکاران، ۱۳۸۹).

شکل ۳- سینی دانهٔ انار قبل از خشک‌کردن در خشک‌کن خورشیدی

شکل ۴ تفاوت کیفیت دانهٔ انار خشک شده با خشک‌کن خورشیدی و روش آفتابی را نشان می‌دهد. شکل فیزیکی، جذابیت و رنگ دانهٔ انار خشک شده با دستگاه خشک‌کن خورشیدی بسیار مطلوب‌تر از روش سنتی آفتابی یا قرار دادن در آفتاب است.

دانه‌های انار خشک شده با روش آفتابی یا سنتی　　دانه‌های انار خشک شده با خشک کن خورشیدی

شکل ٤- مقایسه ویژگی‌های ظاهری دانهٔ انار خشک شده با دستگاه خشک‌کن خورشیدی و روش سنتی یا آفتابی

خشک‌کردن با آون تحت خلأ

در این روش، محصول در محفظه‌ای بسته (آون) قرار می‌گیرد و با به‌کار انداختن پمپ خلأ فشار داخل آن به شدت کاهش می‌یابد. این کاهش فشار باعث می‌شود تا آب موجود در محصول در دماهای بسیار پایین‌تر (مثلاً ۳۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس) به بخار تبدیل و سریع تبخیر شود (موجومدار، ۲۰۱۴؛ منون[1] و همکاران، ۲۰۲۰؛ گلوکو، ۲۰۱۵).

خشک‌کردن با کمک امواج فرا صوت

خشک‌کردن با کمک امواج فراصوت روشی است نوین که از اثر مکانیکی امواج صوتی با فرکانس بالا برای تسریع فرآیند خشک‌کردن استفاده می‌کنند. در نتیجه، سرعت انتقال رطوبت از داخل به سطح و سپس تبخیر آن به شدت افزایش می‌یابد. این روش معمولاً به عنوان پیش‌تیمار یا به صورت ترکیبی با روش‌های دیگر (مانند خشک‌کردن هوای داغ) به کار می‌رود تا زمان و انرژی مصرفی کاهش یابد و کیفیت محصول (مانند رنگ و مواد مغذی) به دلیل به‌کارگیری دمای پایین‌تر، بهبود یابد (موجومدار، ۲۰۱۴؛ وو [2] و همکاران، ۲۰۲۲).

[1] Menon
[2] Wu

تأثیر روش‌های خشک‌کردن بر کیفیت دانه‌های انار

حفظ کیفیت محصول

چالش اصلی در خشک‌کردن دانه‌های انار، حساسیت حرارتی ترکیبات ارزشمند آن است. دماهای بالا و زمان‌های خشک‌کردن طولانی می‌تواند منجر به تخریب آنتوسیانین‌ها (مسئول رنگ قرمز)، از دست رفتن ترکیبات فنلی و در نتیجه کاهش فعالیت آنتی‌اکسیدانی شود. از این رو، تحقیقات علمی بر مقایسهٔ روش‌های مختلف خشک‌کردن مانند هوای داغ، مایکروویو، خشک‌کردن انجمادی و تابش فروسرخ تمرکز کرده‌اند تا شرایط بهینه‌ای را شناسایی کنند که حداکثر بازدهی خشک‌کردن را با حداقل تلفات کیفیت تغذیه‌ای و حسی همراه سازد. در تمام این روش‌ها حفظ کیفیت محصول از نظر ظاهر، احساس دهانی و طعم و مزه، بافت، و خواص تغذیه‌ایی بسیار اهمیت دارد (اوزی–آرانسیوگلو[1] و همکاران؛ کالین–سانچز[2] و همکاران ، ۲۰۱۴).

حفظ ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی

مواد فنلی و آنتی‌اکسیدان‌ها از مهم‌ترین شاخص‌های کیفی هستند. تحقیقات نشان می‌دهد که دمای بالاتر و زمان طولانی‌تر خشک‌کردن، به طور معناداری به کاهش کل ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی می‌انجامد. هدف، یافتن شرایط بهینه (دما، سرعت هوا) است برای حفظ این ترکیبات تا حداکثر ممکن. همبستگی منفی واضحی بین دمای خشک‌کردن و ترکیبات فعال زیستی یافت شده است، به ویژه پونیکالاژین و آنتوسیانین‌هایی مانند سیانیدین–۳–گلوکزید کاهش قابل توجهی داشتند. بالاترین میزان حفظ مواد فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در دمای ۵۰ درجه سلسیوس مشاهده شده است. با افزایش دما به ۹۰ درجه سلسیوس، مواد فنل کل تقریباً ۳۵ درصد کاهش می‌یابد و فعالیت آنتی‌اکسیدانی نیز کاهش مشابهی را نشان می‌دهد. محیط فشار پایین به جلوگیری

[1] Ozay-Arancioglu.
[2] Calín-Sanchez.

از تخریب اکسیداتیو و آسیب حرارتی به رنگدانه‌ها کمک می‌کند. روش خشک‌کردن بر کیفیت روغن استخراج شده از هستهٔ انار نیز تاثیر زیادی دارد، در این زمینه روش خشک‌کردن انجمادی بهترین روش اعلام شده است (البرودی[1] و همکاران ، ۲۰۲۲؛ اوزی–آرانسیگلو و همکاران، ۲۰۲۲).

پایداری رنگ

رنگ قرمز جذاب دانهٔ انار به دلیل آنتوسیانین‌هاست. این ترکیبات در برابر حرارت و اکسیداسیون بسیار حساس هستند. تغییر رنگ از قرمز جذاب به قهوه‌ای یا صورتی کدر یکی از چالش‌های اصلی در خشک‌کردن است. آنتوسیانین‌ها و قرمزی رنگ به شدت تحت تأثیر دما قرار می‌گیرند. دماهای بالاتر به دلیل تخریب آنتوسیانین‌های حساس به حرارت، موجب از دست رفتن قابل توجه رنگ قرمز می‌شود. افزایش دما از ۵۰ به ۹۰ درجه سلسیوس به از بین رفتن بیش از ۵۰ درصد آنتوسیانین‌ها می‌انجامد. بهترین حفظ رنگ و نگهداری آنتوسیانین‌ها در روش خشک‌کردن با کمک مایکروویو در مقایسه با هوای داغ به دست خواهد آمد (جوکار و همکاران، ۱۳۹۰؛ آدتورو و همکاران[2]، ۲۰۲۰؛ متولی و همکاران[3]، ۲۰۱۰).

ویژگی‌های بافت

روش خشک‌کردن بر بافت نهایی محصول تأثیر می‌گذارد. روش های خشک‌کردن با حرارت و دمای پایین‌تر تاثیر کمتری بر تخریب بافت دانهٔ انار خشک می‌گذارند. دانه‌های خشک شده باید ترد و شکننده باشند، نه سفت و چوبی. هر روشی که منجر به حفظ بیشتر خواص تغذیه‌ای شود معمولا بر بافت نیز تاثیر منفی کمتری خواهد داشت (اوزی–آرانسیگلو و همکاران، ۲۰۲۲؛ گیاکواد[4] و همکاران ، ۲۰۲۴).

[1] El Broudi
[2] Adetoro.
[3] Motevali
[4] Gaikwad

زمان خشک‌کردن

افزایش دما به طور قابل توجهی زمان خشک‌کردن را کاهش می‌دهد. خشک‌کردن دانهٔ انار در ۹۰ درجه سلسیوس حدود ۳۰۰ دقیقه طول می‌کشد، در حالی که خشک‌کردن در ۵۰ درجه سلسیوس بیش از ۹۰۰ دقیقه زمان لازم خواهد داشت (جوکار و همکاران؛ ۱۳۹۰). خشک‌کردن با مایکروویو به طور چشمگیری سریع‌تر از خشک‌کردن با هوای داغ است. برای خشک‌کردن دانهٔ انار در توان ۶۰۰ وات شش دقیقه زمان لازم است، در حالی که زمان لازم برای خشک‌کردن با هوای داغ در ۶۰ درجه سلسیوس حدود ۴۰ برابر بیشتر است. بهترین دما و زمان خشک‌کردن دانه‌های انار شهسوار یزدی به ترتیب ۵۵ درجه سلسیوس و ۶۰۰ دقیقه با استفاده از تابش فروسرخ گزارش شده است (آقاجانی[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ کینگسلی و سینگ[2]، ۲۰۰۷).

دماهای بالاتر اگر چه از نظر انرژی کارآمدتر هستند، اما باعث تخریب قابل توجه ترکیبات سلامت‌بخش و رنگی می‌شوند که کیفیت دانه‌های انار را تعریف می‌کنند. برای خشک‌کردن با هوای داغ، دمای متوسط (حدود ۶۰ درجه سلسیوس) شرایط بهینه را برای سرعت مناسب خشک‌کردن و حفظ کیفیت ایجاد می‌کند. خشک‌کردن با مایکروویو روشی بسیار کارآمد و سریع برای خشک‌کردن دانه‌های انار است. این روش انرژی کمتری مصرف می‌کند و انقباض کمتری در محصول ایجاد خواهد کرد. برای حفظ کیفیت رنگ توصیه می‌شود از توان پایین‌تر مایکروویو استفاده شود. خشک‌کردن با هوای داغ در ۶۰ درجه سلسیوس اگر چه ترکیبات فنلی را تخریب می‌کند، دانه‌های خشک شده فعالیت آنتی‌اکسیدانی و ضدتکثیر سلولی را به خوبی را حفظ می‌کنند (واندرلی[3] و همکاران، ۲۰۲۳).

این موضوع تأیید می‌کند که دانه‌های انار خشک مادهٔ غذایی عملکردی با ارزش با مزایای سلامتی قابل توجه هستند. خشک‌کردن با مایکروویو خلأ روشی فوق‌العاده سریع

[1] Aghajani
[2] Kingsly & Singh
[3] Wanderley.

و کارآمد برای خشک‌کردن دانه‌های انار است. ترکیب انرژی مایکروویو (برای گرمایش سریع) و خلأ (برای کاهش نقطهٔ جوش آب و جلوگیری از اکسیداسیون) منجر به تولید محصولی با کیفیت بالا و حفظ عالی رنگ در زمان بسیار کوتاه می‌شود (کالین سانچز و همکاران، ۲۰۱۴؛ متولی و همکاران، ۲۰۱۰).

پیش فرآیند اسمزی نیز تاثیر زیادی بر کاهش زمان خشک‌کردن و کیفیت دانه‌های انار خشک شده خواهد داشت (گیاکواد و همکاران ، ۲۰۲۴). مقدار مواد فنلی و دیگر مواد زیست فعال در دانهٔ انار خشک شده با روش خشک‌کردن انجمادی نزدیک به مقدار این مواد در دانهٔ انار تازه است. روش خشک‌کردن دانهٔ انار با آون تحت خلأ مجهز به امواج فراصوت بعد از روش خشک‌کردن انجمادی قابل توصیه است (اوزی–آرانسیگلو و همکاران، ۲۰۲۲).

انتخاب روش خشک کردن دانهٔ انار

بهترین روش خشک‌کردن به کاربرد نهایی محصول بستگی دارد. برای هر مادهٔ غذایی عملگرا که در آن حفظ رنگ و مواد مغذی حیاتی است، خشک‌کردن انجمادی یا مایکروویو تحت خلأ ایده‌آل خواهد بود. برای تولید ادویه یا چاشنی باصرفه‌ای مانند اناردانه، خشک‌کردن بهینه شده با هوای داغ یا مایکروویو راه‌حل بهتری است. پژوهش‌های علمی توصیه می‌کنند برای تبدیل دانه‌های انار به مواد غذایی پایدار، با ارزش بالا و غنی از مواد مغذی بهتر است از فناوری‌های مدرن خشک‌کردن استفاده شود. با افزایش سرعت خشک کردن در روش‌های هوای داغ، خواص تغذیه‌ای کاهش می‌یابد. بنابراین، روش‌های نوین مانند روش انجمادی، مایکروویو، خلأ، تابش فروسرخ و امواج فراصوت به شدت زمان خشک کردن را کاهش می‌دهند و در دماهای پایین‌تری آب ماده غذایی را حذف می‌کنند و بنابراین روش‌های نوین توصیه می‌گردد. لازم است گفته شود حتی زمانی که برخی از ترکیبات فنلی در حین خشک‌کردن (مثلاً با هوای داغ) تخریب می‌شوند، محصول خشک

شده همچنان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و مزایای سلامتی بالقوه بسیار بالایی را حفظ می‌کند. این موضوع دانه‌های خشک شده را به منبعی متمرکز از ترکیبات مفید تبدیل می‌کند.

نتیجه‌گیری

با توجه به حجم بالای تلفات، دورریز و افت ارزش پس از برداشت انار در ایران، ارزیابی فناوری‌های خشک‌کردن برای تولید محصولی با ارزش افزوده و پایدار، امری ضروری است. نتایج حاصل از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که مصالحه‌ای اساسی میان سرعت خشک‌کردن و حفظ کیفیت محصول وجود دارد. فناوری‌های نوین و ترکیبی، به‌ویژه خشک‌کردن با مایکروویو–خلأ، راهکار های بهینه شناخته می‌شوند. این روش‌ها با ایجاد تعادل میان سرعت بالا، مصرف انرژی پایین و عملکرد مطلوب در شرایط دما و فشار کم، موفق به حفظ مؤلفه‌های کیفی کلیدی مانند رنگ، طعم و ترکیبات فعال زیستی (مانند آنتوسیانین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها) می‌شوند. در مقابل، روش‌های سنتی (آفتابی) و متداول (هوای داغ) با وجود باصرفه بودن، به دلیل اینکه زمان‌بر هستند یا تخریب حرارتی را به دنبال دارند، کیفیت محصول را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. خشک‌کردن انجمادی نیز هرچند بالاترین کیفیت را حفظ می‌کند، اما به دلیل هزینهٔ بالا و زمان طولانی‌تری که نیاز دارد، کاربرد صنعتی محدودی دارد. بنابراین، انتخاب و به‌کارگیری فناوری خشک‌کردن مناسب، که به کاربرد نهایی محصول بستگی دارد، نقشی حیاتی در کاهش تلفات، دورریز و افت ارزش، ارتقای مزیت رقابتی و بهره‌برداری از پتانسیل بازار جهانی دانه‌های انار خشک ایفا می‌کند.

پیشنهادها

خشک کردن خانگی و روستایی

- هنگام استفاده از خشک‌کن میوه‌ای از دماهای بالاتر از ۵۵ درجه سلسیوس برای خشک کردن دانهٔ انار استفاده نشود.

- در صورت امکان جریان هوای ملایم در حد یک متر بر ثانیه برای خشک کردن دانهٔ انار به کار گرفته شود.
- در روش خشک کردن آفتابی از زیر انداز تمیز استفاده شود و سطح دانه‌ها با توری پوشیده شود.
- از خشک‌کن‌های خورشیدی با همکاری تعاون روستایی استفاده شود.
- ضخامت یک سانتی‌متر دانهٔ انار (معمولا تک یا دو لایه) برای خشک کردن توصیه می شود.

خشک کردن صنعتی

- پارامترهای فناوری‌های نوین (مانند توان مایکروویو، فشار خلأ، دما و زمان) بهینه‌سازی دقیق شوند.
- مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی تغییرات کیفی (در فرآیند خشک‌کردن) توسعه یابند.
- فناوری‌های ترکیبی نوین برای خشک‌کردن دانهٔ انار بررسی شوند.
- برای "انار خشک ایران" و حضور در نمایشگاه‌های غذایی بین‌المللی برندسازی شود.

فهرست منابع

آمارنامه کشاورزی سال ۱۴۰۳. معاونت آمار، مرکز آمار وزارت جهاد کشاورزی. معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی، مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات، تهران.

استاندارد ملی ایران. ۱۳۸۰ . دانهٔ خشک شده انار (اناردانه) ـ ویژگیها و روشهای آزمون، شماره ۶۰۸۳ ، ۶ص.

جوکار، اکبر، شاه امیریان، مریم، مفتون آزاد، ندا. و زارع، ماشاالله. ۱۴۰۰. بررسی اثر محافظتی کربوکسی‌متیل‌سلولز بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دانه‌های منجمد انار رقم رباب. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. شماره ثبت ۵۹۴۵۳. تاریخ ۱۴۰۰/۰۲/۰۱.

جوکار، اکبر، زمردیان، علی، مفتون‌آزاد، ندا و جوکار، لادن. ۱۳۹۱. تعیین شرایط بهینه خشک‌کردن دانه انار در خشک‌کن خورشیدی با استفاده از روش سطح پاسخ. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۳(۱)، ۵۲-۵۷.

جوکار، ا.، مفتون آزاد، ن.، جوکار، ل. ۱۳۹۰. بررسی خشک‌کردن دانه انار در خشک‌کن تونلی و خشک کردن آفتابی. انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. شماره ۹۰/۵۲۰ مورخ ۹۰/۳/۵.

جوکار، ا.، مفتون آزاد، ن.، جوکار، ل. ۱۳۸۹. بررسی خشک کردن دانه انار با خشک کردن خورشیدی و خشک کردن آفتابی (اناردانه). انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. شماره ۸۹/۷۲۳ مورخ ۸۹/۶/۲۷.

Adetoro, A. O., Opara, U. L., & Fawole, O. A. (2020). Effect of hot-air and freeze-drying on the quality attributes of dried pomegranate (Punica granatum L.) arils during long-term cold storage of whole fruit. *Agriculture (Switzerland)*, *10*(11), 1–16.

Aghajani, N., Garmakhany, D. A., & Dezfouli, H. O. (2021). Response surface modeling of the pomegranate arils (Shahsavar Yazdi cultivar) weight loss, vitamin C and color characteristics variation during the infrared drying process. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, *18*(114), 237–250.

Calín-Sanchez, Á., Figiel, A., Szarycz, M., Lech, K., Nuncio-Jáuregui, N., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2014). Drying Kinetics and Energy Consumption in the Dehydration of Pomegranate (Punica granatum L.) Arils and Rind. *Food and Bioprocess Technology*, *7*(7), 2071–2083.

Chen, X. D., & Mujumdar, A. S. (2008). *Drying Technologies in Food Processing*: Wiley-Blackwell.

Dehghannya, J., & Habibi-Ghods, M. (2025). Microwave Drying of Food Materials: Principles, Hybrid Techniques, Modeling Approaches, and Emerging Innovations. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 24(6), e70312.

Delfiya, D. S. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P., & Pandiselvam, R. (2022). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. Journal of Food Process Engineering, 45(6), e13810.

El Broudi, S ,.Zehhar, N., Abdenouri, N., Boussaid, A., Hafidi, A., Bouamama, H., & Benkhalti, F. (2022). Investigation of drying kinetics and drying conditions on biochemical, sensory, and microstructural parameters of "Sefri" pomegranate arils (Punica granatum L. a Moroccan variety). *Revista Mexicana de Ingeniera Quimica, 21*(3).

Fellows, P. J. (1990). Food processing technology principles and practice. Ellis Horwood, New York. pp. 281-310.

Gaikwad, N. N., Giri, N. A., Suryavanshi, S. S., & Marathe, R. A. (2024). Osmotic assisted convective drying of pomegranate arils: Process optimisation, structural characterisation, and bioactive compound evaluation. *International Food Research Journal, 31*(3), 624–636.

Gölükcü, M. (2015). The effects of drying methods, packaging atmosphere and storage time on dried pomegranate aril quality .*Tarim Bilimleri Dergisi, 21*(2), 207–219.

Imoudu, P.B., & Olufay, A.A. (2000). The effect of sun drying on milling yield and quality of rice. Bioresource Technology, 74: 267-269.

Kahramanoğlu, I. and Usanmaz, S. 2016. Pomegranate Production and Marketing. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Kingsly, A. R. P., & Singh, D. B. (2007). Drying kinetics of pomegranate arils. *Journal of Food Engineering, 79*(2), 741–744.

Menon, A., Stojceska, V., & Tassou, S. A. (2020). A systematic review on the recent advances of the energy efficiency improvements in non-conventional food drying technologies. Trends in Food Science & Technology, 100, 67-76.

Motevali, A ,.Minaei, S., Khoshtaghaza, M. H., Kazemi, M., & Mohamad Nikbakht, A. (2010). Drying of pomegranate arils: Comparison of predictions from mathematical models and neural networks. *International Journal of Food Engineering, 6*(3).

Mujumdar, A.S. (Ed.). (2014). Handbook of Industrial Drying (4th ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b17208

Nnamchi, O., Tom, C., Akpan, G., Umunna, M., Ubong, D., Ibeh, M., . . . Ndukwu, M. (2025). Solar dryers: A review of mechanism, methods and critical analysis of transport models applicable in solar drying of product. Green Energy and Resources, 3(2), 100118. doi: https://doi.org/10.1016/j.gerr.2025.100118

Ozay-Arancioglu, I., Bekiroglu, H., Karadag, A., Saroglu, O., Tekin-çakmak, Z. H., & Karasu, S. (2022). Effect of different drying methods on the bioactive, microstructural, and in-vitro bioaccessibility of bioactive compounds of the pomegranate arils. *Food Science and Technology (Brazil)42*.

Togrul, I.T., & Pehlivan, D. (2002). Mathematical modeling of solar drying of apricots in thin layers. Journal of Food Engineering, 55 (3): 209-216.

Wanderley, R. d. O. S., Figueirêdo, R. M. F. d., Queiroz, A. J. d. M., Santos, F. S. d., Silva, A. P. d. F., Paiva, Y. F., . . . Lima, A. G. B. d. (2023). Effect of drying temperature on antioxidant activity, phenolic compound profile and hygroscopic behavior of pomegranate peel and seed flours. *LWT, 189*, 115514. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115514

Wang, J., Sun, M., Yu, J., Wang, J., & Cui, Q. (2024). Pomegranate seeds: a comprehensive review of traditional uses, chemical composition, and pharmacological properties. Frontiers in Pharmacology, Volume 15 - 2024.

Wu, J., Zhang, L., & Fan, K. (2022). Recent advances in ultrasound-coupled drying for improving the quality of fruits and vegetables: a review. International Journal of Food Science and Technology, 57(9), 5722-5731.