

دستنامه فنی

راهنمای تولید فراورده‌های آلو و مدیریت ضایعات آنها

الهام آذریژوه، فروغ شوخی، پروین شرایعی،
سودابه عین افشار و یگانه سابقی



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ
مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

دستنامه فنی

راهنمای تولید فراورده‌های آلو و مدیریت ضایعات آنها

تهیه و تدوین:

الهام آذریژوه^۱، فروغ شواخی^۲، پروین شرایعی^۱، سودابه
عین‌افشار^۱ و یگانه سابقی^۳

^۱عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع
طبیعی استان خراسان

^۲عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
^۳دکترای گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی،
دانشگاه فردوسی مشهد

سال انتشار

۱۴۰۵



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



نوع نوشتار: دستنامه فنی
عنوان نوشتار: راهنمای تولید فراورده‌های آلو و مدیریت ضایعات آنها
نگارندگان: الهام آذرپژوه، فروغ شوخی، پروین شرایعی، سودابه عین-
افشار و یگانه سابقی
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: شبنم جباری
طراح جلد: سمیه وطن دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۵



مسئولیت صحت مطالب با نگارندگان است.
کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

شماره ثبت ۶۹۴۱۶ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی سازمان
تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۵/۰۳/۱۶

مخاطبان دستنامه فنی

- کارشناسان و مروجان پهنه‌های تولید
- تولیدکنندگان میوه خشک آلو
- واحدهای صادرکننده خشکبار

هدف‌های آموزشی

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- روش‌های فرآوری و تولید محصولات فرآوری شده آلو و استفاده از ضایعات و محصولات جانبی میوه آلو، و کنترل کیفیت و ایمنی محصولات فرآوری شده آلو

آشنا خواهید شد.

فهرست

صفحه	عناوین
۱.....	فصل اول
۱.....	کلیات
۱-۱-۱.....	۱-۱-۱- مقدمه
۱.....	۱-۲- اهمیت تولید و بازار جهانی آلو
۳.....	۱-۳- ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی آلو
۶.....	۱-۴- ترکیبات شیمیایی آلو
۶.....	۱-۵- ترکیبات زیست‌فعال در آلو
۸.....	۱-۵-۱- ترکیبات فنولی در آلوها
۹.....	۱-۵-۲- چربیها در آلو
۱۳.....	۱-۵-۳- اسیدهای آلی در آلو
۱۴.....	۱-۵-۴- کاروتنوئیدها در آلو
۱۵.....	۱-۵-۵- اسیدهای آمینه آزاد در آلو
۱۶.....	۱-۵-۶- ویتامین‌های موجود در آلو
۱۷.....	۱-۵-۷- کربوهیدرات‌ها و فیبر غذایی در آلو
۲۰.....	۱-۶- فواید مصرف آلو برای سلامتی
۲۳.....	فصل دوم
۲۳.....	برداشت، حمل و جابه‌جایی آلو
۲۳.....	۲-۱-۱- مقدمه
۲۴.....	۲-۲- شاخص‌های رسیدگی
۲۵.....	۲-۲-۱- مقدار مواد جامد انحلال پذیر در آب و اسیدیته قابل تیتراسیون

- ۲-۲-۲- رنگ و اندازه آلو ۲۶
- ۳-۲-۲- بافت میوه ۲۷
- ۳-۲- زمان و روش‌های برداشت آلو ۲۹
- ۴-۲- ظرف‌های جمع‌آوری آلو در باغ ۳۱
- ۵-۲- زنجیره حمل‌ونقل میوه آلو ۳۲
- ۵-۲-۱- اصول بهداشتی در حمل‌ونقل میوه آلو ۳۲
- ۵-۲-۲- بیماری‌های پس از برداشت ۳۳
- ۵-۲-۳- حفظ دمای بهینه و تداوم زنجیره سرد ۳۴
- ۵-۲-۴- مدیریت گاز اتیلن و نقش مواد جاذب اتیلن ۳۸
- ۵-۲-۵- پیشگیری از آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی و فیزیکی در حمل‌ونقل میوه آلو ۳۹
- ۵-۲-۵-۱- بسته‌بندی مناسب برای پیشگیری از آسیب-دیدگی‌های مکانیکی ۴۰

۴۳..... فصل سوم

۴۳..... روش‌های خشک کردن آلو

- ۳-۱- مقدمه ۴۳
- ۳-۲- اهمیت و هدف‌های پیش‌تیمار در خشک‌کردن ۴۵
- ۳-۲-۱- پیش‌تیمارهای شیمیایی ۴۶
- ۳-۲-۱-۱- پیش‌تیمار اسمزی ۴۷
- ۳-۲-۱-۲- پیش‌تیمار قلیایی ۴۹
- ۳-۲-۱-۳- پیش‌تیمار با محلول‌های سولفیتی ۵۰
- ۳-۲-۱-۴- پیش‌تیمار اسیدی ۵۱
- ۳-۲-۲-۱- پیش‌تیمارهای حرارتی (ستنی و نوین) ۵۲
- ۳-۲-۲-۲-۱- پیش‌تیمار با میدان فراصوت ۵۴

- ۳-۲-۲-۲-۲- پیش تیمار انجماد-ذوب.....۵۵
- ۳-۲-۲-۲-۳- میدان الکتريکی پالسی.....۵۶
- ۳-۲-۲-۲-۱- روش های مکانیکی (سایش و سوراخ کاری)
.....۵۷
- ۳-۱-۲-۲-۲- گرمایش با تابش فرسرخ.....۵۸
- ۳-۳- روش های خشک کردن آلو.....۵۹
- ۳-۳-۱- روش های سنتی خشک کردن آلو.....۵۹
- ۳-۳-۱-۱- خشک کردن آفتابی مستقیم.....۶۰
- ۳-۳-۱-۲- خشک کردن در سایه.....۶۱
- ۳-۳-۱-۳- خشک کن های خورشیدی.....۶۱
- ۳-۳-۲- تکنولوژی های صنعتی پیشرفته.....۶۲
- ۳-۳-۲-۱- پارامترهای حیاتی و چالش ها در خشک کردن با
هوای داغ.....۶۳
- ۳-۳-۲-۳- خشک کردن مایکروویو-خلاً.....۶۶
- ۳-۳-۲-۴- خشک کردن پاششی برای فرآورده های آلو....۶۷
-۶۹ **فصل چهارم**
-۶۹ **تولید فرآورده های متنوع از آلو**
- ۴-۱- مقدمه (اهمیت فرآوری آلو در کاهش ضایعات).....۶۹
- ۴-۲- فرآوری آلو و محصولات جانبی آن.....۷۱
- ۴-۳- فرآوری اولیه آلو.....۷۳
- ۴-۳-۱- خشک کردن آلو.....۷۳
- ۴-۳-۱-۱- روش تولید آلو خشک اسلایسی.....۷۷
- ۴-۳-۲- تولید دیگر محصولات از آلو.....۷۹
- ۴-۳-۲-۱- لواشک.....۸۰

- ۸۱.....(فرآیند پخت و تغلیظ).....۲-۲-۳-۴
- ۸۳.....مارمالاد.....۴-۲-۳-۴
- ۸۴.....مسقطی آلو.....۵-۲-۳-۴
- ۸۶.....نوشیدنی آلو.....۶-۲-۳-۴
- ۸۷.....شربت آلو.....۷-۲-۳-۴
- ۸۸.....سرکه آلو.....۸-۲-۳-۴
- ۹۰.....محصولات جانبی آلو.....۴-۴
- ۹۰.....پوست آلو.....۱-۴-۴
- ۹۱.....خواص تغذیه ای پوست آلو.....۲-۴-۴
- ۹۲.....هسته (دانه) آلو.....۳-۴-۴
- ۹۴.....کاربردهای محصولات جانبی آلو در صنایع مختلف.....۵-۴
- ۹۴.....عملکردی).....۱-۵-۴
- ۹۴.....صنایع دارویی، مکمل‌های غذایی و مواد آرایشی-بهداشتی.....۲-۵-۴
- ۹۵.....استخراج آنتوسیانین از پوست آلو.....۳-۵-۴
- ۹۹.....صنعت خوراک دام و آبزیان.....۴-۵-۴
- ۹۹.....کاربردهای غیرخوراکی و صنعتی.....۵-۵-۴
- ۱۰۰.....چالش‌ها و محدودیت‌ها.....۶-۵-۴
- ۱۰۲.....نتیجه‌گیری.....۶-۴
- ۱۰۳.....**فصل پنجم**.....
- ۱۰۳.....**کنترل کیفیت فرآورده‌های آلو**.....
- ۱۰۳.....۱-۵ مقدمه.....

۲-۵- الزامات استانداردهای ملی میوه و فرآورده های آلو	۱۰۵.....
۳-۵- ویژگی های فیزیکی فرآورده های آلو	۱۱۳.....
۴-۵- ویژگی های شیمیایی فرآورده های آلو	۱۱۳.....
۵-۵- ویژگی های میکروبی فرآورده های آلو	۱۱۴.....
۶-۵- آزمون های ماندگاری فرآورده ای آلو	۱۱۴.....
۷-۵- بسته بندی فرآورده های آلو	۱۱۵.....
۸-۵- برچسب گذاری و ردیابی	۱۱۵.....
۹-۵- الزامات استانداردهای بین المللی میوه و فرآورده های آلو	۱۱۶.....
۱۰-۵- الزامات GMP و HACCP	۱۱۶.....
۱۱-۵- نتیجه گیری	۱۱۷.....
فهرست منابع	۱۱۹.....

خلاصه

دستنامه فنی «راهنمای تولید و مدیریت ضایعات محصولات فرآوری شده آلو» برای کارشناسان و مروجان پهنه‌های تولید، تولیدکنندگان آلو خشک و واحدهای صادرکننده خشکبار تدوین شده است و هدف آن آشنایی مخاطب با روش‌های فرآوری آلو، استفاده از ضایعات و محصولات جانبی، و نیز کنترل کیفیت و ایمنی فرآورده‌های آلوست. در ابتدا، آلو از نظر اهمیت تولید و بازار، ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی و ترکیب شیمیایی معرفی می‌شود و نقش ترکیبات زیست‌فعال مانند پلی‌فنول‌ها، آنتوسیانین‌ها، کاروتنوئیدها، اسیدهای آلی، ویتامین‌ها و فیبر غذایی در ویژگی‌های کیفی و اثر سلامت‌بخش (از جمله خاصیت آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و کمک به سلامت گوارش و قلب) توضیح داده می‌شود. پس از آن بر مدیریت درست برداشت و پس از برداشت تأکید می‌کند: تعیین رسیدگی با شاخص‌های کمی، برداشت در زمان مناسب، حمل‌ونقل بهداشتی، جلوگیری از آسیب-دیدگی‌های مکانیکی، حفظ زنجیره سرد و مدیریت اتیلن برای کاهش افت کیفیت و ضایعات. بخش‌های اصلی فرآوری، به‌ویژه خشک کردن، انواع روش‌های سنتی و صنعتی و چالش‌های کیفی آن را بیان می‌کند و نشان می‌دهد

پیش‌تیمارهای شیمیایی و فیزیکی چگونه با افزایش نفوذپذیری پوست و بهبود انتقال جرم، زمان و انرژی خشک‌کردن را کاهش می‌دهند و کیفیت محصول را حفظ می‌کنند. همچنین، تولید فرآورده‌های متنوع از آلو (مانند آلو خشک، لواشک، مربا، کنسانتره و نوشیدنی‌ها) و مسیرهای ارزش‌آفرینی از محصولات جانبی مانند پوست و هسته در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و خوراک دام ارائه می‌شود. در پایان، الزام‌های کنترل کیفیت، استانداردها، آزمون‌های ماندگاری، بسته‌بندی، برچسب‌گذاری و ردیابی، و اصول HACCP و GMP به‌عنوان چارچوب تضمین ایمنی و ارتقای قابلیت بازاریابی و صادرات مطرح می‌گردد.

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

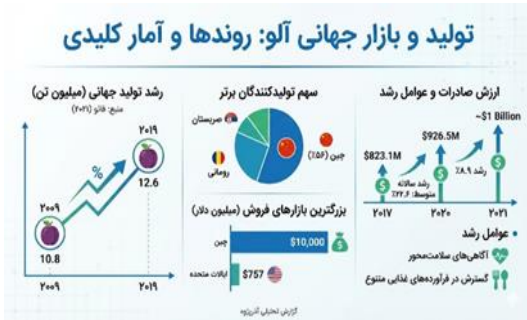
آلو با نام علمی (*Prunus domestica*) میوه‌ای از خانواده گلسرخیان است. این میوه به ترکیب دلچسب شیرینی و ترشی ملایم در طعم معروف است و در رنگ‌های متنوعی شامل قرمز، بنفش، زرد، سبز و سیاه یافت می‌شود. گمان می‌رود خاستگاه اولیه آلو مناطق غرب آسیا و قفقاز باشد. انسان قرن‌هاست که از این میوه بهره می‌برد و آن را به صورت تازه، خشک‌شده یا فرآوری‌شده در قالب مربا، ژله، سس و آبمیوه مصرف می‌کند.

۱-۲- اهمیت تولید و بازار جهانی آلو

بر اساس آمار فائو (۲۰۱۱)، تولید جهانی آلو از ۱۰/۸ میلیون تن در سال ۲۰۰۹ به ۱۲/۶ میلیون تن در سال ۲۰۱۹ افزایش یافته است (شکل ۱-۱). چین با سهمی حدود ۵۶ درصد از تولید جهانی، بزرگ‌ترین تولیدکننده آلو در جهان محسوب می‌شود و پس از آن صربستان و رومانی قرار دارند.

در سال ۲۰۲۱، کل ارزش صادرات جهانی آلوی تازه به حدود یک میلیارد دلار رسید. این رقم نسبت به سال ۲۰۱۷ که ارزش صادرات ۸۲۳ میلیون دلار بود، به طور متوسط سالانه ۲۲/۶ درصد رشد داشته است. همچنین در مقایسه با سال ۲۰۲۰ (۹۲۶/۵ میلیون دلار)، ارزش کل صادرات آلو در سال ۲۰۲۱ به میزان ۸/۹ درصد افزایش یافته است.

لازم است گفته شود که ارزش فروش داخلی آلو در بازار چین (نه صادرات این کشور) حدود ۱۰ میلیارد دلار برآورد می‌شود. به عبارت دیگر، چین با اختلاف زیاد، بزرگترین بازار مصرف آلو را در جهان دارد (شکل ۱-۱). پس از چین، ایالات متحده با حدود ۷۵۷ میلیون دلار فروش داخلی در رتبه دوم قرار دارد. این تفاوت چشمگیر نشان‌دهنده جمعیت زیاد و مصرف بالای داخلی در چین است که عمدتاً با تولید عظیم داخلی این کشور تأمین می‌شود. افزایش تولید و صادرات آلو در سطح جهانی را می‌توان به عوامل گوناگونی از جمله رشد آگاهی‌های سلامت‌محور و گسترش استفاده از آلو در فراورده‌ها و دستورهای غذایی متنوع نسبت داد.



شکل ۱-۱- تولید، صادرات و بازار جهانی آلو

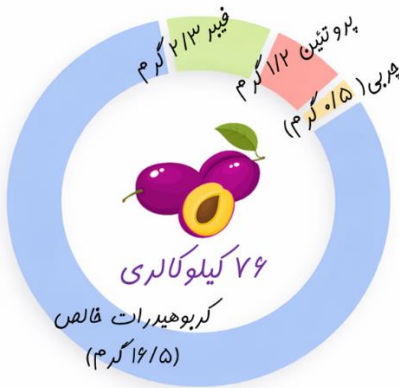
۱-۳- ارزش تغذیه‌ای و اقتصادی آلو

تا امروز با بیش از ۶۰۰۰ رقم کشت‌شده، آلو یکی از میوه‌های مغذی و ارزشمند شناخته می‌شود، زیرا حاوی طیف گسترده‌ای از مواد مغذی از جمله ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبرهای انحلال‌پذیر (به ویژه پکتین)، ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی، حدود ۰/۷ درصد پروتئین، حدود ۰/۳ تا ۰/۶ درصد چربی، و حدود ۱۶ تا ۲۰ درصد قندهای طبیعی (عمدتاً گلوکز، فروکتوز و ساکارز) است. میزان دقیق این ترکیبات بسته به رقم آلو، شرایط اقلیمی و مرحله رسیدگی میوه متفاوت است (درنونفسکی^۱ و برتون-فریمن، ۲۰۲۰).

هر پیمانه آلوی خردشده (حدود ۱۶۵ گرم) ۷۶ کیلوکالری انرژی دارد و حاوی ۱۶/۵ گرم کربوهیدرات خالص، ۲/۳ گرم فیبر، ۱/۲ گرم پروتئین و ۰/۵ گرم چربی است. فیبر موجود

¹ Drewnowski

در آلو، به‌ویژه پکتین، در بهبود عملکرد دستگاه گوارش، کمک به تنظیم قند خون و کاهش کلسترول نقش دارد (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- ارزش غذایی در هر یک وعده (۱ پیمانه خردشده معادل ۳ عدد آلوی کوچک، حدود ۱۶۵ گرم)

آلو از نظر ترکیبات گیاهی فعال در سطح بالایی قرار دارد و حدود ۲۳۱۰ میلی‌گرم پلی‌فنول در هر وعده تأمین می‌کند. این ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در کاهش استرس اکسیداتیو و محافظت از سلول‌ها مؤثرند. آلو منبع خوبی از ویتامین C (حدود ۱۷ درصد نیاز روزانه) و مس (حدود ۱۰ درصد نیاز روزانه) است که در تقویت سیستم ایمنی، ساخت کولاجن و

عملکرد آنزیم‌های بدن نقش دارند (بیروال^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

آلو، به‌ویژه در شکل خشک‌شده (آلوخشک یا برگه آلو)، مواد آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد. این آنتی‌اکسیدان‌ها به مبارزه با رادیکال‌های آزاد در بدن کمک می‌کنند که می‌تواند در پیشگیری از سرطان و دیگر مشکلات مرتبط با سلامت مؤثر باشد. در طول تاریخ، آلو به‌دلیل فواید درمانی و پیشگیرانه‌اش شناخته شده است. این میوه دارای خواص قلبیایی‌کننده، معدنی‌ساز، ملین و ادرارآور است که می‌تواند برای گوارش و سلامت کلی بدن مفید باشد.

آلوخشک (برگه آلو) نیز علاوه بر دارا بودن فیبر غذایی متراکم، منبعی از مواد معدنی مهم از جمله پتاسیم، آهن و عنصر کمیاب بور است. بور یک ریزمغذی ضروری محسوب می‌شود که در متابولیسم مواد معدنی و عملکرد هورمون‌های مرتبط با سلامت استخوان نقش دارد و می‌تواند به حفظ تراکم استخوان و کاهش خطر پوکی استخوان کمک کند (بیروال و همکاران، ۲۰۱۷). گزارش‌ها نشان می‌دهد هر ۱۰۰ گرم آلوخشک حدود ۲ تا ۳ میلی‌گرم بور تأمین می‌کند، هرچند این مقدار ممکن است بر اساس نوع محصول و شرایط کشت متغیر باشد.

¹ Birwal

در مجموع، آلو تازه و آلو خشک هر دو از میوه‌های مغذی با ترکیبی متعادل از قندهای طبیعی، فیبر، ترکیبات زیست‌فعال و ریزمغذی‌ها هستند که می‌توانند در چارچوب رژیم غذایی متنوع و متعادل، به بهبود سلامت عمومی بدن کمک کنند (بیروال و همکاران، ۲۰۱۷).

۱-۴- ترکیبات شیمیایی آلو

آلوه‌ها میوه‌هایی شیرین و آبدارند که علاوه بر کاربرد گسترده در تهیه انواع غذاها و فراورده‌های غذایی، سرشار از مواد مغذی هستند. ترکیب شیمیایی آلو وجود مواد متعددی را نشان می‌دهد که در طعم و فواید سلامتی این میوه نقش دارند. آلو اگرچه قند بالایی دارد، اما در مراحل اولیه رشد حاوی مقدار کمی نشاسته است که با رسیدن میوه این مقدار نشاسته افزایش می‌یابد. اسید کینیک^۱ و اسید مالیک دو اسید مهم در آلو هستند که در طعم ترش میوه نقش دارند (معدنی و آذرپژوه، ۱۳۸۳).

۱-۵- ترکیبات زیست‌فعال در آلو

فراتر از طعم دلپذیر و رنگ‌های زنده، آلو سرشار از ترکیبات زیست‌فعالی است که در فواید سلامت‌بخش بالقوه آن نقش دارند. این ترکیبات زیست‌فعال که شامل انواع مختلفی از فنولیک‌ها، فلاوونوئیدها، آنتی‌اکسیدان‌ها، ویتامین‌ها و مواد

¹ Quinic acid

معدنی هستند، در بخش‌های مختلف میوه از جمله پوست، گوشت و هسته یافت می‌شوند (شکل ۱-۳). مطالعات نشان می‌دهند که این ترکیبات مسئول بسیاری از اثرهای مثبت آلو بر سلامتی، از جمله خواص ضدالتهابی، ضدسرطانی و محافظت‌کننده قلبی-عروقی هستند. ترکیبات فیتوشیمیایی مانند ترکیبات فنولی، فلاوونوئیدها و آنتوسیانین‌ها، همان‌طور که در جدول ۱-۱ نشان داده شده است، نقش حیاتی در ارتقای سلامتی کلی دارند. ترکیبات زیست‌فعال موجود در آلو در خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی و پتانسیل مبارزه با بیماری‌های آن نقش دارند (شو^۱ و همکاران، ۲۰۲۵).



شکل ۱-۳- مقایسه میزان ترکیبات زیست‌فعال و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در ارقام مختلف آلو با تغییر رنگ میوه از زرد به قرمز و بنفش تیره.

¹ Xu

۱-۵-۱- ترکیبات فنولی در آلوها

ترکیبات فنولی دسته‌ای متنوع از ترکیبات آلی هستند که یک یا چند حلقه فنول (بنزن هیدروکسیله شده) دارند. این ترکیبات به طور گسترده در گیاهان پراکنده‌اند و مسئول فعالیت‌ها و عملکردهای بیولوژیکی مختلفی هستند. ترکیبات فنولی برای رشد، نمو و در مکانیسم‌های دفاعی گیاهان در برابر عوامل بیماری‌زا و تنش‌های محیطی ضروری هستند. ترکیبات فنولی بر اساس ساختار شیمیایی‌شان به دسته‌های مختلفی از جمله اسیدهای فنولی، فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها، لیگنان‌ها، استیلبن‌ها و تانن‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. این ترکیبات در رنگ، طعم و ارزش غذایی بسیاری از میوه‌ها، سبزی‌ها، غلات، آجیل، دانه‌ها و نوشیدنی‌هایی مانند چای، قهوه و شراب نقش دارند. علاوه بر نقش آن‌ها در گیاهان، ترکیبات فنولی به دلیل فواید بالقوه سلامتی‌شان برای انسان مورد توجه قرار گرفته‌اند. بسیاری از ترکیبات فنولی خواص آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضد میکروبی و ضدسرطانی از خود نشان می‌دهند که آن‌ها را برای کاربردهای غذایی و دارویی جذاب می‌سازد. ترکیبات فنولی اصلی موجود در آلو شامل اسید کلروژنیک، اسید نئوکلروژنیک، کوئرستین، اسید فرولیک، روتین، پروآنتوسیانیدین B1، کامفرول و اسید بنزوئیک هستند. ثابت شده است که این ترکیبات مزایای سلامت‌بخش متنوعی دارند. برای مثال، نشان داده شده است

که اسید کلروژنیک به تنظیم سطح گلوکز خون کمک می‌کند و کوئرستین التهاب را کاهش می‌دهد و ایمنی را تقویت می‌کند. مشاهده شده است که اسید نئوکلروژنیک پروفایل چربی را بهبود می‌بخشد و فشار خون را کاهش می‌دهد. ارقام مختلف آلو می‌توانند مقادیر متفاوتی از ترکیبات فنولی داشته باشند که این امر بر فواید سلامت بخش آن‌ها تأثیر می‌گذارد. برای مثال، آلوهای «سانتا رزا»^۱ که با پوست قرمز-بنفش و گوشت کهربایی شناخته می‌شوند، مقدار فنولی کل آنها بین حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌گرم معادل اسید گالیک (*GAE*) در هر ۱۰۰ گرم است. این مقدار نسبتاً بالا و به دلیل وجود چندین نوع مختلف از ترکیبات فنولی از جمله آنتوسیانین‌ها، فلاوونوئیدها و اسیدهای فنولی است. آلوهای ژاپنی که اغلب برای تهیه آلوترشی و دیگر محصولات سنتی ژاپنی استفاده می‌شوند، بسته به مرحله رسیدگی، مقدار فنولی کل آن‌ها تقریباً بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم *GAE* در هر ۱۰۰ گرم متغیر است (شو و همکاران، ۲۰۲۵). ترکیبات فنولی موجود در آلو آنتی‌اکسیدان‌های قدرتمندی هستند که به خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد در بدن کمک می‌کنند.

۱-۵-۲- چربی‌ها در آلو

آلوه‌ها، مانند بسیاری از میوه‌ها، حاوی مقادیر بسیار کمی چربی در بخش خوراکی خود (گوشت و پوست) هستند. برای روشن

¹ Santareza

شدن نقش تغذیه‌ای چربی‌های آلو، لازم است ترکیب چربی در سه بخش مختلف میوه به طور جداگانه بررسی شود: پوست آلو حاوی یک لایه نازک چربی سطحی (کوتیکولی) است که عمدتاً از موم‌های محافظ تشکیل شده است. میزان این لایه چربی در سطح میوه حدود ۱۷۵ تا ۲۰۵ میکروگرم بر سانتی‌متر مربع گزارش شده است. ترکیب این لایه عمدتاً شامل آلکان‌ها، الکل‌ها، اسیدهای چرب، کتون‌ها، آلدهیدها، استرها، تری‌ترین‌ها و اولفین‌ها است. اگرچه اسید لینولئیک و اسید اولئیک در این لایه یافت می‌شوند، اما حجم کلی این چربی‌ها برای تأمین انرژی یا نقش تغذیه‌ای قابل توجه بسیار ناچیز است (انور^۱ و همکاران، ۲۰۱۴).

گوشت آلوی تازه حدود ۰/۱۷ درصد چربی دارد (حدود ۰/۱۷ گرم در ۱۰۰ گرم وزن تازه). آلوخشکه حدود ۰/۵ درصد و آب آلو مقادیر ناچیزی (۰/۰۳ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) چربی دارند. اسیدهای چرب اصلی در آلوخشکه عبارت‌اند از اسید اولئیک (تک‌غیراشباع) و اسید لینولئیک (چندغیراشباع). آلوی تازه حدود ۷ میلی‌گرم بتا-سیتوسترول در هر ۱۰۰ گرم دارد که این مقدار برای تأثیرگذاری قابل توجه بر جذب کلسترول بسیار کم است. بنابراین، نقش تغذیه‌ای چربی‌های موجود در گوشت آلو ناچیز است و این میوه را نمی‌توان منبعی از چربی برشمرد.

¹ Anwar

هسته آلو به طور طبیعی سرشار از چربی است و بخش اعظم چربی کل میوه در این قسمت متمرکز شده است. بسته به رقم و روش اندازه‌گیری، میزان چربی در هسته آلو بین ۲۵/۵ تا ۵۵/۵ درصد وزن خشک متغیر است. برای مثال، روغن استخراج شده از هسته آلوی مجارستان شامل ۷۳/۴ درصد اسید اولئیک، ۱۴/۸ درصد اسید لینولئیک، ۸/۹ درصد چربی‌های اشباع، ۷/۷ درصد گلیسرول و ۰/۷ درصد مواد غیرقابل صابونی شدن (شامل استرول‌هایی مانند بتا-سیتوسترول، دلتا-۵-لانوسترول، استیگماسترول و کامپسترول) است (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

با توجه به اینکه بخش اعظم چربی‌های آلو در هسته متمرکز شده است و هسته آلو به طور معمول مصرف خوراکی ندارد (به دلیل طعم تلخ و وجود ترکیبات سیانوزینیک در برخی ارقام)، نقش تغذیه‌ای چربی‌های آلو برای مصرف‌کننده بسیار ناچیز است. بخش خوراکی میوه (گوشت و پوست) چربی بسیار کمی دارد و آلو را نمی‌توان منبع چربی در رژیم غذایی در نظر گرفت. این نکته برای متخصصان تغذیه و مصرف‌کنندگان مهم است که گفته شده است: آلو عمدتاً به دلیل فیبر، ویتامین‌ها، مواد معدنی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ارزش غذایی دارد، نه به دلیل مقدار چربی آن (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

این چربی‌ها نقش مهمی در ساختار و عملکرد فواید سلامت‌بخش آلو دارند. برای مثال، اسیدهای چرب یا اشباع‌شده اند یا غیراشباع و ترکیب آنها می‌تواند بر خواص تغذیه‌ای میوه آلو تأثیر بگذارد. فسفوپربی‌ها در میوه آلو برای حفظ ساختار و عملکرد سلول ضروری هستند. شایان توجه است که اگرچه آلو حاوی چربی است، اما معمولاً در مقایسه با برخی میوه‌های دیگر مانند زیتون و آووکادوی تازه، چربی بالایی ندارد. علاوه بر مقدار بالای چربی‌های تک‌غیراشباع و چندغیراشباع، آلوها به دلیل ترکیب منحصر به فرد اسیدهای چرب خود، فواید سلامت‌بخش فراوانی دارند. مقدار چربی ناچیز آلو که بین ۰/۲ تا ۰/۵ گرم در هر ۱۰۰ گرم است، بر جایگاه آنها به عنوان میوه‌ای کم‌چرب تأکید دارد. این چربی‌ها، اگرچه به مقدار اندک وجود دارند، نقشی محوری در تأمین یک منبع حیاتی انرژی خواهند داشت. نکته مهم این است که ماهیت کم‌چرب آلو به کاهش خطر بیماری‌های قلبی-عروقی کمک می‌کند، زیرا این چربی‌ها به عنوان حامل ویتامین‌های ضروری و ترکیبات ارتقادهنده سلامت ذاتی این میوه عمل می‌کنند. آلوها به دلیل دربرگیری اسیدهای چرب امگا-۶ متمایز می‌شوند که نمایه غذایی آنها را بیشتر ارتقا می‌دهد. در میان اسیدهای چرب چندغیراشباع غالب در آلو، اسید لینولئیک و اسید لینولنیک در کانون توجه قرار می‌گیرند، در حالی که اسید بوتیریک و اسید اولئیک به ترتیب نمایندگان

اصلی اسیدهای چرب اشباع و تک‌غیراشباع هستند (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

۱-۵-۳- اسیدهای آلی در آلو

میوه آلو از ترکیبی پویا از اسیدهای آلی بهره می‌برد که مقادیر دقیق آن‌ها به عواملی مانند رقم آلو، مرحله رسیدگی و شرایط رشد بستگی دارد. در درجه اول، آلو میزبان طیفی از اسیدهای آلی است که اسید سیتریک، اسید مالیک، اسید تارتاریک و اسید کینیک به عنوان اجزای اصلی آن شناخته می‌شوند (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

اسید سیتریک عمدتاً در پوست و گوشت میوه توزیع شده و سهم عمده‌ای در ترشی مشخصه این میوه دارد. فراتر از نقش طعم‌دهنده، اسید سیتریک به دلیل خواص آنتی‌اکسیدانی خود شناخته شده است که به طور فعال از ساختارهای سلولی در برابر آسیب اکسیداتیو محافظت می‌کند. اسید مالیک، که یکی دیگر از اسیدهای آلی شایع است، در گوشت، پوست و هسته میوه آلو توزیع شده و طعم ترشی به آن می‌بخشد. این اسید نه تنها در پروفایل طعم متمایز میوه نقش دارد، بلکه در تنظیم سطح قند خون و افزایش تولید انرژی نیز دخیل است و در نتیجه فواید سلامت بالقوه‌ای را ارائه می‌دهد. اگرچه فراوانی اسید تارتاریک و اسید کینیک کمتر از اسید سیتریک و اسید مالیک است، اما سهم قابل توجهی در اسیدیته کلی و خواص سلامت‌بخش آلو دارند. اسید تارتاریک که عمدتاً در

پوست و هسته یافت می‌شود، دارای خواص ضد میکروبی و ضدالتهابی است و ارزش درمانی بالقوه میوه را غنی می‌سازد. اسید کینیک که در هسته آلو تمرکز یافته، با فواید بالقوه برای سلامت قلب، از جمله کاهش فشار خون، مرتبط شده است. ترکیب پیچیده اسید سیتریک، اسید مالیک، اسید تارتاریک و اسید کینیک در آلو نه تنها طعم منحصر به فرد آن را تعیین می‌کند، بلکه بر مزایای سلامت بالقوه مرتبط با مصرف این میوه پرطعم تأکید می‌ورزد. از حفاظت آنتی‌اکسیدانی گرفته تا تنظیم قند خون و پشتیبانی از سلامت قلب، مجموعه متنوع اسیدهای آلی در آلو به جایگاه آن به عنوان نه تنها یک خوراکی لذیذ، بلکه یک افزودنی با ارزش غذایی به یک رژیم غذایی متعادل کمک می‌کند.

۱-۵-۴- کاروتنوئیدها در آلو

آلو با گوشت آبدار و طعم شیرین و ملایم ترش خود، همواره به عنوان میوه‌ای خوشمزه و مغذی مورد علاقه بوده است. فراتر از طعم و بافت، آلوها میزبان مجموعه‌ای زنده از رنگدانه‌های طبیعی شناخته شده به عنوان کاروتنوئیدها هستند. کاروتنوئیدها در آلو، مانند بسیاری دیگر از میوه‌ها، می‌توانند در هر دو پیکربندی ترانس و سیس وجود داشته باشند. ایزومرهای ترانس عموماً پایدارتر و رایج‌تر هستند و اغلب بیش از ۸۰-۷۰ درصد ایزومرها را تشکیل می‌دهند. با این حال، نسبت خاص کاروتنوئیدهای ترانس و سیس در آلو

و همچنین هضم و جذب این کاروتنوئیدها می‌تواند بسته به نوع آلو، مرحله رسیدگی آن و کاروتنوئیدهای خاص موجود متفاوت باشد. کاروتنوئیدها می‌توانند نقشی مهم در چندین فعالیت بیولوژیکی گیاهان داشته باشند که شامل فتوسنتز، محافظت در برابر نور، تولید فیتوهورمون‌ها و انتقال پیام است؛ به‌علاوه کاروتنوئیدها اجزای جذابی برای میوه و گیاه محسوب می‌شوند. افزون بر این، کاروتنوئیدها ممکن است به عنوان پیش‌سازهای مهمی برای فیتوهورمون‌ها از جمله استریگولاکتون‌ها، اسیدهای آبسازیک و ویتامین A عمل کنند. کاروتنوئیدها می‌توانند کمبود ویتامین A را برطرف کنند، چندین بیماری مزمن از جمله سرطان و اختلالات قلبی-عروقی را تسکین دهند و از عملکردهای ایمنی بدن پشتیبانی کنند. افزون بر آن این مواد به طور گسترده‌ای به-عنوان آنتی‌اکسیدان‌های قوی شناخته می‌شوند (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

۱-۵-۵- اسیدهای آمینه آزاد در آلو

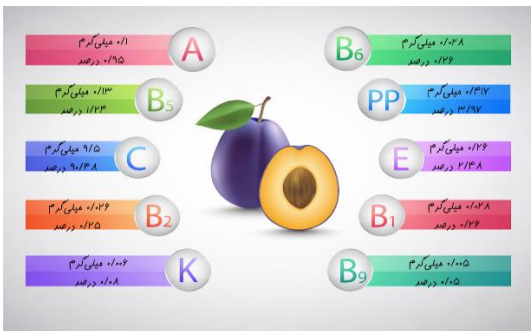
اسیدهای آمینه واحدهای سازنده پروتئین‌ها هستند که نقش حیاتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف بدن انسان دارند. این اسیدها در انواع مختلف مواد غذایی از جمله آلو یافت می‌شوند. آلو حاوی اسیدهای آمینه آزاد متنوعی است که هر یک به نمایه تغذیه‌ای این میوه کمک می‌کند. برخی از اسیدهای آمینه برجسته در آلو عبارت‌اند از گلوتامین، آرژینین،

آسپاراژین، سرین و پرولین. این اسیدهای آمینه نه تنها برای سنتز پروتئین‌ها ضروری هستند، بلکه نقش‌های خاصی در حمایت از سلامت و تندرستی کلی بدن دارند. برای مثال، گلوتامین به عنوان منبع انرژی برای سلول‌هایی عمل می‌کند که به سرعت تقسیم می‌شوند، مانند سلول‌های سیستم ایمنی و سلول‌های پوشش دهنده دستگاه گوارش. اسیدهای آمینه برای عملکرد صحیح سیستم ایمنی ضروری هستند. گلوتامین به حفظ فعالیت سلول‌های ایمنی کمک می‌کند و اغلب در تغذیه درمانی پزشکی برای بیماران بحرانی به کار می‌رود (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

۱-۵-۶- ویتامین‌های موجود در آلو

طبیعت همواره نیکویی‌ها را در بسته‌های رنگارنگ و خوشمزه جای داده است و آلو نیز از این قاعده مستثنی نیست. آلو حاوی ویتامین‌های متعددی است (شکل ۱-۴). برای مثال، این میوه منبع خوبی از ویتامین C به شمار می‌رود که برای سیستم ایمنی بدن و سنتز کولاژن اهمیت دارد. آلو همچنین حاوی ویتامین K است که در انعقاد خون و سلامت استخوان‌ها نقش دارد. آلو منبعی از انواع ویتامین‌های گروه B شامل B1 (تیامین)، B2 (ریبوفلاوین)، B3 (نیاسین)، B5 (پانتوتنیک اسید)، B6 (پیریدوکسین) و فولات است. این ویتامین‌ها در متابولیسم انرژی، عملکرد عصبی و تشکیل سلول‌های قرمز خون دخیل هستند. آلو همچنین به دریافت

ویتامین E در بدن ما کمک می‌کند. این آنتی‌اکسیدان برای محافظت از سلول‌ها در برابر آسیب اکسیداتیو ضروری است. ویتامین E با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد به حفظ سلامت سلول‌ها و بافت‌های سراسر بدن کمک می‌کند (شو و همکاران، ۲۰۲۵)



شکل ۱-۴- ویتامین‌های آلو در هر ۱۰۰ گرم میوه

۱-۵-۷- کربوهیدرات‌ها و فیبر غذایی در آلو

از اجزای کلیدی که به طعم شیرین و نمایه تغذیه‌ای کلی آلو کمک می‌کند، کربوهیدرات‌ها هستند. آلو حاوی انواع مختلفی از کربوهیدرات‌هاست که دو دسته اصلی آن‌ها کربوهیدرات‌های ساده و فیبر غذایی هستند. کربوهیدرات‌های ساده (قندها) در آلو شامل فروکتوز، گلوکز و ساکارز می‌شوند. آلو به طور طبیعی شیرین است که دلیل اصلی آن وجود فروکتوز، قند طبیعی موجود در بسیاری از میوه‌هاست.

فروکتوز نه تنها شیرینی را تأمین می‌کند، بلکه منبع سریعی از انرژی را نیز ارائه می‌دهد. گلوکز به عنوان منبع انرژی ضروری برای بدن عمل می‌کند و نقش مهمی در تأمین سوخت عملکردهای مختلف بدن دارد. آلو همچنین حاوی ساکارز (حدود ۱-۲ گرم در ۱۰۰ گرم) است که یک دی‌ساکارید متشکل از گلوکز و فروکتوز است. با تجزیه ساکارز طی هضم، این قندهای ساده برای تولید انرژی آزاد می‌شوند. آلو منبع خوبی از فیبر غذایی (۲-۱/۵ گرم در ۱۰۰ گرم) است که در دسته کربوهیدرات‌های پیچیده قرار می‌گیرد. فیبرهای غذایی برای سلامت گوارش و تندرستی کلی مفید هستند. مقدار فیبر در آلو می‌تواند بسته به رقم و اندازه خاص میوه متفاوت باشد. فیبر موجود در آلو بیشتر از نوع فیبر انجلیل‌ناپذیر است که در پوست و هسته میوه یافت می‌شود. با این حال، آلو حاوی مقادیری از فیبر انحلال‌پذیر نیز هست که می‌تواند به کاهش سطح کلسترول و تنظیم قند خون کمک کند (شو و همکاران، ۲۰۲۵).

آلو خشک تقریباً ۶/۱ گرم فیبر غذایی در هر ۱۰۰ گرم دارد. آب آلو به دلیل فرآیند صاف‌کردن قبل از بطری‌شدن فاقد فیبر است. هر دو آلو خشک و آب آلو اثر ملین دارند که احتمالاً به دلیل مقدار بالای سوربیتول در آنهاست (۱۴/۷ گرم در هر ۱۰۰ گرم در آلو خشک و ۶/۱ گرم در هر ۱۰۰ گرم در آب آلو). آلو خشک منبع عالی انرژی از قندهای ساده است، اما به

دلیل مقدار بالای فیبر، فروکتوز و سوربیتول، باعث افزایش سریع سطح قند خون نمی‌شود.

جدول ۱-۱ طبقه‌بندی ترکیبات زیست‌فعال و مغذی آلو شامل کربوهیدرات‌ها، اسیدهای آلی، پلی‌فنول‌ها، کاروتنوئیدها، چربی‌ها، ویتامین‌ها و اسیدهای آمینه آزاد، به همراه نمونه‌های شاخص و نقش‌های فیزیولوژیکی آن‌ها در سلامت انسان.

ردیف	دسته‌بندی اصلی	ترکیبات کلیدی و مثال‌ها	توضیحات و نقش‌ها
۱	کربوهیدرات‌ها	قندهای ساده: فروکتوز (قند غالب)، گلوکز، ساکارز (مقدار کم).	منبع اصلی انرژی و شیرینی میوه. فیبرها عمدتاً در پوست و گوشت قرار دارند و برای سلامت گوارش مفیدند.
۲	اسیدهای آلی	اصلی: اسید سیتریک، اسید مالیک. فرعی: اسید تارتاریک، اسید کینیک.	مسئول طعم ترش و تنظیم pH میوه. اسید کینیک تمرکز بالایی در هسته دارد.
۳	ترکیبات فنولی (پلی‌فنول‌ها)	انتوسیانین‌ها: (عامل رنگ قرمز/بنفش در پوست و گوشت). اسیدهای فنولی: اسید کلروژنیک، اسید نوکلروژنیک، اسید فرولیک. فلاوونوئیدها: کوئرستین، روتین، کامفرول. سایرین: تانن‌ها، پروانتوسیانیدین‌ها.	مهم‌ترین ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و زیست‌فعال آلو. نقش محافظتی در برابر استرس اکسیداتیو و التهاب دارند.
۴	کاروتنوئیدها	انواع کاروتنوئیدها (عمدتاً با ایزومرهای فرم «ترانس»).	پیگمان‌های مسئول رنگ زرد و نارنجی. پیش‌ساز ویتامین A و دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی.
۵	چربی‌ها	در گوشت میوه: مقادیر بسیار ناچیز (حاوی فیتواسترول‌هایی مانند بتا-سیتوسترول). در مغز هسته: غنی از روغن (حدود ۴۰ درصد). شامل اسید اولئیک (تک‌غیراشباع) و اسید لینولئیک (چندغیراشباع).	گوشت میوه عملاً بدون چربی است، اما هسته منبع روغنی ارزشمند با اسیدهای چرب مفید است.
۶	ویتامین‌ها	ویتامین C، ویتامین K، ویتامین E ویتامین‌های گروه B (تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین، پیریدوکسین، فولات).	ضروری برای عملکردهای فیزیولوژیکی بدن از جمله سیستم ایمنی، انعقاد خون و متابولیسم انرژی.
۷	اسیدهای آمینه آزاد	گلوتامین، آرژینین، اسپاراژین، سرین، پرولین.	واحدهای سازنده پروتئین‌ها؛ گلوتامین نقش مهمی در سلامت سلول‌های روده و ایمنی دارد.

۱-۶- فواید مصرف آلو برای سلامتی

در دنیای امروز، مصرف‌کنندگان بیش از گذشته به سلامت خود اهمیت می‌دهند و به دنبال مواد غذایی طبیعی، با حداقل فرآوری و فاقد افزودنی‌های مصنوعی هستند. در پاسخ به این نیاز، آلو نه تنها میوه‌ای است خوش‌طعم، بلکه به عنوان «ابرماده غذایی»^۱ شناخته می‌شود. این میوه در رنگ‌های متنوعی وجود دارد و گنجینه‌ای از مواد مغذی ضروری مانند ویتامین‌ها، مواد معدنی، فیبر و آنتی‌اکسیدان‌هاست.

همان‌طور که شکل ۱-۵ نشان می‌دهد، آلو بسته‌ای کامل از ترکیبات زیست‌فعال است که مصرف آن در یک رژیم غذایی متعادل می‌تواند نقش مهمی در پیشگیری از بیماری‌ها و ارتقای سلامت کلی بدن داشته باشد. این ترکیبات طیف وسیعی از اثرهای محافظتی و درمانی را برای بدن فراهم می‌کنند که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

۱. خواص آنتی‌اکسیدانی^۲:

آلو سرشار از آنتی‌اکسیدان است که به بدن در مبارزه با رادیکال‌های آزاد و کاهش استرس اکسیداتیو کمک می‌کند.

¹ Superfood

² Antioxidant

۲. ضدالتهابی^۱:

ترکیبات موجود در آلو می‌توانند به کاهش التهاب در بدن کمک کنند که این امر در پیشگیری از بسیاری از بیماری‌های مزمن مؤثر است.

۳. سلامت قلبی-عروقی^۲:

مصرف آلو به حفظ سلامت قلب و عروق کمک می‌کند. این اثر می‌تواند ناشی از فیبر، پتاسیم و آنتی‌اکسیدان‌های موجود در آن باشد.

۴. ضد دیابت^۳:

آلو دارای خواصی است که می‌تواند در مدیریت یا پیشگیری از دیابت مفید باشد (احتمالا به دلیل فیبر بالا و تأثیر بر تنظیم قند خون).

۵. سلامت روده و دستگاه گوارش^۴:

آلو به دلیل اینکه فیبر بالایی دارد برای سلامت دستگاه گوارش بسیار مفید است و به بهبود عملکرد روده کمک می‌کند.

۶. ضد پوکی استخوان^۵:

ترکیبات خاصی مانند مواد معدنی مهم از جمله پتاسیم، آهن و عنصر کمیاب بور در آلو (به‌ویژه آلو خشک) وجود دارد

¹ Anti-inflammatory

² Cardiovascular Health

³ Anti-diabetic

⁴ Gut Health

⁵ Anti-osteoporosis

فصل دوم

برداشت، حمل و جابه‌جایی آلو

۱-۲- مقدمه

میوه آلو به‌صورت تازه و خشک در بازار عرضه می‌شود که مصرف آن به‌صورت تازه در سال‌های اخیر افزایش یافته است. با این حال، آلو به‌دلیل حساسیت بالا به آسیب-دیدگی‌های فیزیکی و آلودگی‌های پس از برداشت، فسادپذیر است و کاهش ضایعات پس از برداشت یکی از چالش‌های اصلی در تولید این محصول محسوب می‌شود. زمان مناسب برداشت و شناخت دقیق شاخص‌های رسیدگی آلو اهمیت ویژه‌ای دارد و می‌تواند به حفظ کیفیت و کاهش ضایعات کمک کند.

آلو در سه گروه اصلی آمریکایی، ژاپنی و اروپایی طبقه‌بندی می‌شود که هر یک ویژگی‌های خاص خود را دارد. به‌ویژه، زمان برداشت و ویژگی‌هایی چون رنگ، سفتی بافت و میزان مواد جامد انحلال‌پذیر در آب برای تعیین رسیدگی

میوه ضروری است. انتخاب زمان برداشت صحیح بر اساس هدف مصرف، از جمله عوامل کلیدی در حفظ کیفیت و افزایش ماندگاری آلو در بازار است (آذرپژوه، ۱۳۹۶).

حمل و نقل آلو، به‌ویژه در فرآیند پس از برداشت، نیازمند توجه به عوامل فیزیولوژیکی و مکانیکی خاصی است. آلو میوه‌ای فرازگرا (کلایمکتریک) است و پس از برداشت نیز فرآیند تنفس و تولید اتیلن در آن ادامه دارد؛ بنابراین کیفیت نهایی آن بیش از هر چیز به مدیریت صحیح مرحله برداشت و زنجیره پس از برداشت وابسته است. کاهش ضایعات این محصول مستلزم تعیین دقیق زمان برداشت، جلوگیری از آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی و حفظ پیوستگی زنجیره سرد است. هرگونه اختلال در این سه بخش مستقیماً باعث کاهش سفتی بافت، افت کیفیت حسی و افزایش فساد می‌شود.

۲-۲- شاخص‌های رسیدگی

زمان برداشت میوه آلو به‌طور عمده تحت تأثیر عواملی مانند رقم میوه و شرایط آب و هوایی قرار دارد. به‌طور کلی، میوه آلو چهار ماه پس از گلدهی به مرحله رسیدگی می‌رسد، اما زمان دقیق برداشت بسته به تاریخ گلدهی و شرایط اقلیمی مناطق مختلف ممکن است متفاوت باشد (آذرپژوه، ۱۳۹۷).

این ویژگی نشان‌دهنده اهمیت بررسی دقیق شرایط محیطی و محصولی است تا از برداشت به‌موقع و با کیفیت میوه اطمینان حاصل شود. به‌علاوه، در تعیین زمان برداشت باید

هدف مصرف میوه نیز در نظر گرفته شود تا با توجه به این هدف، میزان رسیدگی آلو به طور بهینه تنظیم شود (آذرپژوه، ۱۳۷۹). زمان برداشت نباید صرفاً بر اساس ظاهر میوه تعیین شود، بلکه باید بر شاخص‌های کمی و قابل اندازه‌گیری نیز استوار باشد.

۲-۱- مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر در آب و اسیدیتة

قابل تیتراسیون

یکی از معتبرترین روش‌ها برای ارزیابی رسیدگی میوه آلو، بررسی مقدار کل مواد جامد انحلال‌پذیر و اسیدیتة قابل تیتراسیون است. طی فرآیند رسیدگی، شیرینی میوه به طور تدریجی افزایش و اسیدیتة آن کاهش می‌یابد. میزان مواد جامد انحلال‌پذیر در ارقام مختلف آلو بین $16/2$ تا $18/5$ درصد متغیر است، در حالی که اسیدیتة قابل تیتراسیون نیز یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی پذیرش میوه به شمار می‌آید. هرچه میزان اسیدیتة قابل تیتراسیون کمتر و مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر بیشتر باشد، میوه طعم و پذیرش بهتری خواهد داشت. مقدار اسیدیتة قابل تیتراسیون در آلو، که عمدتاً از اسید مالیک (اسید غالب در آلو) تشکیل شده است، بین $0/97$ تا $1/03$ درصد متغیر است. نسبت مواد جامد انحلال‌پذیر به اسیدهای آلی در ارقام مختلف آلو کشت شده در خراسان رضوی، که شاخصی برای طعم میوه شناخته می‌شود، از $20/51$ در آلو طرقله تا $41/21$ در آلو قندی

متغیر است. این شاخص‌ها به‌طور مستقیم بر انتخاب زمان مناسب برداشت تأثیرگذار هستند (آذرپژوه، ۱۳۷۹).

۲-۲-۲- رنگ و اندازه آلو

رنگ یکی از مهم‌ترین معیارهای رسیدگی میوه است که تأثیر زیادی بر پذیرش مصرف‌کنندگان و بازاریابی دارد. تغییرات رنگ در آلو به‌دلیل تجزیه کلروفیل (رنگ سبز) و هم‌زمان سنتز و تجمع رنگدانه‌هایی مانند آنتوسیانین‌ها (قرمز تا بنفش) و کاروتنوئیدها (زرد تا نارنجی) طی فرآیند رسیدگی رخ می‌دهد. به‌طور معمول، میوه‌های رسیده دارای رنگی شفاف، یکنواخت و مشخص هستند که بسته به رقم می‌تواند از زرد روشن تا قرمز و بنفش تیره متغیر باشد.

مطابق شکل ۲-۱، رنگ پوست آلو به‌تدریج از سبز به قرمز تغییر یافته است. در ارقام قرمز و بنفش، شدت رنگ پوستی با پیشرفت رسیدگی افزایش می‌یابد و حتی پس از برداشت نیز ممکن است رنگ پوست تیره‌تر شود. با این حال، رنگ پوست همیشه شاخص قطعی رسیدگی نیست؛ برخی ارقام ممکن است مدت‌ها پیش از رسیدگی کامل به رنگ بنفش تیره درآیند، در حالی که بافت گوشت هنوز سفت و نارس است. در این موارد، سفتی گوشت میوه معیار دقیق‌تری برای تعیین زمان برداشت محسوب می‌شود.



شکل ۲-۱- تغییر رنگ پوست در آلوهای بنفش

بیشتر ارقام آلو قابلیت رسیدگی سریع پس از برداشت را دارند؛ بنابراین معمولاً زمانی برداشت می‌شوند که هنوز بخشی از پوست دارای رنگ سبز یا زرد روشن باشد، به‌ویژه اگر زمان انتقال تا بازار طولانی باشد.

اندازه میوه نیز با روند رشد و رسیدگی ارتباط مستقیم دارد. طی رسیدگی، افزایش اندازه در نتیجه تقسیم‌شدن سلول‌ها و بزرگ‌شدن آنها رخ می‌دهد و هم‌زمان با آن، بافت میوه نرم‌تر و رنگ آن یکنواخت‌تر می‌شود. به‌طور کلی، ترکیب شاخص‌های رنگ، سفتی بافت و اندازه میوه، بهترین معیار برای تعیین مرحله مناسب برداشت و تضمین کیفیت نهایی آلو در بازار مصرف است.

۲-۳- بافت میوه

سفتی بافت میوه آلو یکی از ویژگی‌های اساسی برای ارزیابی کیفیت، قابلیت نگهداری و مرحله رسیدگی آن است که به‌ویژه برای تازه‌خوری اهمیت زیادی دارد. میوه مناسب مصرف‌کردن باید در برابر فشار ملایم انگشت اندکی مقاومت نشان دهد؛ به این معنا که کاملاً رسیده باشد اما بیش از حد

نرم و شل نشده باشد. میوه‌های بسیار سفت معمولاً نارس‌اند و از نظر طعم و عطر کامل نیستند، در حالی که میوه‌های بیش از حد نرم مستعد آسیب‌دیدگی مکانیکی، فساد سریع و کاهش عمر انباری هستند.

بر اساس گزارش‌ها، ارقام مختلف آلو در مرحله آمادگی مصرف معمولاً سفتی بافتی در محدوده ۱۰ تا ۱۷ نیوتن دارند (آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲). کاهش تدریجی سفتی طی فرآیند رسیدگی عمدتاً ناشی از تجزیه پکتین‌ها و دیگر پلی‌ساکاریدهای دیواره سلولی توسط آنزیم‌هایی مانند پکتین‌متیل‌استراز و پلی‌گالاکتوروناز است که منجر به نرم‌شدن بافت می‌شود.

سفتی بافت آلو معمولاً با استفاده از دستگاه فشارسنج میوه (پنترومتر) اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۲-۲). این دستگاه دارای نوک فلزی ۷ میلی‌متری است که درون گوشت میوه آلو فرو می‌رود و میزان نیروی لازم برای نفوذ را بر حسب نیوتن ثبت می‌کند. برای اندازه‌گیری دقیق، ابتدا بخش کوچکی از پوست میوه برداشته می‌شود تا نوک دستگاه مستقیماً وارد گوشت گردد. پس از آن، نوک دستگاه تا خط مشخص شده در مدت حدود یک ثانیه در بافت فرو برده می‌شود. نفوذ سریع‌تر از این زمان موجب ثبت عدد بالاتر از مقدار واقعی، و نفوذ کندتر باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری خواهد شد.



شکل ۲-۲- نحوه اندازه‌گیری سفتی بافت آلو با استفاده از دستگاه پنترومتر

۳-۲- زمان و روش‌های برداشت آلو

زمان و شرایط برداشت آلو از عوامل مهمی است که تأثیر زیادی بر کیفیت و ماندگاری میوه دارد. بهترین زمان برای برداشت آلو در ساعات خنک صبح است تا از آسیب‌های ناشی از گرمای روز جلوگیری شود. آلو به دو روش عمده دستی و ماشینی برداشت می‌شود (فاول^۱ و همکاران، ۲۰۲۰):

الف- برداشت دستی: در این روش، معمولاً با چرخاندن میوه در دست و کشیدن آن به سمت خود، میوه برداشت می‌شود. برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی میوه و تماس مستقیم با پوست آن، استفاده از دستکش توصیه می‌شود.

ب- استفاده از میوه‌چین دسته تلسکوپی:

این ابزار که به طور ویژه برای برداشت میوه از شاخه‌های بلند درختان بدون نیاز به نردبان طراحی شده است، از یک

¹ Fawole

مکانیسم برش دولبه تشکیل می‌شود که شامل یک تیغه ثابت (متصل به انتهای دسته) و یک تیغه متحرک (متصل به یک فنر) است. در حین برداشت، کاربر با قرار دادن ساقه میوه بین این دو تیغه و کشیدن یک اهرم یا طناب، تیغه متحرک را بر خلاف جهت فنر فعال می‌کند و باعث می‌شود تا تیغه متحرک به سمت تیغه ثابت حرکت کند و ساقه میوه را ببرد. پس از برش، میوه به آرامی درون کیسه یا جمع‌کننده متصل به انتهای ابزار می‌افتد که از برخورد آن با زمین و ایجاد کبودی جلوگیری می‌کند. قابلیت تلسکوپی بودن دسته این ابزار امکان تنظیم طول آن را برای دسترسی به ارتفاعات مختلف فراهم می‌سازد و استفاده از آن به کاهش چشمگیر خطرهای ناشی از بالا رفتن از نردبان (مانند سقوط و آسیب دیدگی) و همچنین کاهش خستگی کارگر کمک می‌کند (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳- نمای شماتیک میوه‌چین دسته تلسکوپی: (۱) تیغه ثابت، (۲) تیغه متحرک، (۳) فنر برگشت، (۴) اهرم یا طناب فعال‌ساز، (۵) دسته تلسکوپی، (۶) کیسه یا جمع‌کننده میوه

ج- دستگاه‌های ارتعاشی: این دستگاه‌ها با سرعت بالا لرزش ایجاد می‌کنند و برای برداشت آلو به‌ویژه از درختان بلند استفاده می‌شوند. مدت زمان استفاده از این دستگاه‌ها باید محدود به ۳ تا ۵ دقیقه باشد و جمع‌آوری میوه باید با دقت باشد.

۲-۴- ظرف‌های جمع‌آوری آلو در باغ

برای جمع‌آوری آلو استفاده از ظرف‌های مناسب به‌منظور نگهداری میوه اهمیت ویژه‌ای دارد. ظرف باید فاقد لبه‌های تیز باشد تا از آسیب‌دیدگی میوه جلوگیری شود. میوه‌ها باید در جعبه‌های پلاستیکی با عمق کم چیده و در سایه نگهداری

شوند. جعبه‌های پلاستیکی مناسب باید از جنس پلی‌پروپیلن یا پلی‌اتیلن با دانسیته پایین ساخته شوند تا از افت وزنی محصول طی حمل‌ونقل جلوگیری شود (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- استفاده از جعبه‌های پلاستیکی با عمق کم از جنس پلی‌پروپیلن یا پلی‌اتیلن برای محصول آلو

۲-۵- زنجیره حمل‌ونقل میوه آلو

۲-۵-۱- اصول بهداشتی در حمل‌ونقل میوه آلو

رعایت اصول بهداشتی در حمل‌ونقل میوه آلو یکی از ارکان اساسی در حفظ کیفیت، ایمنی غذایی و کاهش ضایعات پس از برداشت است و اهمیت ویژه‌ای دارد. آلو به دلیل بافت نرم، رطوبت بالا و آسیب‌پذیری مکانیکی، محیطی مناسب برای رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌های فسادزا فراهم می‌آورد. در نتیجه، هرگونه آلودگی اولیه در حمل‌ونقل می‌تواند موجب فساد سریع و گسترده محصول شود (فاول و همکاران، ۲۰۲۰).

از منظر بهداشت فیزیکی و میکروبی، تمامی وسایل نقلیه مورد استفاده در حمل آلو، از جمله کامیون‌های یخچال‌دار، کانتینرهای دریایی یا محفظه‌های هوایی، باید پیش از بارگیری به‌طور کامل شست‌وشو و ضدعفونی شوند. وجود بقایای محصولات قبلی، رطوبت یا آلودگی‌های شیمیایی در فضای باز می‌تواند منبع اصلی آلودگی ثانویه باشد (فاول و همکاران، ۲۰۲۰). استفاده از مواد شوینده و ضدعفونی‌کننده‌های مجاز و سازگار با استانداردهای ایمنی غذایی در این مرحله ضروری است. بسته‌بندی نقش کلیدی در حفظ بهداشت دارد. جعبه‌ها و ظرف‌های مورد استفاده باید تمیز، سالم و بدون ترک‌خوردگی باشند و ترجیحاً از مواد قابل شست‌وشو یا یک‌بار مصرف استاندارد ساخته شوند. جلوگیری از تماس مستقیم آلو با کف وسیله نقلیه یا سطوح آلوده، از اصول بهداشتی اساسی در حمل‌ونقل به‌شمار می‌آید. اختلاط آلو با دیگر محصولات کشاورزی، به‌ویژه محصولات با بار میکروبی بالا یا تولیدکننده شدید اتیلن، می‌تواند خطر آلودگی و افت کیفیت را افزایش دهد.

۲-۵-۲- بیماری‌های پس از برداشت

از نظر بیماری‌های پس از برداشت، پوسیدگی قهوه‌ای ناشی از مونیلیا فروکتیکولا^۱ مهم‌ترین بیماری آلو محسوب

^۱ *Monilinia fructicola*

می‌شود (شکل ۲-۵). آلودگی معمولاً از دوره گلدهی آغاز و در انبار تشدید می‌شود. رعایت بهداشت باغ، حذف منابع آلودگی، کاربرد قارچ‌کش حداقل سه تا پنج روز پیش از برداشت و سردسازی سریع پس از برداشت از مهم‌ترین راهکارهای کنترلی هستند. کپک خاکستری ناشی از *Botrytis cinerea*^۱ در شرایط مرطوب و در صورت وجود زخم مکانیکی توسعه می‌یابد و مدیریت دما و کاهش آسیب‌دیدگی مکانیکی در کنترل آن مؤثر است. پوسیدگی ناشی از *Rhizopus stolonifer*^۲ عمدتاً در میوه‌های رسیده در دمای ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس دیده می‌شود و نگهداری زیر ۵ درجه سلسیوس به‌طور مؤثری آن را مهار می‌کند.



شکل ۲-۵- پوسیدگی قهوه‌ای ناشی از *مونیلیتیا فروکتیکولا* (سمت راست) و کپک خاکستری ناشی از *بوتریتیس سینرا* (سمت چپ)

۲-۵-۳- حفظ دمای بهینه و تداوم زنجیره سرد

مهم‌ترین عامل مؤثر در نگهداری آلو دما است. دمای بهینه نگهداری و حمل بین ۱- تا صفر درجه سلسیوس

^۱ *Botrytis cinerea*

^۲ *Rhizopus stolonifer*

توصیه می‌شود. نقطه انجماد بسته به مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر متغیر است، بنابراین باید از کاهش بیش از حد دما جلوگیری شود. رطوبت نسبی مناسب ۹۰ تا ۹۵ درصد است و جریان هوای حدود ۰/۰۲۴ مترمکعب در ثانیه برای حفظ یکنواختی دما پیشنهاد می‌شود. بیشترین عمر بازارپسندی زمانی حاصل می‌شود که میوه بلافاصله پس از برداشت به دمای نزدیک صفر درجه سلسیوس منتقل شود. میزان تنفس آلو به شدت وابسته به دماست. در صفر درجه سلسیوس میزان تولید دی‌اکسیدکربن حدود ۱ تا ۱/۵ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم در ساعت است، در حالی که این مقدار در ۱۰ درجه به ۴/۲ و در ۲۰ درجه به ۸/۲ میلی‌لیتر به ازای هر کیلوگرم در ساعت می‌رسد. این افزایش نمایمی نشان می‌دهد که حتی افزایش کوتاه‌مدت دما می‌تواند تولید گرما و سرعت پیری میوه را چند برابر کند. به همین دلیل شکست زنجیره سرد یکی از مهم‌ترین عوامل کاهش ماندگاری محسوب می‌شود.

تولید اتیلن نیز با افزایش دما به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در صفر درجه سلسیوس، تولید اتیلن بسیار پایین و در محدوده کمتر از ۰/۰۱ تا ۵ میکرولیتر در کیلوگرم در ساعت است، اما در ۲۰ درجه سلسیوس می‌تواند به ۲۰۰ میکرولیتر در کیلوگرم در ساعت برسد. مقادیر پایین‌تر مربوط به میوه بالغ اما نارس و مقادیر بالاتر مربوط به میوه رسیده

است. این موضوع اهمیت کنترل دما و تهویه را در حمل‌ونقل‌های طولانی نشان می‌دهد.

در شرایط نگهداری نزدیک صفر درجه سلسیوس، ماندگاری آلو می‌تواند بین یک تا هشت هفته متغیر باشد.

کمترین عمر انباری زمانی مشاهده می‌شود که میوه در محدوده ۲ تا ۸ درجه سلسیوس نگهداری شود؛ این بازه به‌عنوان دامنه دمایی بحرانی یا «محدوده کشنده» شناخته می‌شود.

تجزیه داخلی یا آسیب‌رسانی یکی از مهم‌ترین اختلالات فیزیولوژیکی آلوست. این عارضه با نشانه‌هایی مانند قهوه‌ای شدن داخلی، شفاف شدن گوشت، آردی شدن بافت، وجود لکه‌های قرمز یا بنفش‌رنگ در بافت داخلی، عدم رسیدگی طبیعی و کاهش طعم مشخص می‌شود. این نشانه‌ها معمولاً پس از خروج میوه از سردخانه و در زمان رسیدگی ظاهر می‌شوند و بنابراین اغلب توسط مصرف‌کننده نهایی مشاهده می‌گردند.

آلو میوه‌ای است نیمه‌گرمسیری و به آسیب‌دیدگی سرمای حساس است. آسیب‌دیدگی سرمای اختلالی فیزیولوژیکی است که در دماهای بالاتر از نقطه انجماد (یعنی بالای صفر درجه سلسیوس) ولی کمتر از ۱۰ تا ۱۲/۵ درجه سلسیوس رخ می‌دهد و با آسیب‌دیدگی ناشی از یخزدگی تفاوت دارد. نشانه‌های این آسیب‌دیدگی شامل گودافتادگی سطح میوه،

تغییر رنگ، قهوه‌ای شدن گوشت، تخریب بافت داخلی و ایجاد طعم‌های نامطلوب است. میوه‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری مانند آلو به طور ویژه به این دماها حساس هستند.

پیشگیری از آسیب‌دیدگی سرمای مستلزم نگهداری محصول در دمای نزدیک صفر (صفر تا ۱ درجه سلسیوس) و پرهیز از نگهداری طولانی مدت در محدوده خطرناک ۲ تا ۸ درجه سلسیوس است (شکل ۲-۶). نگهداری در محدوده ۲ تا ۸ درجه سلسیوس، به دلیل ایجاد تنش سرمای زیرآستانه، می‌تواند پس از چند هفته منجر به بروز نشانه‌های کیفی نامطلوب شود. در مقابل، نگهداری در دمای نزدیک صفر درجه سلسیوس (اما نه زیر صفر درجه سلسیوس) ضمن جلوگیری از یخزدگی، از بروز آسیب‌دیدگی سرمای نیز جلوگیری می‌کند. بنابراین، تنظیم دقیق و پایش مداوم دما و کنترل آن طی حمل‌ونقل، با استفاده از حسگرها و ثبت‌کننده‌های دمایی، از الزام‌های فنی حمل صحیح آلو محسوب می‌شود (لی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

^۱ Li



شکل ۲-۶- آسیب‌دیدگی ناشی از سرما در میوه آلو

۲-۵-۴- مدیریت گاز اتیلن و نقش مواد جاذب اتیلن

اتیلن هورمون گیاهی مؤثر در فرآیند رسیدگی است و نقش کلیدی در کاهش عمر ماندگاری میوه‌های فرازگرا (کلایمکتریک)، از جمله آلو، دارد. بیشتر آلوهایی که در مرحله رسیدگی کامل برداشت می‌شوند بدون نیاز به تیمار خارجی اتیلن به‌طور طبیعی می‌رسند. کاربرد اتیلن خارجی در مرحله برداشت زودتر، تنها یکنواختی در رسیدگی را افزایش می‌دهد و الزاماً سرعت رسیدگی را بالا نمی‌برد. با این حال، برخی ارقام دیررس برای رسیدگی یکنواخت نیاز به تیمار ۱۰۰ قسمت در میلیون اتیلن به مدت ۱ تا ۳ روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس دارند.

مدیریت غلظت اتیلن در حمل‌ونقل میوه آلو اهمیت ویژه‌ای دارد. این مدیریت از طریق تهویه مناسب، جداسازی آلو از محصولات پراتیلن‌زا و استفاده از فناوری‌های کنترل اتیلن

باید اعمال شود. یکی از مؤثرترین روش‌ها در این زمینه، استفاده از مواد جاذب اتیلن در بسته‌بندی یا فضای بار است. این مواد معمولاً بر پایه پرمنگنات پتاسیم یا ترکیبات معدنی فعال طراحی می‌شوند که با جذب کردن یا اکسیداسیون اتیلن، غلظت این گاز را کاهش می‌دهند و فرآیند رسیدگی را کند می‌کنند (فاول و همکاران، ۲۰۲۰).

کاربرد جاذب‌های اتیلن به‌ویژه در حمل‌ونقل دریایی و هوایی که فضا بسته و زمان حمل طولانی‌تر است، نقش مؤثری در حفظ سفتی بافت، یکنواختی رنگ و کیفیت حسی آلو دارد. مطالعات نشان داده‌اند که استفاده صحیح از این مواد می‌تواند چندین روز به عمر ماندگاری میوه‌های فرازگرا (کلایمکتریک) بیفزاید و ضایعات پس از برداشت را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد (آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲). با این حال، استفاده از جاذب‌های اتیلن باید برابر راهنمایی‌های فنی و بهداشتی پیش رود تا از تماس مستقیم مواد شیمیایی با میوه جلوگیری و ایمنی غذایی محصول حفظ شود.

۲-۵-۵- پیشگیری از آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی و

فیزیکی در حمل‌ونقل میوه آلو

آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی یکی از شایع‌ترین و تأثیرگذارترین نوع خسارات در حمل‌ونقل میوه آلو به‌شمار می‌آیند. این آسیب‌دیدگی‌ها معمولاً ناشی از ضربه، فشار،

لرزش و چیدمان نامناسب محموله‌ها در وسایل نقلیه هستند. حتی آسیب‌دیدگی‌های ظاهراً جزئی می‌توانند موجب تخریب دیواره‌های سلولی، افزایش نشت شیرۀ سلولی و فراهم شدن شرایط مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌های فسادزا شوند که به‌طور مستقیم بر کیفیت محصول تأثیر می‌گذارد (آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲). بنابراین، پیشگیری از این آسیب‌دیدگی‌ها یکی از ارکان حفظ کیفیت میوه آلو در فرآیند حمل‌ونقل است و اهمیت ویژه‌ای دارد.

۲-۵-۱- بسته‌بندی مناسب برای پیشگیری از آسیب-دیدگی‌های مکانیکی

برابر شکل ۲-۷، جعبه‌ها و ظرف‌های بسته‌بندی میوه آلو باید از مواد مقاوم و با قابلیت جذب ضربه ساخته شوند تا از آسیب‌دیدگی میوه‌ها در حین جابه‌جایی و حمل‌ونقل جلوگیری شود. استفاده از جعبه‌های با طراحی مناسب که دارای جداکننده‌های داخلی باشند می‌تواند تماس مستقیم میوه‌ها را با یکدیگر کاهش دهند و از ایجاد نقاط فشار جلوگیری کنند (فاول و همکاران، ۲۰۲۰). این اقدامات باعث می‌شود تا میوه‌ها در برابر ضربه و لرزش مقاوم‌تر شوند و ضایعات ناشی از آسیب‌دیدگی‌های مکانیکی کاهش یابد.



شکل ۲-۷- بسته‌بندی مناسب برای پیشگیری از آسیب-
دیدگی‌های مکانیکی میوهٔ آلو

استفاده از اتمسفر کنترل شده در جابه‌جایی‌های طولانی می‌تواند به حفظ سفتی بافت و رنگ زمینهٔ پوست کمک کند. شرایط ۱ تا ۲ درصد اکسیژن همراه با ۳ تا ۵ درصد دی‌اکسیدکربن معمولاً تأثیر قابل توجهی در کاهش پوسیدگی نشان نداده است (شکل ۲-۸)، اما ترکیب ۶ درصد اکسیژن و ۱۷ درصد دی‌اکسیدکربن در برخی ارقام موجب کاهش عارضه تجزیهٔ داخلی در حمل‌ونقل می‌شود. با این حال، اثربخشی این شرایط به رقم، شرایط پیش از برداشت و مدت جابه‌جایی بستگی دارد.



هوآ یک در صد اکسیژن + ۵ در صد دی اکسید کربن

بعد از گذشت ۵ هفته در ۱۰ درجه سلسیوس

شکل ۲-۸- استفاده از اتمسفر کنترل شده (۱ درصد اکسیژن همراه با ۵ درصد دی اکسید کربن) در مقایسه با استفاده از هوآ در دمای ۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۵ هفته

بر اساس شکل ۲-۹، مدیریت موفق آلو پس از برداشت بر پایه چهار اصل استوار است: برداشت در رسیدگی مناسب، پیش سردسازی سریع، نگهداری در دمای نزدیک صفر درجه سلسیوس با رطوبت نسبی بالا، و جلوگیری از آسیب دیدگی مکانیکی و آلودگی. کنترل همزمان دما، تنفس و اتیلن مهم ترین ابزار افزایش عمر بازارپسندی این محصول است و بی توجهی به هر یک از این عوامل، ضایعات اقتصادی قابل توجهی در زنجیره تأمین ایجاد خواهد کرد.

برداشت، حمل و جابه جایی

دما و تنفس



-1° تا 0°C
1.5 → 8.2
ml CO₂ /kg-hr

تولید اتیلن



0.01 → 200 μl/kg-hr

تولید اتیلن



اتمسفر کنترل شده



1% CO₂ / 17% CO₂

تجزیه رافلی



آسیب سرمای

بیماری های پس برداشت



پوسیدگی ریزوپوس، کپک خاکستری، پوسیدگی قهوه ای

توصیه های مدیریتی

- ✓ برداشت در رسیدگی مناسب
- ✓ پیش سردسازی سریع
- ✓ نگهداری در نزدیک دمای صفر
- ✓ پرهیز از آسیب مکانیکی



شکل ۲-۹- جمع بندی مدیریت موفق آلو پس از برداشت

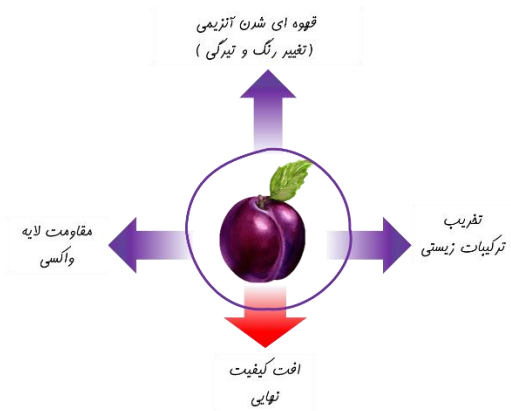
فصل سوم

روش‌های خشک کردن آلو

۳-۱- مقدمه

خشک کردن آلو یکی از قدیمی‌ترین و کارآمدترین روش‌های نگهداری است و در صنایع غذایی نقشی حیاتی در مدیریت ضایعات پس از برداشت و تولید محصولات با ارزش افزوده دارد. با وجود مزایای اقتصادی و ماندگاری بالای محصول خشک، شواهد پژوهشی نشان می‌دهد که خشک کردن حرارتی متداول با چالش‌های جدی کیفی همراه است. اعمال حرارت طولانی مدت و تماس با اکسیژن موجب بروز واکنش‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیرآنزیمی، کاهش روشنایی رنگ و افزایش شاخص قهوه‌ای شدن می‌شود (شکل ۳-۱). علاوه بر این، دماهای بالای خشک کردن سبب فروپاشی ساختار بافت، چروکیدگی شدید و کاهش قابلیت جذب مجدد آب در مرحله بازآب‌گیری می‌گردد (فاول و همکاران، ۲۰۲۰). از منظر تغذیه‌ای نیز کاهش معنی‌دار

ترکیبات زیست‌فعال گزارش شده است، به گونه‌ای که میزان اسید اسکوربیک در نمونه‌های خشک‌شده با هوای گرم به مراتب کمتر است تا در نمونه‌های خشک‌شده به روش انجمادی و کاهش آنتوسیانین‌ها و ویتامین C در خشک کردن همرفتی تأیید شده است. از سوی دیگر، وجود لایهٔ واکسی با نفوذپذیری پایین نسبت به رطوبت در پوست آلو، مقاومت بالایی در برابر انتقال جرم ایجاد می‌کند و فرآیند خشک کردن را کند و انرژی بر خواهد کرد به طوری که خشک کردن متداول آلو به دلیل همین ویژگی، فرآیندی زمان‌بر و انرژی‌بر معرفی شده است (میچالسکا^۱ و همکاران، ۲۰۱۶).



شکل ۳-۱ - تغییرات نامطلوب آلو در حین خشک کردن آلو

¹ Michalska

۳-۲- اهمیت و هدف‌های پیش‌تیمار در خشک‌کردن

در این راستا، به‌کارگیری «پیش‌تیمار» به‌عنوان مرحله‌ای ضروری پیش از خشک‌کردن، راهکاری مؤثر برای غلبه بر محدودیت‌های گفته شده محسوب می‌شود (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- پیش تیمارهای میوه‌الو پیش از خشک کردن
پیش‌تیمار محصولات کشاورزی، به‌ویژه آلو، نقشی اساسی در بهبود سینتیک انتقال جرم، حفظ کیفیت نهایی و کاهش مصرف انرژی دارد. مطالعات نشان داده‌اند که پیش‌تیمار می‌تواند زمان خشک‌کردن را به‌طور چشمگیری کاهش دهد؛ برای مثال، تیمار قلیایی زمان خشک‌کردن را از ۹۷ ساعت به ۶۸ ساعت کاهش می‌دهد (میچالسکا و همکاران، ۲۰۱۶). پیش‌تیمار اسمزی همراه با فراصوت موجب افزایش ضریب نفوذ مؤثر رطوبت و کاهش زمان فرآیند می‌شود و تیمارهای اسیدی و سولفیتی نیز افزایش

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت را در مقابل نمونه شاهد نشان داده‌اند. مکانیسم اصلی این بهبود، تخریب یا تضعیف لایه واکسی کوتیکول و افزایش نفوذپذیری بافت گزارش شده است.

هدف‌های اصلی اعمال پیش‌تیمار عبارت‌اند از: غیرفعال‌سازی آنزیم‌های مسبب قهوه‌ای‌شدن، کاهش بار میکروبی اولیه، اصلاح ساختار بافتی برای تسهیل خروج رطوبت، افزایش کارایی و تسریع در فرآیند خشک‌کردن، و کاهش مصرف انرژی.

روش‌های پیش‌تیمار را می‌توان در سه دسته کلی طبقه‌بندی کرد. انتخاب روش مناسب پیش‌تیمار باید بر اساس ویژگی رقم، نوع محصول نهایی، محدودیت‌های فرآیندی، ملاحظات اقتصادی و انتظارات کیفی مصرف‌کننده باشد.

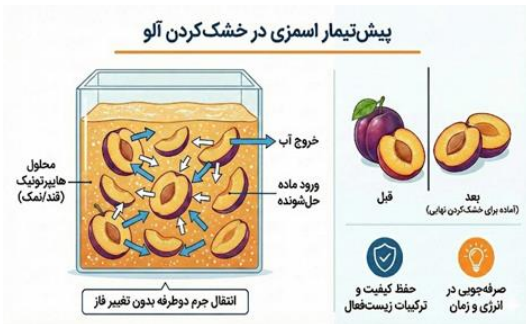
۳-۲-۱- پیش‌تیمارهای شیمیایی

پیش‌تیمارهای شیمیایی در فرآوری میوه آلو شامل استفاده از محلول‌های قلیایی، اسیدی، سولفیتی و اسمزی است که با هدف افزایش نفوذپذیری پوست، بهبود انتقال جرم و تسریع خشک‌کردن به کار می‌روند. از آنجا که آلو دارای پوست نسبتاً ضخیم با لایه واکسی آب‌گریز است، این تیمارها نقش مهمی در کاهش مقاومت سطحی در برابر خروج رطوبت دارند. مطالعات نشان داده‌اند که پیش‌تیمار قلیایی می‌تواند کاهش چشمگیری در زمان خشک‌کردن ایجاد کند

و پیش‌تیمار اسمزی نیز حدود ۲۰ درصد زمان فرآیند را کاهش می‌دهد. با وجود کارایی مناسب این روش‌ها، احتمال باقی ماندن بقایای شیمیایی و ملاحظات ایمنی غذایی باید در طراحی فرآیند مدنظر قرار گیرد (آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲).

۳-۲-۱-۱- پیش‌تیمار اسمزی

خشک کردن مستقیم حرارتی آلو ممکن است به افت کیفیت حسی، تغییر رنگ و کاهش ارزش تغذیه‌ای بینجامد از این رو پیش‌تیمار اسمزی به‌عنوان روشی ملایم و غیرتبخیری توسعه یافته است. در این روش، آلو در محلول‌های هایپرتونیک مانند ساکارز با غلظت ۶۰ تا ۷۰ درجه بریکس، نمک یا پلی‌ال‌ها غوطه‌ور می‌شود. اختلاف فشار اسمزی موجب انتقال دوطرفه جرم می‌گردد، به‌طوری‌که آب از بافت میوه خارج می‌شود و بخشی از مواد محلول به داخل آن نفوذ می‌کند (شکل ۳-۳) (آذرپژوه و شرایعی، ۱۳۹۴).



شکل ۳-۳- پیش‌تیمار اسمزی آلو

این روش قادر است بین ۱۰ تا ۷۰ درصد رطوبت اولیه آلو را بدون تغییر فاز حذف کند، زمان خشک کردن نهایی را کاهش دهد و در مصرف انرژی صرفه‌جویی کند. گزارش‌ها کاهش ۱۲۰ تا ۲۴۰ دقیقه‌ای زمان خشک کردن همرفتی و حدود ۲۰ درصد کاهش در کل زمان فرآیند را نشان داده‌اند. این تیمار موجب بهبود بافت، رنگ، طعم و حفظ ترکیبات فنولی و افزایش قابلیت بازآب‌گیری آلو خشک می‌شود. بررسی‌های سینتیکی نشان می‌دهد بیشترین انتقال جرم در سه ساعت نخست فرآیند رخ می‌دهد.

کارایی پیش‌تیمار اسمزی به کنترل دقیق پارامترهای عملیاتی وابسته است (کوچکی و آذرپژوه^۱، ۲۰۱۰). غلظت محلول اسمزی به‌عنوان نیروی محرک اصلی باید در محدوده بهینه تنظیم شود، زیرا غلظت‌های بالاتر از ۶۰ تا ۶۵ درصد ساکارز با افزایش ویسکوزیته می‌توانند انتقال جرم را محدود کنند. نوع ماده اسمزی (ساکارز، گلوکز، نمک، گلیسرول یا سوربیتول) بر سرعت نفوذ و ویژگی‌های حسی محصول اثرگذار است. نسبت جرم محلول به آلو باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که از رقیق شدن سریع محلول جلوگیری کند. نسبت‌های بالا مانند ۱:۲۰ از نظر فنی مناسب‌ترند. افزایش دما با کاهش ویسکوزیته و افزایش نفوذپذیری بافت، سرعت انتقال جرم را بالا می‌برد، اما دماهای بیش از ۵۰-۶۰ درجه سلسیوس

¹ Koocheki & Azarpazhooh

ممکن است موجب آسیب‌دیدگی حرارتی شوند. هم‌زدن یکنواخت نیز با کاهش ضخامت لایه مرزی اطراف میوه، انتقال جرم را تسهیل می‌کند (آذرپژوه، ۱۳۸۶).

۳-۲-۱-۲- پیش تیمار قلیایی

پیش تیمار قلیایی به‌طور ویژه برای آلو کاربرد دارد و دلیل آن وجود لایهٔ مومی سطحی است. پوست آلو با لایه‌ای آب‌گریز پوشیده شده که نفوذپذیری کمی نسبت به رطوبت دارد و عامل اصلی کندی خشک کردن محسوب می‌شود. در این روش، آلو برای مدت کوتاهی در محلول‌های قلیایی مانند هیدروکسید سدیم یا کربنات پتاسیم در دمای حدود ۶۰ درجه سلسیوس غوطه‌ور می‌شود. این تیمار موجب تخریب کوتیکول و تضعیف یا حل شدن لایهٔ واکسی می‌شود و با ایجاد تغییرات میکروسکوپی در سطح پوست و دستریفیکاسیون پکتین‌های دیوارهٔ سلولی، نفوذپذیری را افزایش می‌دهد (آذرپژوه^۱ و همکاران، ۱۴۰۲).

نتایج کمی در پژوهش‌های آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲ نشان داده‌اند که استفاده از محلول ۱/۵ درصد هیدروکسید پتاسیم می‌تواند زمان خشک کردن آلو را از ۹۷ ساعت به حدود ۶۸ ساعت کاهش دهد و حتی غلظت ۱ درصد نیز موجب تسریع معنی‌دار خشک کردن در دماهای پایین تا

¹ Azarpazhooh

متوسط می‌شود. مزیت اصلی این روش افزایش سرعت نرخ خروج آب و یکنواختی فرآیند است، اما کنترل دقیق غلظت و زمان تماس برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی بافتی و نرم‌شدن بیش از حد ضروری است.

۳-۲-۱-۳- پیش‌تیمار با محلول‌های سولفیتی

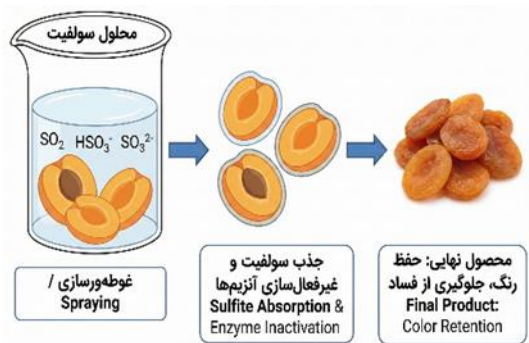
سولفیت‌کردن یکی از روش‌های رایج برای حفظ کیفیت آلو در خشک‌کردن و نگهداری است. هدف‌های اصلی آن شامل مهار قهوه‌ای‌شدن آنزیمی و غیرآنزیمی، کنترل رشد میکروبی، و حفظ رنگ طبیعی محصول است. غوطه‌ورسازی آلو در محلول‌هایی مانند سدیم متابی‌سولفیت می‌تواند به کاهش بار میکروبی، از جمله باکتری‌های بیماری‌زا مانند *اشریشیا کلی*^۱، *سالمونلا*^۲ و *لیستریا*^۳ کمک کند. پس از جذب دی‌اکسید گوگرد توسط بافت آلو، این ترکیب به یون بی‌سولفیت تبدیل می‌شود و با واکنش با کوئینون‌ها و کاهش اکسیژن بافت، آنزیم پلی‌فنول‌اکسیداز را مهار و از قهوه‌ای‌شدن جلوگیری می‌کند (شکل ۳-۴). سولفیت‌ها همچنین خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارند و از نمک‌های سولفیتی مانند متابی‌سولفیت پتاسیم، متابی‌سولفیت سدیم و سدیم هیدروژن سولفیت سدیم امکان کنترل دقیق‌تری نسبت به گاز

¹ *Escherichia coli*

² *Salmonella*

³ *Listeria*

دی اکسید گوگرد فراهم می‌کنند. میزان جذب سولفیت به غلظت محلول، مدت زمان غوطه‌وری و pH بستگی دارد. با وجود اثربخشی بالا، احتمال ایجاد طعم گوگردی، باقی‌ماندن بقایا و بروز حساسیت در افراد مستعد از محدودیت‌های این روش است و در بسیاری از کشورها استفاده از آن با محدودیت قانونی و الزام برچسب‌گذاری بیش از ۱۰ ppm همراه است (آذرپژوه و همکاران، ۲۰۲۴).



شکل ۳-۴- پیش تیمار با محلول‌های سولفیتی

۳-۲-۱-۴- پیش تیمار اسیدی

هدف از پیش تیمار اسیدی در آلو مهار قهوه‌ای شدن آنزیمی و تثبیت رنگ است. فعالیت آنزیم پلی فنول اکسیداز در pH حدود ۶ تا ۷ بیشینه است و کاهش pH به حدود ۳ فعالیت آن را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد. استفاده از اسید آسکوربیک می‌تواند سرعت خشک کردن را نسبت به نمونه شاهد افزایش دهد، در حالی که اسید سیتریک به تنهایی

در برخی موارد تأثیر قابل توجهی نشان نداده است. ترکیب این دو اسید در مطالعات مختلف مهار ۹۰ تا ۱۰۰ درصدی آنزیم را گزارش کرده است.

اسید آسکوربیک با خاصیت احیاکنندگی خود، کوئینون‌های قهوه‌ای‌شونده را به ترکیبات بی‌رنگ تبدیل می‌کند، در حالی که اسید سیتریک علاوه بر کاهش pH، با خاصیت کلاته‌کنندگی یون‌های فلزی کاتالیزور را غیرفعال می‌سازد. با این حال، احتمال از دست رفتن ترکیبات انحلال در آب و تجزیه برخی مواد حساس در محیط اسیدی وجود دارد؛ بنابراین نوع اسید، غلظت و شرایط عملیاتی باید متناسب با رقم آلو و کیفیت هدف انتخاب شود.

۳-۲-۲- پیش تیمارهای فیزیکی

۳-۲-۲-۱- پیش تیمارهای حرارتی (سنتی و نوین)

منظور از بلانچینگ با آب داغ یا بخار در آلو غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها و کاهش بار میکروبی است. این روش می‌تواند زمان خشک‌کردن را کاهش دهد، اما در این روش احتمال افت برخی ترکیبات حساس وجود دارد. فناوری‌های نوین مانند گرمایش اهمی و بخار فوق‌گرم به دلیل گرمایش سریع و یکنواخت، حفظ بهتری از اسید آسکوربیک، ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌های موجود در آلو نشان داده‌اند (آذریپژوه و همکاران، ۱۴۰۲).

در روش بلانچینگ با آب گرم، آلوها برای مدتی مشخص در آب با دمای بالا غوطه‌ور می‌شوند. این تیمار از طریق افزایش نفوذپذیری غشاهای سلولی، نرم‌شدن بافت و اصلاح سطح پوست از جمله تضعیف یا حذف نسبی لایه‌های مومی طبیعی، مقاومت در برابر خروج رطوبت را کاهش و سرعت انتقال جرم را افزایش می‌دهد (آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲). سادگی تجهیزات، هزینه‌ی پایین و قابلیت اجرا در مقیاس صنعتی از مهم‌ترین مزایای این روش است، هرچند مصرف بالای آب و تولید پساب از چالش‌های زیست‌محیطی آن به شمار می‌رود.

بلانچینگ با بخار جایگزینی برای روش غوطه‌وری در آب است تا ضمن دستیابی به غیرفعال‌سازی مؤثر آنزیم‌ها، اتلاف ترکیبات محلول در آب و حجم پساب کاهش یابد. به دلیل انرژی بالای بخار، انتقال حرارت می‌تواند مؤثر باشد و در عین حال نشت مواد مغذی به حداقل برسد. برخی مطالعات روی آلو نشان داده‌اند که بلانچینگ پیش از خشک‌کردن می‌تواند ظرفیت آب‌پذیری مجدد محصول نهایی را افزایش دهد و بر ترکیبات فنولی اثر بگذارد. با این حال، شواهد مقایسه‌ای مستقیم میان بخار و آب گرم برای آلو محدود است و چالش‌هایی مانند احتمال نرم‌شدن بیش از حد بافت، زمان فرآیند، و یکنواختی تیمار را در مراحل اولیه تراکم بخار باید مدنظر قرار داد.

۳-۲-۲-۲- فنآوری‌های غیرحرارتی (نوین)

پیش‌تیمارهای حرارتی سنتی با وجود اثربخشی در مهار آنزیم‌ها، ممکن است موجب تخریب ساختار سلولی، واسرشت شدن (دنا توره شدن) پروتئین‌ها و کاهش برخی ترکیبات زیست‌فعال شوند. فنآوری‌های غیرحرارتی با هدف کاهش این آسیب‌ها توسعه یافته‌اند و تلاش می‌کنند تا در دماهای محیط یا پایین، انتقال جرم را تسهیل و کیفیت حسی و تغذیه‌ای محصول را بهتر حفظ کنند. فنآوری‌هایی مانند فراصوت و میدان الکتریکی پالسی با ایجاد تغییرات ساختاری کنترل‌شده در بافت، موجب افزایش سرعت خشک‌کردن و حفظ بهتر ترکیبات زیست‌فعال می‌شوند. مطالعات نشان داده‌اند که این روش‌ها در شرایط آزمایشگاهی می‌توانند زمان خشک‌کردن را کاهش دهند و در مقایسه با نمونه‌های بدون پیش‌تیمار، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و ویتامین C را در سطح بالاتری حفظ کنند (آذرپژوه و شرایعی، ۱۳۹۴).

۳-۲-۲-۱- پیش‌تیمار با میدان فراصوت^۱

فراصوت شامل امواج مکانیکی با فرکانس بالا است که در محیط‌های مایع منتشر می‌شود و از طریق کاویتاسیون بر بافت گیاهی اثر می‌گذارد. تشکیل و فروپاشی حباب‌های میکروسکوپی در محیط مایع، شوک‌های موضعی ایجاد می‌کند و به تخریب جزئی دیواره‌های سلولی و ایجاد

¹ Ultrasonic Field

میکروکانال‌ها می‌انجامد. در آلو، کاربرد فراصوت در فرآیندهای کم‌آبی اسمزی سبب کاهش جمع‌شدگی بافت و بهبود نفوذپذیری می‌شود و در نتیجه راندمان انتقال جرم و سرعت خشک‌کردن را افزایش می‌دهد. این روش به دلیل ماهیت غیرحرارتی، حفظ بهتر ترکیبات حساس به گرما را امکان‌پذیر می‌سازد. با این حال، نیاز به محیط مایع می‌تواند موجب نشت ترکیبات محلول شود و مقیاس‌پذیری صنعتی آن همچنان یکی از چالش‌های فنی مهم به شمار می‌رود.

۳-۲-۲-۲-۲-۲-۲ پیش‌تیمار انجماد-ذوب^۱

در این روش، آلو ابتدا منجمد و سپس تا دمای محیط ذوب می‌شود. تشکیل بلورهای یخ درون سلول‌ها موجب تخریب دیواره‌های سلولی و ایجاد ساختار متخلخل می‌گردد که حرکت آب را تسهیل می‌کند (آذریپژوه و همکاران، ۱۴۰۲). مطالعات روی آلو نشان داده‌اند که این تیمار می‌تواند زمان خشک‌کردن و مصرف انرژی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد و تحرک آب را در بافت افزایش دهد. نتایج مشابه در دیگر میوه‌ها نیز تشکیل ترک‌های انجمادی و افزایش سرعت خشک‌کردن را تأیید کرده‌اند. با وجود این مزایا، این روش قادر به غیرفعال‌سازی آنزیم‌های قهوه‌ای‌کننده نیست و در مرحله ذوب ممکن است به دلیل خروج شیرابه، بخشی از ترکیبات محلول از دست برود. هزینه عملیاتی انجماد، کاربرد

¹ Freezing-Thawing

آن را عمدتاً به محصولات با ارزش افزوده بالا محدود می‌کند.

۳-۲-۲-۲-۳- میدان الکتریکی پالسی^۱

فناوری میدان الکتریکی پالسی بر پایهٔ اعمال پالس‌های کوتاه و پرشدت الکتریکی در محدوده میکروثانیه تا میلی‌ثانیه است. این فناوری در شدت‌های بالا به‌عنوان روش پاستوریزاسیون سرد برای غیرفعال‌سازی میکروارگانیسم‌ها و برخی آنزیم‌ها شناخته می‌شود. در پیش‌تیمار بافت جامد مانند آلو، اعمال میدان‌های متوسط موجب الکتروپوریشن^۲ می‌شود و نفوذپذیری غشاهای سلولی را افزایش می‌دهد (آدرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲). در نتیجه، انتقال جرم در مرحله خشک‌کردن تسهیل خواهد شد بی‌آنکه افزایش دمای قابل توجهی رخ دهد. این ویژگی سبب می‌شود رنگ، طعم و ترکیبات حساس تغذیه‌ای تا حد زیادی حفظ شوند. پارامترهای عملیاتی شامل شدت میدان و مدت پالس نقش تعیین‌کننده‌ای در ایجاد تغییرات ساختاری مطلوب دارند و انتخاب بهینهٔ آن‌ها برای دستیابی به حداکثر کارایی ضروری است.

¹ Pulsed Electric Field – PEF

² Electroporation

۳-۲-۲-۳- تکنیک‌های دیگر

علاوه بر فناوری‌های اصلی (حرارتی و غیرحرارتی) که پیش از این گفته شد، روش‌های فیزیکی دیگری نیز برای پیش‌تیمار میوه‌ها و سبزی‌ها پیش از خشک‌کردن وجود دارد. این روش‌ها را می‌توان به دو دسته کلی مکانیکی و تابشی تقسیم کرد که از نظر قابلیت کاربرد صنعتی تفاوت‌های آشکاری دارند (جلاچیچک^۱ و همکاران، ۲۰۱۹).

۳-۲-۲-۳-۱- روش‌های مکانیکی (سایش و سوراخ‌کاری)
در روش‌های مکانیکی، تغییرات فیزیکی مستقیم بر سطح میوه اعمال می‌شود تا مقاومت طبیعی پوست در برابر انتقال رطوبت کاهش یابد. یکی از مهم‌ترین این روش‌ها سایش سطحی است که طی آن لایه‌ای نازک از پوست یا پوشش مومی آب‌گریز سطح آلو با مواد ساینده حذف می‌شود (جلاچیچک و همکاران، ۲۰۱۹). از آنجا که وجود لایه مومی طبیعی نفوذپذیری رطوبتی پوست را کاهش می‌دهد، حذف کنترل‌شده این لایه می‌تواند زمان خشک‌کردن را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. نتایج تجربی نشان داده‌اند که افزایش مدت زمان سایش، کاهش محسوسی در زمان خشک‌کردن ایجاد می‌کند و در برخی شرایط عملکرد آن به عملکرد تیمارهای شیمیایی نزدیک می‌شود، با این مزیت که

¹ Jelačić

هیچ‌گونه باقیمانده شیمیایی برجای نمی‌گذارد و آلودگی زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کند.

روش دیگر، سوراخ کردن پوسته است که با ایجاد منافذ ریز در پوست، مسیرهای مستقیم‌تری برای خروج بخار آب فراهم می‌آید. با وجود مبانی تئوریک مناسب، شواهد تجربی جامع درباره اثربخشی این روش در آلو محدود است و اطلاعات موجود بیشتر به اشاره‌های کلی محدود می‌شود. از نظر عملیاتی، هر دو روش مکانیکی با چالش‌هایی مانند هزینه عملیاتی بالا، زمان‌بر بودن، نیاز قابل توجه به نیروی کار و دشواری در یکپارچه‌سازی با خطوط تولید پیوسته روبه‌رو هستند؛ بنابراین کاربرد صنعتی آن‌ها در مقیاس بزرگ محدود ارزیابی می‌شود.

۳-۲-۲-۳-۲- گرمایش با تابش فرسرخ^۱

گرمایش فرسرخ (مادون‌قرمز) بر پایه استفاده از امواج الکترومغناطیسی در محدوده طول موج فرسرخ است که پس از برخورد با سطح محصول جذب می‌شود و به انرژی حرارتی تبدیل می‌گردد. برخلاف گرمایش همرفتی که انتقال حرارت از طریق سیال گرم به سطح و سپس به داخل محصول صورت می‌گیرد، در سیستم‌های گرمایش فرسرخ انرژی تابشی مستقیماً توسط مولکول‌های جاذب به‌ویژه آب دریافت و به گرما تبدیل می‌شود و بدین ترتیب سرعت گرمایش

¹ Infrared Heating - IR

افزایش می‌یابد. با این حال، عمق نفوذ تابش فروسرخ در مواد غذایی محدود است و اثر گرمایی آن عمدتاً در لایه‌های سطحی متمرکز می‌شود؛ از این رو برای قطعات ضخیم کارایی کمتری دارد مگر آنکه با دیگر روش‌های انتقال حرارت ترکیب شود.

مزیت اصلی این فناوری، راندمان بالای انتقال انرژی، سرعت گرمایش زیاد و کاهش اتلاف حرارتی است. گرمایش فروسرخ می‌تواند به‌عنوان جایگزینی برای بلانچینگ متداول، در غیرفعال‌سازی آنزیم‌ها و آماده‌سازی محصول برای خشک کردن مؤثر باشد، در حالی که مصرف آب و تولید پساب را به حداقل می‌رساند.

۳-۲- روش‌های خشک کردن آلو

۳-۲-۱- روش‌های سنتی خشک کردن آلو

روش‌های سنتی خشک کردن آلو که سابقه‌ای طولانی در مناطق مختلف ایران دارند، همچنان بخش مهمی از تولید را تشکیل می‌دهند. این روش‌ها مبتنی بر استفاده از انرژی خورشیدی و جریان طبیعی هواست و از نظر اقتصادی کم‌هزینه هستند، اما با چالش‌های کیفی و بهداشتی همراه‌اند (اخی‌جهانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷).

¹ Akhijahani

۳-۲-۱-۱- خشک کردن آفتابی مستقیم^۱

در این روش، آلوها اغلب پس از پیش تیمار شیمیایی در لایه‌های نازک روی سطوح مختلف در معرض تابش مستقیم خورشید قرار می‌گیرند. انرژی لازم برای تبخیر آب از طریق تابش خورشیدی تأمین و بخار آب توسط همرفت طبیعی هوا تأمین می‌شود. سرعت خشک شدن تابع شدت تابش، دمای محیط، رطوبت نسبی و سرعت باد است. در شرایط گرم و خشک، فرآیند ممکن است طی چند روز تکمیل شود، اما در شرایط نامساعد اقلیمی این فرایند به‌طور قابل توجهی طولانی‌تر خواهد بود (اخی‌جهانی و همکاران، ۲۰۱۷).

نوسان‌های شبانه‌روزی دما و رطوبت از چالش‌های اصلی این روش است، زیرا افزایش رطوبت در شب می‌تواند سبب بازجذب آب توسط محصول نیمه‌خشک شود و چرخه‌های مکرر جذب و دفع رطوبت، به افت کیفیت بافتی منجر گردد. علاوه بر این، قرارگیری در معرض نور خورشید باعث تغییرات رنگ و تیرگی محصول می‌شود که ناشی از واکنش‌های اکسیداسیونی و فرآیندهای قهوه‌ای شدن است. تماس مستقیم با محیط نیز خطر آلودگی میکروبی و ورود گردوغبار و حشرات را افزایش می‌دهد (آذر پژوه، ۱۳۹۶).

¹ Open Sun Drying

۳-۲-۱-۲- خشک کردن در سایه^۱

برای خشک کردن در سایه، آلوها در محیطی مسقف با تهویه طبیعی مناسب قرار می‌گیرند و از تابش مستقیم خورشید محافظت می‌شوند. حذف منبع تابش مستقیم موجب کاهش دمای محصول و در نتیجه کندتر شدن سرعت خشک شدن می‌شود؛ بنابراین، فرآیند ممکن است چندین روز یا حتی هفته به طول انجامد. با این همه، دمای پایین تر به حفظ بهتر رنگ، ترکیبات معطر و برخی مواد حساس به گرما کمک می‌کند و معمولاً محصولی با کیفیت ظاهری مطلوب تر تولید می‌شود. در مقابل، طولانی بودن زمان فرآیند می‌تواند خطر رشد کپک را افزایش دهد و نیازمند کنترل دقیق شرایط محیطی است.

۳-۲-۱-۳- خشک کن‌های خورشیدی^۲

خشک کن‌های خورشیدی به‌عنوان راهکاری بهبودیافته نسبت به روش آفتابی مستقیم توسعه یافته‌اند. در این سیستم‌ها، هوا توسط کلکتورهای خورشیدی گرم می‌شود و به‌صورت طبیعی یا با کمک فن از روی محصول عبور می‌کند. این ساختار ضمن محافظت از محصول در برابر تابش مستقیم فرا بنفش (UV) و آلودگی محیطی، دمای بالاتری نسبت به محیط ایجاد می‌کند و سرعت خشک کردن را

¹ Shade Drying

² Solar Dryers

افزایش می‌دهد. مطالعات نشان داده‌اند که خشک‌کن‌های خورشیدی هیبریدی دارای منبع گرمای کمکی می‌توانند کیفیت رنگ، جمع‌شدگی و هزینه‌های عملیاتی را بهبود دهند. با این حال، بیشتر داده‌های موجود حاصل مطالعات نیمه‌صنعتی یا آزمایشگاهی است و نیاز به ارزیابی در مقیاس صنعتی گسترده‌تر وجود دارد (آذر پژوه، ۱۳۹۷).

۳-۲-۲- تکنولوژی‌های صنعتی پیشرفته

روش‌های صنعتی خشک‌کردن با هدف کنترل دقیق پارامترهایی مانند دما، رطوبت، سرعت هوا و الگوی جریان طراحی شده‌اند تا محصولی یکنواخت، ایمن و با راندمان انرژی مناسب تولید شود. خشک‌کردن همرفتی با هوای داغ متداول‌ترین روش صنعتی برای تولید آلوی خشک است. در این سیستم، هوای گرم هم‌زمان نقش تأمین‌کننده انرژی حرارتی و حامل رطوبت تبخیرشده را دارد. با وجود رواج گسترده، این روش، نسبت به روش‌هایی مانند خشک‌کردن انجمادی، می‌تواند موجب کاهش ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ویتامین C شود، هرچند به دلیل سادگی، هزینه کمتر و ظرفیت بالا همچنان گزینه غالب صنعتی محسوب می‌شود (جلاچیچک و همکاران، ۲۰۱۹).

خشک‌کن‌های تونلی برای تولید انبوه طراحی شده‌اند و امکان حرکت سینی‌ها در جهت همسو یا ناهمسو با جریان

هوا را فراهم می‌کنند. آرایش ناهمسو معمولاً از نظر مصرف انرژی کارتر است و می‌تواند عملکرد حرارتی بهتری ارائه دهد. خشک‌کن‌های کابینتی یا سینی‌ای بیشتر در مقیاس‌های کوچک‌تر و تولید نوبتی استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها به دلیل طراحی ساده و هزینه پایین سرمایه‌گذاری کاربرد گسترده‌ای دارند، هرچند یکنواختی جریان هوا و توزیع دما در آنها نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت نهایی محصول دارد (جلاچیچک و همکاران، ۲۰۱۹).

۳-۲-۱- پارامترهای حیاتی و چالش‌ها در خشک کردن با هوای داغ

در خشک‌کردن آلو با هوای داغ، کنترل دقیق دما و رطوبت نسبی هوا نقش تعیین‌کننده‌ای در کیفیت نهایی دارد. دمای بهینه معمولاً در بازه ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌شود، زیرا دماهای بالاتر اگرچه سرعت تبخیر را افزایش می‌دهند، اما می‌توانند منجر به تخریب بافت، تیرگی رنگ و افت ترکیبات زیست‌فعال شوند. یکی از چالش‌های اصلی این روش پدیده سخت‌شدن سطحی^۱ است؛ وضعیتی که در آن تبخیر رطوبت از سطح سریع‌تر از انتشار رطوبت از مرکز به سطح رخ می‌دهد (روزگار^۲ و همکاران، ۲۰۲۵). در نتیجه،

¹ Case Hardening

² Rouzegar

لایه‌ای خشک و متراکم در سطح تشکیل می‌شود که نفوذپذیری پایینی دارد و مانع خروج یکنواخت رطوبت داخلی می‌شود. مطالعات انتقال جرم در میوه‌ها نشان داده‌اند که در دماهای بالاتر، ضریب نفوذ رطوبت در پوست افزایش می‌یابد، در حالی که با کاهش رطوبت داخلی، حرکت آب در بافت گوشتی محدودتر می‌شود؛ این اختلاف در دینامیک رطوبتی، شرایط ایجاد خشک‌شدن ناهمگن را تشدید می‌کند. وجود لایه مومی طبیعی با نفوذپذیری پایین در پوست آلو نیز این عدم تعادل را تقویت می‌کند (اخی‌جهانی و همکاران، ۲۰۱۷). برای پیشگیری از این پدیده، استفاده از برنامه‌های دمایی مرحله‌ای، کنترل رطوبت نسبی هوای ورودی و جلوگیری از شوک حرارتی اولیه ضروری است. از نظر کیفی، خشک‌کردن با هوای داغ معمولاً با انقباض شدید بافت، کاهش تخلخل، تغییر رنگ ناشی از واکنش‌های مایلارد و اکسیداسیون، و افت قابل توجه ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها همراه است که می‌تواند بخش مهمی از ظرفیت آنتی‌اکسیدانی محصول را کاهش دهد.

۳-۲-۲- خشک‌کردن انجمادی^۱

خشک‌کردن انجمادی یا لیوفیلیزاسیون پیشرفته‌ترین فناوری برای حفظ ساختار و ارزش تغذیه‌ای آلوهای حساس به حرارت محسوب می‌شود. این فرآیند بر پایه حذف آب در

¹ Freeze Drying - FD

شرایط دمای پایین و فشار کاهش یافته پیش می‌رود. در تبیین کلاسیک، تبدیل یخ به بخار تحت خلاً را تصعید مستقیم از فاز جامد به گاز معرفی می‌کنند هرچند تحلیل‌های ترمودینامیکی جدید نشان داده‌اند که این گذار می‌تواند از نظر فیزیکی شامل یک مرحله میانی بسیار ناپایدار مایع باشد. با این حال، در کاربردهای صنعتی همچنان از مدل عملیاتی تصعید برای طراحی فرآیند استفاده می‌شود. این فرآیند شامل سه مرحله اصلی است: ابتدا در مرحله انجماد، محصول تا دماهای بسیار پایین (معمولاً کمتر از -40 درجه سلسیوس) سرد می‌شود تا آب آزاد به‌طور کامل به کریستال‌های یخ تبدیل شود. در مرحله خشک کردن اولیه، فشار محفظه به زیر فشار نقطه سه‌گانه آب کاهش می‌یابد و حرارت کنترل شده‌ای اعمال می‌شود تا یخ موجود بدون ذوب گسترده حذف شود. در این مرحله بخش عمده آب آزاد خارج می‌گردد. در مرحله خشک کردن ثانویه، با افزایش تدریجی دما، آب‌های باند شده که در ساختار سلولی باقی مانده‌اند از طریق واجذبی حذف می‌شوند. مزیت اصلی این روش حفظ تخلخل طبیعی بافت، حداقل انقباض، پایداری رنگ و عطر، و قابلیت بازجذب آب بسیار بالا است، زیرا نبود فاز مایع آزاد از فروپاشی ساختار سلولی جلوگیری می‌کند. مصرف انرژی بالا، زمان فرآیند طولانی و هزینه سرمایه‌گذاری زیاد، استفاده از این روش را

عمدتاً به محصولات با ارزش افزوده بالا یا فرآورده‌های ویژه محدود می‌سازد.

۳-۲-۲- خشک کردن مایکروویو-خلاً^۱

خشک کردن مایکروویو-خلاً فناوری‌ای هیبریدی است که با ترکیب گرمایش حجمی مایکروویو و شرایط فشار پایین تلاش می‌کند سرعت بالا و کیفیت مطلوب را هم‌زمان فراهم آورد. در این روش، امواج مایکروویو به درون بافت نفوذ می‌کنند و مولکول‌های آب دوقطبی را به نوسان درمی‌آورند؛ این پدیده باعث تولید گرما در کل حجم محصول می‌شود، نه فقط در سطح. در نتیجه فشار بخار داخلی افزایش می‌یابد و رطوبت از داخل به بیرون رانده می‌شود. حضور خلاً نقطه جوش آب را کاهش می‌دهد و امکان تبخیر در دماهای پایین‌تر را فراهم می‌کند، بنابراین آسیب‌دیدگی حرارتی و تغییرات نامطلوب رنگ و ترکیبات حساس به گرما محدود می‌شود (اخی‌جهانی و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات کاربردی در طیف وسیعی از مواد غذایی نشان داده‌اند که این فناوری، نسبت به روش‌های متداول، می‌تواند زمان خشک کردن را به‌طور چشمگیری در بسیاری موارد بیش از ۸۰ تا ۹۰ درصد کاهش دهد. علاوه بر سرعت، کیفیت حسی نیز بهبود می‌یابد. بافت پف‌کرده و متخلخل، رنگ روشن‌تر و حفظ بهتر مواد مغذی از ویژگی‌های شاخص این روش است

¹ Microwave-Vacuum Drying - MVD

(اخی جهانی و همکاران، ۲۰۱۷). در برخی رویکردها، ترکیب مرحله‌ای خشک کردن انجمادی و مایکروویو-خلاء، تعادلی میان کیفیت ممتاز خشک کردن انجمادی و زمان کوتاه‌تر خشک کردن مایکروویو-خلاء ایجاد می‌کند و از نظر اقتصادی گزینه‌ای میان‌رده محسوب می‌شود.

۳-۲-۴- خشک کردن پاششی^۱ برای فرآورده‌های آلو

خشک کردن پاششی برای آلوی کامل کاربردی ندارد، اما برای تبدیل آب یا پوره آلو به پودر روشی کلیدی و صنعتی است. در این فرآیند، مایع آلو به صورت قطره‌های ریز در جریان هوای داغ پاشیده می‌شود و در مدت زمان بسیار کوتاه خشک می‌گردد. چالش اصلی در این روش، چسبندگی بالای ذرات است که ناشی از وجود قندهای با وزن مولکولی پایین مانند گلوکز، فروکتوز و سوربیتول و نیز اسیدهای آلی است. این ترکیبات دمای انتقال شیشه‌ای پایینی دارند و در دماهای عملیاتی خشک‌کن در حالت نیمه‌لاستیکی و چسبنده قرار می‌گیرند؛ در نتیجه ذرات به دیواره محفظه می‌چسبند، راندمان کاهش می‌یابد و احتمال سوختگی یا تخریب ترکیبات افزایش پیدا می‌کند. برای غلبه کردن بر این مشکل، استفاده از حامل‌های خشک‌کن مانند مالتودکسترین یا صمغ عربی رایج است (اخی جهانی و همکاران، ۲۰۱۷). افزودن این

¹ Spray drying

مواد، دمای انتقال شیشه‌ای مخلوط را افزایش و چسبندگی را کاهش می‌دهد و امکان تولید پودر روان، پایدار و با قابلیت انحلال مناسب را فراهم می‌کند. بررسی‌های مقایسه‌ای نشان داده‌اند که پارامترهایی مانند دمای ورودی هوا و نسبت مالتودکسترین به ماده خشک آلو تأثیر مستقیم بر بازده فرآیند، پایداری فیزیکی و حفظ ترکیبات پلی‌فنولی دارند، و بهینه‌سازی این عوامل برای تولید پودر آلو با کیفیت بالا ضروری است. جدول ۳-۱ مقایسه ترکیبات آلوی تازه، آب آلو و آلوی خشک را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۱- مقایسه ترکیبات کربوهیدراتی در آلوی تازه، آلوی خشک و آب آلو (بر حسب گرم در ۱۰۰ گرم محصول) (آذرپژوه و همکاران، ۱۴۰۲).

ترکیب (گرم)	آلوی تازه	آلوی خشک	آب آلو
کل کربوهیدرات	۱۱/۴ - ۱۳	۶۳/۸۸	۱۶/۴۵
کل قندها	۹/۹۲	۳۸/۱۳	۱۶/۴۵
گلوکز	۰/۵ - ۰/۶	۲۵/۴۶	۱۲/۰۹
فروکتوز	۰/۳ - ۰/۴	۱۲/۴۵	۲/۹۱
ساکارز	کمتر از ۰/۱	۰/۱۵	۰/۷
سوربیتول	۰/۳ - ۰/۱	۱۴/۷ - ۱۵/۴	۶/۱
نشاسته	ناچیز	۵/۱۱	-
فیبر رژیمی کل	۱/۴	۷/۱	۰/۱

فصل چهارم

تولید فرآورده‌های متنوع از آلو

۴-۱- مقدمه (اهمیت فرآوری آلو در کاهش ضایعات)

آلو از میوه‌های هسته‌دار با رطوبت بالا و دوره نگهداری کوتاه است و در صورت نبود مدیریت مناسب پس از برداشت، بخش قابل توجهی از محصول در مراحل برداشت، حمل و نقل، انبارداری و عرضه به بازار دچار فساد یا افت کیفیت می‌شود. گزارش‌های ملی و بین‌المللی نشان می‌دهد که میزان ضایعات آلو در بسیاری از مناطق تولیدکننده به ۱۰ تا ۲۵ درصد وزن محصول می‌رسد؛ رقمی که علاوه بر کاهش درآمد باغداران، سبب اتلاف منابع آب، خاک، انرژی و نیروی کار می‌شود و فشار مضاعفی بر سیستم تولید وارد می‌کند. در چنین شرایطی، فرآوری آلو یکی از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین راهکارها برای کاهش ضایعات و افزایش

۴-۲- فرآوری آلو و محصولات جانبی آن

شکل ۴-۲، نقشه فرآیند جامع از مسیرهای مختلف فرآوری آلو را نشان می‌دهد و بیان می‌کند که چگونه می‌توان علاوه بر تولید محصولات اصلی، از ضایعات جانبی شامل تفاله، پوست و هسته نیز برای تولید فرآورده‌های باارزش استفاده کرد. این نمودار سه جریان اصلی را در فرآوری آلو تشریح می‌کند. محصولات اولیه حاصل از گوشت میوه، فرآوری پوست، و فرآوری هسته؛ جریان چهارم نیز به تفاله اختصاص دارد که از ترکیب پوست، الیاف و بقایای گوشت پس از استخراج آب‌میوه به‌دست می‌آید (بالسرک و همکاران، ۲۰۱۳).

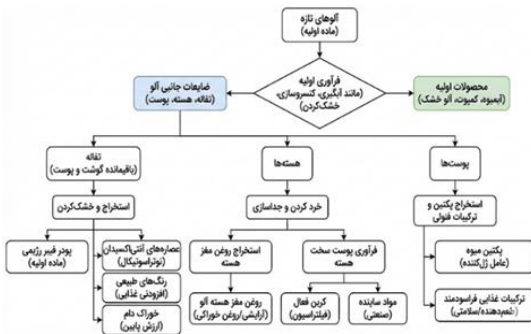
در بخش نخست، فرآوری اولیه آلو قرار دارد که شامل تبدیل میوه تازه به محصولاتی مانند آلو خشک، آب‌میوه، کنسانتره، لواشک و کمپوت است. این گروه از محصولات مستقیماً از پالپ آلو به‌دست می‌آیند و معمولاً شامل مراحل شست‌وشو، هسته‌گیری، حرارت‌دهی، پرس، فیلتراسیون و بسته‌بندی یا خشک‌کردن هستند. خشک‌کردن رایج‌ترین روش فرآوری آلوست و با کاهش رطوبت می‌تواند فعالیت میکروبی و واکنش‌های فسادزا را محدود کند و ماندگاری محصول را افزایش دهد (بالسرک و همکاران، ۲۰۱۳). افزون بر این، فرآوری اولیه امکان بهره‌برداری از آلهایی را فراهم

می‌سازد که برای فروش تازه‌خوری مناسب نیستند و آنها را به محصولاتی با ارزش افزوده بالاتر تبدیل می‌کند. بخش دوم نمودار به تفاله آلو اختصاص دارد. تفاله که پس از پرس یا پخت باقی می‌ماند، سرشار از الیاف رژیمی، پکتین، سلولز، ترکیبات فنولی، آنتوسیانین‌ها و کاروتنوئیدها است. خشک کردن و آسیاب کردن تفاله منجر به تولید پودر فیبر می‌شود که می‌تواند در محصولات نانوائی، نوشیدنی‌ها، غذای دام و غذاهای فراسودمند به‌عنوان غنی‌کننده فیبر و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی طبیعی استفاده شود. پلی‌فنول‌ها و رنگدانه‌های طبیعی موجود در تفاله نیز کاربردهای صنعتی و تغذیه‌ای گسترده‌ای دارند.

بخش سوم نمودار مربوط به فرآوری هسته آلوست. هسته شامل دو بخش است: پوسته سخت خارجی و مغز داخلی. مغز هسته منبعی ارزشمند برای استخراج روغن است که حاوی اسید اولئیک (۶۵-۷۵ درصد) و اسید لینولئیک (۱۵-۲۵ درصد) است و در صنایع خوراکی، آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد. پوسته سخت هسته پس از آسیاب شدن برای تولید مواد ساینده یا کربن فعال به کار می‌رود که در فیلترها، جاذب‌ها و کاربردهای صنعتی ارزشمند است.

بخش چهارم، فرآوری پوست آلو را توضیح می‌دهد. پوست یکی از غنی‌ترین بخش‌های میوه از نظر پکتین و ترکیبات فنولی است. استخراج پکتین از پوست آلو می‌تواند

برای تولید ژل در مربا، مارمالاد و نوشیدنی‌ها به کار رود. ترکیبات فنولی شامل فلاوونوئیدها و اسیدهای فنولیک نقش مهمی در تولید افزودنی‌های غذایی آنتی‌اکسیدانی و ترکیبات دارویی دارند.



شکل ۴-۲- نقشه فرآیند فرآوری آلو

۴-۳- فرآوری اولیه آلو

۴-۳-۱- خشک کردن آلو

خشک کردن آلو یکی از روش‌های اساسی نگهداری و کاهش ضایعات پس از برداشت به‌شمار می‌رود و هدف آن کاهش فعالیت آبی، مهار رشد میکروارگانیسم‌ها و حفظ کیفیت فیزیکی-شیمیایی میوه است. فرآیند خشک کردن معمولاً با آماده‌سازی اولیه آغاز می‌شود که طی آن آلوهای سالم و رسیده پس از شست‌وشوی کامل، تحت تیمار حرارتی کوتاه‌مدت قرار می‌گیرند. اعمال شوک حرارتی شامل غوطه‌ورسازی میوه در آب جوش به مدت ۳۰ تا ۶۰ ثانیه و

سردسازی فوری در حمام یخ، با افزایش نفوذپذیری پوسته، موجب بهبود انتقال جرم و تسریع خروج رطوبت در مرحله خشک کردن می‌شود. این تیمار همچنین نقش مؤثری در حفظ رنگ، کاهش واکنش‌های آنزیمی قهوه‌ای‌شدن و افزایش یکنواختی محصول نهایی دارد. پس از آماده‌سازی، برای خشک کردن می‌توان از سه رویکرد رایج استفاده کرد: به‌کارگیری خشک‌کن هوای گرم، به‌کارگیری فر آزمایشگاهی، خشک کردن خورشیدی. استفاده از خشک‌کن هوای گرم در دمای ۵۵ تا ۶۰ سلسیوس طی ۱۲ تا ۲۴ ساعت یکی از روش‌های کنترل‌پذیر و استاندارد است که با فراهم کردن جریان هوای یکنواخت، کاهش قابل‌توجه رطوبت بدون تخریب رنگدانه‌ها و ترکیبات حساس حرارتی را امکان‌پذیر می‌سازد. در فر آزمایشگاهی دما معمولاً در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌شود و زمان خشک کردن بسته به هندسه نمونه و ویژگی‌های رقم بین ۱۰ تا ۲۰ ساعت متغیر است. بازگذاشتن اندکی از در فر به خروج مؤثر بخار و جلوگیری از تجمع رطوبت کمک می‌کند (چاجی و آذرپژوه، ۱۳۹۵). خشک کردن خورشیدی اگرچه از نظر اقتصادی باصرفه است، اما به دلیل وابستگی به شرایط محیطی، تغییرپذیری در کیفیت محصول و محدودیت در کنترل دما و رطوبت نسبی، بیشتر در تولید سنتی کاربرد دارد

و در مقایسه با روش‌های حرارتی صنعتی، کمتر ترجیح داده می‌شود (شکل ۴-۳).

پایان فرآیند خشک کردن بر اساس ویژگی‌های بافتی و میزان رطوبت تعیین می‌شود. محصول نهایی باید دارای بافت چرمی، انعطاف‌پذیر و فاقد رطوبت سطحی باشد. رسیدن به رطوبت نهایی ۱۵ تا ۲۰ درصد برای جلوگیری از رشد قارچ‌ها و افزایش پایداری در دوره نگهداری ضروری است. پس از خشک کردن، نمونه‌ها باید تا رسیدن به دمای محیط سرد شوند و در بسته‌بندی‌های مقاوم به نفوذ رطوبت شامل ظرف‌های شیشه‌ای دارای درب بند، فیلم‌های چندلایه یا بسته‌بندی وکیوم قرار گیرند. بسته‌بندی مناسب علاوه بر کاهش جذب رطوبت محیطی، از اکسیداسیون و تغییرات حسی جلوگیری می‌کند و ماندگاری محصول را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد. مجموع این مراحل، زیرساختی علمی و استاندارد را برای تولید آلو خشک پایدار، ایمن و با کیفیت یکنواخت فراهم می‌کند و امکان به‌کارگیری آن را در صنایع غذایی و زنجیره ارزش محصولات میوه‌ای توسعه می‌دهد.



شکل ۴-۳- مراحل تهیه آلو خشک

۴-۳-۱-۱- روش تولید آلو خشک اسلایسی

آلو خشک اسلایسی یکی از فرآورده‌های نیمه‌فرآوری شده پرکاربرد در صنایع غذایی است که به‌منظور افزایش ماندگاری، کاهش فعالیت آبی و حفظ ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای تولید می‌شود. رقم شابلون به دلیل بافت نسبتاً متراکم، بالابودن مواد جامد انحلال‌پذیر و پایداری رنگی یکی از مناسب‌ترین ارقام برای تولید اسلایس خشک‌شده به‌ویژه در شرایط کنترل‌شده خشک‌کردن است. در این فرآیند، آلوهای رسیده و فاقد آسیدیدگی‌های مکانیکی پس از شست‌وشوی کامل با آب سرد و حذف رطوبت سطحی، تحت عملیات هسته‌گیری قرار می‌گیرند و با استفاده از چاقوی استیل ضدزنگ یا دستگاه برش، به اسلایس‌هایی با ضخامت یکنواخت ۵ تا ۸ میلی‌متر تبدیل می‌شوند. یکنواختی ضخامت نقش تعیین‌کننده‌ای در همگن‌بودن الگوی خشک‌شدن و جلوگیری از بروز پدیده‌هایی مانند انقباض شدید، قهوه‌ای‌شدن غیرآنزیمی یا خشک‌شدن بیش از حد در لبه‌ها دارد. پس از آماده‌سازی اسلایس‌ها، نمونه‌ها روی سینی‌های خشک‌کن با فاصله کافی چیده می‌شوند تا جریان هوای گرم همرفتی بتواند به‌طور یکنواخت از سطح میوه عبور کند. خشک‌کردن در خشک‌کن هوای گرم یا فرآزمایشگاهی با دمای ۵۰ تا ۵۵ درجه سلسیوس به مدت تقریبی ۸ تا ۱۲ ساعت رخ می‌دهد. انتخاب دمای پایین تا متوسط، از تخریب

رنگدانه‌های آنتوسیانینی و کاهش واکنش‌های مایلارد جلوگیری می‌کند و ساختار سلولی را تا حد امکان حفظ خواهد کرد. در این فرآیند تغییرات وزنی، بافتی و ظاهری به‌طور دوره‌ای پایش می‌شود تا اسلایس‌ها به رطوبت نهایی مطلوب ۱۵ تا ۲۰ درصد برسند. رطوبت کمتر از حدود ۱۲ درصد می‌تواند منجر به شکنندگی و کاهش کیفیت بافت شود، درحالی‌که رطوبت بالاتر از ۲۰ درصد احتمال رشد قارچ و کاهش پایداری ذخیره‌سازی را افزایش می‌دهد. پس از اتمام فرآیند خشک‌کردن، اسلایس‌ها به‌مدت کافی در دمای محیط سرد می‌شوند و سپس در بسته‌بندی‌های مقاوم به نفوذ رطوبت شامل ظرف‌های شیشه‌ای دردار، بسته‌بندی‌های چندلایه یا بسته‌بندی وکیوم‌شده قرار می‌گیرند (شکل ۴-۴). بسته‌بندی مناسب نقش مهمی در جلوگیری از جذب رطوبت محیطی، اکسیداسیون چربی‌ها و تغییرات حسی در دوره نگهداری دارد. محصول نهایی باید رنگ یکنواخت رقم شابلون، بافت نیمه‌خشک و انعطاف‌پذیر، طعم شیرین-ترش متعادل و ویژگی‌های میکروبی را در محدوده استانداردهای ملی و بین‌المللی داشته باشد. این رویکرد فرآیندی، امکان تولید محصولی با ارزش‌افزوده بالا، پایداری مناسب و کاربرد گسترده را در صنایع تنقلات سالم و غذاهای فرآوری‌شده فراهم می‌سازد (والکویاک-تامچاک^۱، ۲۰۰۸).

¹ Walkowiak-Tomczak

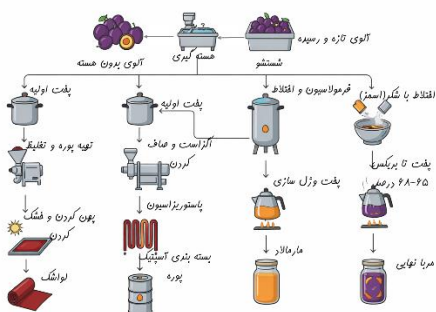


شکل ۴-۴-۴- مراحل تهیه آلو اسلایسی خشک

۴-۳-۲- تولید دیگر محصولات از آلو

فرآوری آلو تنها به خشک کردن محدود نمی‌شود و این میوه قابلیت تبدیل شدن به طیف متنوعی از محصولات غذایی و صنعتی را دارد (شکل ۴-۵). در اغلب خطوط تولید، پیش از آنکه مسیرهای فرآوری از یکدیگر جدا شوند، یک مرحله آماده‌سازی مشترک طی می‌شود. فرآیند با دریافت آلوی تازه، سالم و کاملاً رسیده آغاز می‌گردد، زیرا میزان قند، اسیدیته و ترکیبات معطر در این مرحله بر کیفیت نهایی محصول تأثیر مستقیم دارد. آلو پس از ورود به خط، برای حذف گرد و خاک، بقایای سموم و آلودگی‌های سطحی به‌طور کامل شست‌وشو می‌شوند. پس از آن، هسته‌گیری با دستگاه‌های مکانیکی صورت می‌گیرد تا هسته بی آنکه آسیب جدی به بافت وارد

آید جدا شود. پس از آن، گوشت میوه خرد و پالپ‌گیری می‌شود و «پوره خام آلو» به دست می‌آید. این پوره، ماده اولیه اصلی برای تولید فرآورده‌هایی مانند لواشک، مربا، کنسانتره و مارمالاد است و با توجه به نوع محصول، وارد مسیرهای فرآیندی متفاوتی می‌شود.



شکل ۴-۵- جریان فرآیند تولید فرآورده های آلو: لواشک، پوره، مارمالاد نهایی و مربا نهایی

۴-۳-۲-۱- لواشک

لواشک بر پایه کاهش رطوبت پوره و ایجاد محصولی نیمه خشک، منعطف و پایدار تولید می‌شود. در مرحله نخست، پوره تحت پیش پخت قرار می‌گیرد تا بافت آن یکنواخت تر شود، آنزیم‌های مخرب غیرفعال شوند و بار میکروبی کاهش یابد. این عملیات معمولاً در دمای حدود ۸۰ تا ۹۰ درجه سلسیوس و به مدت تقریبی ۱۰ تا ۱۵ دقیقه ادامه می‌یابد تا پایداری اولیه، بدون تخریب شدید ترکیبات طعمی، ایجاد

مطلوب یا نقطه ژل ادامه می‌یابد که با افزایش غلظت قند همراه است. محصول نهایی معمولاً دارای بریکس ۶۵ تا ۶۸ درجه است و به صورت داغ در ظرف بسته‌بندی می‌شود تا خلأ نسبی ایجاد شده، ماندگاری را افزایش دهد (والکوویاک-تامچاک، ۲۰۰۸).

۴-۳-۲-۳- کنسانتره (تغلیظ تحت خلأ)

در تولید کنسانتره آلو، هدف اصلی کاهش حجم و افزایش غلظت در عین حفظ حداکثری ترکیبات حساس به حرارت است. در این مسیر، پوره ابتدا تحت فرآیند پرس قرار می‌گیرد تا آبمیوه از بخش‌های جامد و تفاله جدا شود و مایعی نسبتاً شفاف به دست آید. آبمیوه پس از آن وارد تبخیرکننده می‌شود که در شرایط خلأ کار می‌کند. ایجاد خلأ موجب کاهش نقطه جوش آب می‌شود و تبخیر در دماهای پایین‌تر از شرایط اتمسفریک رخ می‌دهد. این موضوع به حفظ بهتر ویتامین‌ها، ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدان‌های حساس کمک می‌کند. فرآیند تا رسیدن به غلظت بالا ادامه می‌یابد و محصول نهایی معمولاً دارای بریکس حدود ۶۵ تا ۷۰ درجه است (شکل ۴-۶). کنسانتره تولیدی اغلب به صورت آسپتیک در بشکه‌های استریل بسته‌بندی می‌شود تا برای استفاده در صنایع نوشیدنی، شیرینی‌پزی یا تولید محصولات عملکردی آماده باشد (والکوویاک-تامچاک، ۲۰۰۸).



شکل ۴-۶- شماتیک مراحل فرآیند تولید کنسانتره میوه

۴-۳-۲-۴- مارمالاد

مارمالاد آلو از نظر فرآیندی شباهت زیادی به مربا دارد، اما از نظر بافت و ویژگی حسی متفاوت است. در فرمولاسیون آن علاوه بر پوره، شکر با نسبت حدود ۴۵ درصد و اسید برای تنظیم شرایط ژل سازی افزوده می شود، اما تفاوت اصلی در استفاده از پوست رنده شده یا قطعات ریز میوه است که بافت و طعم متمایز ایجاد می کند. pH مارمالاد معمولاً در حدود ۳ تنظیم می شود که کمی اسیدی تر از مرباست و به تشکیل شبکه ژلی قوی تر کمک می کند. مخلوط تا نقطه جوش حرارت داده می شود تا ضمن تبخیر آب اضافی، ساختار ژله ای شکل گیرد. محصول نهایی با بریکس حدود ۶۵ درجه دارای قوام ژله ای یکنواخت همراه با تکه های پوست است که از ویژگی شاخص مارمالاد محسوب می شود (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷- شماتیک مراحل فرآیند تولید مارمالاد میوه

شکل ۴-۸ تفاوت مارمالاد و مربا را به لحاظ فنی نشان می‌دهد. مارمالاد بر اساس ژل‌سازی مشابه مربا اما با حضور قطعات پوست یا میوه شکل می‌گیرد و بافتی ژله‌ای‌تر ارائه می‌دهد (والکویاک-تامچاک، ۲۰۰۸).



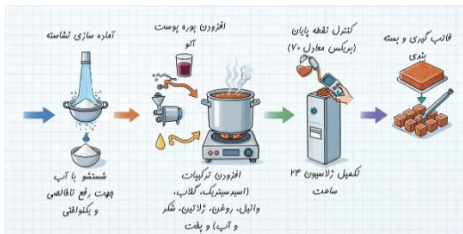
شکل ۴-۸- مقایسه مارمالاد و مربا از لحاظ فنی

۴-۳-۲-۵- مسقطی آلو

فرآیند تولید مسقطی پوست آلو با بهره‌گیری از ظرفیت‌های جانبی این میوه، نمونه‌ای از توسعه محصولات نیمه‌جامد با ارزش افزوده بالاست. در این فرآیند، ماده اولیه شامل آلو سیاه تازه یا خشک‌شده است که پوست آن پس از جداسازی و آماده‌سازی به‌عنوان جزء عملکردی و طعم‌دهنده

به کار گرفته می‌شود و در نهایت محصولی ژله‌ای و براق به- دست می‌آید که معمولاً با پودر نارگیل یا دیگر مواد تزئینی پوشش داده می‌شود. در آغاز، نشاسته به منظور حذف ناخالصی‌ها و دستیابی به یکنواختی با آب شسته می‌شود تا عملکرد ژلاتینه‌سازی آن بهبود یابد. پس از آن نشاسته شسته شده همراه با آب و شکر در مخزنی مجهز به همزن مداوم ترکیب می‌شود تا یک سیستم سوسپانسیونی همگن شکل گیرد. سپس پوره پوست آلو به مخلوط پایه افزوده می- شود و به ترتیب اسیدهای خوراکی مانند اسید سیتریک یا طعم‌دهنده‌هایی مانند گلاب و وانیل، ژلاتین از پیش حل شده در آب گرم، و مقدار مشخصی روغن اضافه می‌شود. حرارت‌دهی ملایم و مداوم به مدت حدود ۴۰ تا ۶۰ دقیقه موجب آغاز ژلاتینه‌سازی نشاسته، افزایش غلظت، ایجاد قوام کشسان و تشکیل ساختاری شفاف می‌شود. نقطه پایان پخت با اندازه‌گیری بریکس کنترل می‌شود و زمانی که مواد جامد انحلال‌پذیر به حدود ۷۰ درجه بریکس برسد، فرآیند متوقف می‌شود. توده غلیظ در قالب‌ها ریخته خواهد شد و برای تکمیل ساختار ژلی و تثبیت بافت به مدت حدود ۲۴ ساعت در شرایط سرد نگهداری می‌شود. پس از سردسازی، محصول از قالب خارج می‌شود، برش می‌خورد و در صورت یکنواخت- بودن ظاهری و بافت مطلوب بسته‌بندی و عرضه می‌شود (شکل ۴-۹).

تمامی محصولات نیمه‌جامد و مایع مبتنی بر آلو در واقع از یک مرحله آغازین مشترک شروع می‌شوند که هدف آن تبدیل میوه تازه به پوره یا آبمیوه پایه است. این فرآیند با ورود آلوی تازه و رسیده به کارخانه آغاز می‌شود. میوه‌ها پس از تخلیه، روی نوار نقاله حرکت می‌کنند و با آب تحت فشار شسته می‌شوند تا آلودگی‌های سطحی حذف گردد. در مرحله بعد، آلو خرد و به‌دستگاه پرس وارد می‌شود. در این بخش، بافت میوه تخریب و تحت فشار قرار می‌گیرد تا عصاره آن استخراج شود. خروجی این مرحله آبمیوه یا پوره اولیه است که در مخازن نگهداری می‌شود و به‌عنوان خوراک ورودی برای خطوط تولید کنسانتره، نوشیدنی، شربت و سرکه به‌کار می‌رود (والکوویاک-تامچاک، ۲۰۰۸).



شکل ۴-۹- فرآیند تولید مسقطی پوست آلو

۴-۳-۲-۶- نوشیدنی آلو

در تولید نوشیدنی آلو، هدف دستیابی به محصولی رقیق، خوش‌طعم و آماده مصرف است. پوره یا آبمیوه پایه در مخازن اختلاط با آب، شکر، اسیدهای خوراکی و

پایدارکننده‌ها ترکیب می‌شود تا ویژگی‌های حسی و قوام تنظیم گردد. محصول اگر به صورت نکتار پالپی مدنظر باشد، مخلوط از هوموژنایزر عبور می‌کند تا ذرات پالپ به‌طور یکنواخت در فاز مایع توزیع شوند و از ته‌نشینی جلوگیری شود. اگر هدف تولید نوشیدنی شفاف باشد، فرآیند فیلتراسیون دقیق برای حذف ذرات معلق در نظر گرفته می‌شود. محصول نهایی پس از آن تحت تیمار حرارتی دما بالا-زمان کوتاه قرار می‌گیرد تا ضمن حفظ کیفیت حسی، ایمنی میکروبی تأمین شود. در پایان، نوشیدنی در بطری یا پاکت‌های مناسب پر و بسته‌بندی می‌گردد. شکل ۴-۱۰ بخش‌های بعدی فرآیند تولید کنسانتره، نوشیدنی و شربت آلو را نشان می‌دهند (والکوویاک-تامچاک، ۲۰۰۸).

۴-۳-۲-۷- شربت آلو

شربت آلو محصولی غلیظ و شیرین است که برای رقیق‌سازی و مصرف تدریجی طراحی می‌شود. در این مسیر، ابتدا عصاره‌ای شفاف از پوره اولیه استخراج می‌شود تا محصول نهایی ظاهری براق و بدون کدورت داشته باشد. پس از آن مقدار قابل توجهی شکر، معمولاً در محدوده ۵۰ تا ۷۰ درصد، به همراه اسید افزوده می‌گردد و مخلوط در دیگ‌های پخت حرارت داده می‌شود تا به قوام مطلوب برسد. افزایش غلظت سبب بالا رفتن بریکس و کاهش فعالیت آبی

می‌شود که به پایداری محصول کمک می‌کند. پیش از بسته‌بندی، شربت از فیلتر توری عبور داده می‌شود تا هرگونه ذره باقی‌مانده حذف گردد و شفاف‌بودن نهایی تضمین شود. محصول نهایی با بریکس بالا در بطری‌های شیشه‌ای یا ظرف‌های مقاوم پر می‌شود.

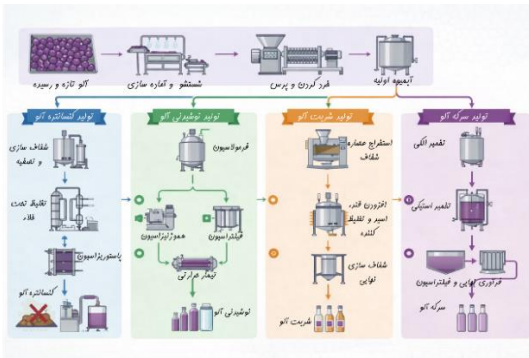
۴-۳-۲-۸- سرکه آلو

سرکه آلو بر پایه فرآیند تخمیری دومرحله‌ای تولید می‌شود که ماهیت بیوتکنولوژیکی دارد. در مرحله نخست، آب‌میوه آلو در مخازن بسته و در شرایط بی‌هوازی قرار می‌گیرد تا مخمرها قندهای طبیعی میوه را به الکل تبدیل کنند. این تخمیر الکلی معمولاً در دمای حدود ۲۲ تا ۲۸ سلسیوس و در دو تا سه هفته طی می‌شود. در مرحله دوم، مایع الکلی حاصل به مخزن دیگری منتقل می‌شود که دارای سیستم هوادهی است؛ در حضور اکسیژن، باکتری‌های هوازی الکل را به اسید استیک تبدیل می‌کنند و سرکه شکل می‌گیرد. این مرحله در دمای حدود ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس و طی چند هفته ادامه می‌یابد تا اسیدیته مطلوب حاصل شود. در پایان، سرکه خام برای ته‌نشینی ناخالصی‌ها نگهداری و پس از فیلترشدن در بطری بسته‌بندی می‌شود.

در مجموع، آلو ماده اولیه چندمنظوره‌ای است که می‌تواند از طریق فرآیندهای حرارتی، تغلیظی و تخمیری به

فصل چهارم

طیف گسترده‌ای از محصولات نیمه‌جامد و مایع تبدیل شود، محصولاتی که از نظر فناوری تولید، ماندگاری، ارزش تغذیه‌ای و کاربرد مصرفی، ویژگی‌های متفاوت اما مکمل یکدیگر دارند.



شکل ۴-۱۰- تولید کنسانتره، نوشیدنی، سرکه و شربت آلو

۴-۴-محصولات جانبی آلو

صنایع فرآوری آلو سالانه مقادیر عظیمی از ضایعات شامل پوست، هسته و پالپ باقیمانده تولید می‌کنند که مدیریت نامناسب آن‌ها چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی قابل توجهی ایجاد می‌کند. این مواد به ظاهر زائد، سرشار از ترکیبات باارزشی مانند فیبرهای غذایی، پلی‌فنول‌ها، آنتوسیانین‌ها، پکتین و روغن‌های گیاهی هستند. بر اساس آمار فائو، تولید جهانی آلو در سال ۲۰۲۰ بیش از ۱۲ میلیون تن بوده است. در فرآیندهای فرآوری، حدود ۱۵-۳۰ درصد از وزن کل میوه به عنوان محصول جانبی باقی می‌ماند که عمدتاً شامل پوست (در فرآیندهایی مانند تولید کمپوت یا آبمیوه)، هسته و پوماس (تفاله جامد باقیمانده پس از آبگیری) است (شکل ۴-۱۱).

۴-۴-۱- پوست آلو

پوست آلو سیاه، محصول جانبی فرآیند خشک کردن آلو سیاه، دارای ترکیبات ارزشمند تغذیه‌ای از جمله ویتامین‌ها، مواد معدنی، کربوهیدرات‌ها و فیبر خام است. این ماده همچنین منبعی غنی از ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی است و می‌تواند برای تولید محصولات غذایی نوآورانه استفاده شود. به‌طور معمول از هر ۵ کیلوگرم آلو سیاه، حدود ۱ کیلوگرم پوست به‌دست می‌آید؛ بنابراین، در ایران بیش از ۶۲ هزار تن پوست آلو سالانه تولید می‌شود. در فرآیند

خشک کردن آلو، مقدار قابل توجهی پوست آلو باقی می ماند که می تواند موجب آلودگی محیط زیست شود و هزینه های مرتبط با دفع و مدیریت پسماند را افزایش دهد. این در حالی است که پوست آلو حاوی بخش عمده ای از ترکیبات ارزشمند تغذیه ای میوه است و می توان از آن برای تولید محصولات غذایی جدید و باارزش افزوده بالا بهره برد.

۴-۲-۴- خواص تغذیه ای پوست آلو

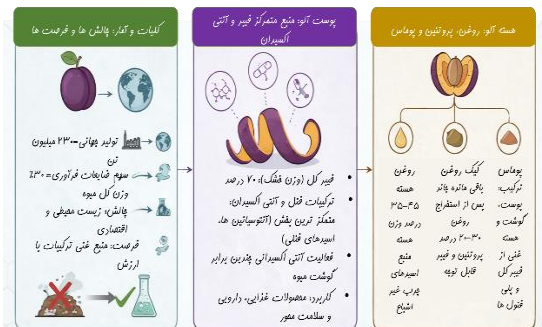
پوست آلو یکی از غنی ترین اجزای این میوه از نظر ترکیبات تغذیه ای و زیست فعال شناخته می شود و نقش مهمی در ارزش تغذیه ای و کاربردهای صنعتی آلو دارد. این بخش از میوه مهم ترین منبع فیبر غذایی است و میزان فیبر کل آن بر پایه وزن خشک، معمولاً بین ۴۰ تا ۷۰ درصد گزارش شده است. سهم غالب این فیبر به صورت انحلال ناپذیر شامل سلولز و همی سلولز، و بخش کوچک تری به صورت فیبر انحلال پذیر، عمدتاً پکتین، وجود دارد که در بهبود عملکرد دستگاه گوارش، کاهش سرعت جذب قند و تنظیم بافت غذا نقش دارد. افزون بر این، پوست آلو به ویژه در ارقام دارای رنگدانه های پررنگ، متمرکزترین بخش میوه از نظر ترکیبات فنولی به شمار می رود. آنتوسیانین ها مانند سیانیدین-۳-گلوکوزید که مسئول رنگ های آبی، بنفش و قرمز هستند، همراه با اسیدهای فنولی از جمله اسید کلروژنیک و اسید کافئیک، ترکیبات غالب این بخش را

تشکیل می‌دهند و موجب فعالیت آنتی‌اکسیدانی چشمگیری می‌شوند، به طوری که توان آنتی‌اکسیدانی پوست آلو در بسیاری از گزارش‌ها چندین برابر توان آنتی‌اکسیدانی گوشت میوه ذکر شده است. پوست آلو منبع مهمی برای استخراج پکتین با درجه استری متغیر، اعم از پکتین با درجه استری پایین یا بالا، محسوب می‌شود و کیفیت پکتین استخراج شده به رقم آلو، شرایط زیست‌محیطی و روش استخراج وابسته است. این ویژگی‌ها موجب شده است پوست آلو نه تنها در زمره ضایعات قابل استفاده قرار گیرد، بلکه ماده‌ای ارزشمند در صنایع غذایی، دارویی و فراورده‌های سلامت محور شناخته شود.

۴-۳- هسته (دانه) آلو

هسته آلو یکی از ارزشمندترین بخش‌های محصولات جانبی این میوه است و به دلیل ترکیبات شیمیایی غنی، کاربردهای گسترده‌ای در صنایع غذایی، آرایشی و خوراک دام دارد. روغن استخراج شده از هسته آلو که حدود ۳۵ تا ۴۵ درصد وزن هسته را تشکیل می‌دهد، سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع، به ویژه اسید اولئیک (۷۰-۸۰ درصد) و اسید لینولئیک (۱۰-۲۰ درصد) است و به دلیل حضور توکوفرول‌ها، فیتواسترول‌هایی مانند بتا-سیتوسترول و ترکیبات معطر، به عنوان روغن گیاهی با ارزش تغذیه‌ای و خواص کاربردی مطلوب در فرمولاسیون محصولات آرایشی و مراقبت از

پوست شناخته می‌شود. پس از استخراج روغن، باقیمانده جامد یا کیک روغن که حاوی ۳۰ تا ۴۰ درصد پروتئین و مقدار قابل توجهی فیبر غذایی است، قابلیت استفاده به‌عنوان مکمل خوراک دام یا منبع بالقوه پروتئین گیاهی در صنایع غذایی را دارد. علاوه بر این، پوماس یا تفاله آلو که متشکل از پوست، بخش‌هایی از گوشت میوه و گاهی قطعات ریز هسته است به دلیل غلظت بالای فیبر کل، پلی‌فنول‌ها و دیگر ترکیبات زیست‌فعال به‌عنوان یک ماده اولیه ارزشمند برای تولید پودرهای فیبری، عصاره‌های آنتی‌اکسیدانی و افزودنی‌های عملکردی مورد توجه قرار می‌گیرد. مجموعه این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که هسته و پوماس آلو نه تنها ضایعات محسوب نمی‌شوند، بلکه می‌توانند در توسعه محصولات نوآورانه و پربازده در صنایع مختلف منابع مهمی باشند.



شکل ۴-۱۱- ارزش آفرینی از محصولات جانبی آلو

۴-۵- کاربردهای محصولات جانبی آلو در صنایع مختلف

۴-۵-۱- صنعت غذا و نوشیدنی (غذاهای فراسودمند و عملکردی)

محصولات جانبی آلو، به‌ویژه پوست و تفاله، به دلیل بالابودن مقدار فیبر غذایی، ترکیبات فنولی و رنگدانه‌های طبیعی آنها جایگاهی روبه‌رشد در صنایع مختلف غذایی و نوشیدنی به‌دست آورده‌اند و می‌توانند به‌عنوان مواد اولیه ارزشمند در تولید غذاهای فراسودمند و عملکردی به‌کار روند. پودر پوست یا پوماس آلو از منظر تغذیه‌ای منبعی است غنی از فیبر انحلال‌پذیر و انحلال‌ناپذیر که می‌تواند در محصولات نانوایی مانند نان، کیک، بیسکویت و ماکارونی برای افزایش فیبر و بهبود بافت استفاده شود. در صنعت فرآورده‌های گوشتی نیز این پودر به‌عنوان جایگزین بخشی از چربی و عامل افزایش‌دهنده ظرفیت نگهداری آب، نقشی مهم در بهبود بافت و کاهش بار کالری محصول دارد. در فرآورده‌های لبنی، افزودن پودر پوست آلو می‌تواند موجب بهبود قوام، افزایش ارزش تغذیه‌ای و ایجاد ویژگی‌های حسی مطلوب شود. از سوی دیگر، عصاره غلیظ پوست ارقام رنگی آلو، به‌ویژه آلوهای قرمز و بنفش، منبعی طبیعی و ایمن از آنتوسیانین‌هاست و می‌تواند جایگزین مناسبی برای رنگ‌های مصنوعی در نوشیدنی‌ها، آب‌نبات‌ها، ماست‌های میوه‌ای و

پوشش‌های خوراکی باشد. این عصاره‌ها علاوه بر نقش رنگ‌دهندگی، به‌واسطهٔ دارا بودن پلی‌فنول‌های فراوان، خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی قابل توجهی دارند و می‌توانند ماندگاری محصولات را افزایش دهند که در معرض اکسیداسیون چربی یا فساد میکروبی قرار دارند. پودر فیبر آلو به دلیل قدرت بالای جذب آب و قابلیت ایجاد بافتی مشابه چربی، در تولید محصولات کم‌چرب مانند سس مایونز، بستنی و انواع دسر به‌عنوان جایگزین چربی استفاده می‌شود. افزون بر این، پکتین استخراج‌شده از پوست آلو که از نظر ساختاری با پکتین تجاری قابل مقایسه است، در تولید مربا، ژله، پاستیل و نیز به‌عنوان پایدارکننده و عامل قوام‌دهنده در نوشیدنی‌ها و دسرهای لبنی کاربرد گسترده دارد. چنین تنوعی در کاربرد نشان می‌دهد که ضایعات آلو نه‌تنها ماده‌ای دورریختنی نیست، بلکه منبعی استراتژیک برای توسعهٔ محصولات نوآورانه و ارتقای پایداری در صنعت غذا به‌شمار می‌رود (مونکاتا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

۴-۵-۲- صنایع دارویی، مکمل‌های غذایی و مواد آرایشی-بهداشتی

محصولات جانبی آلو به‌ویژه در حوزهٔ مکمل‌های غذایی و صنایع آرایشی-بهداشتی کاربردهای ارزشمندی دارند و می‌توانند به‌عنوان منابع طبیعی ترکیبات زیست‌فعال استفاده

¹ Munekata

شوند. پودر غلیظ‌شده عصاره پوست آلو، به دلیل مقدار بالای آنتی‌اکسیدان‌ها، پلی‌فنول‌ها و ترکیبات ضدالتهاب پتانسیل آن را دارد که در قالب کپسول یا قرص‌های مکمل غذایی برای ارتقای سلامت دستگاه گوارش، بهبود عملکرد قلب و عروق و کاهش استرس اکسیداتیو ناشی از رادیکال‌های آزاد عرضه شود. در کنار آن، روغن استخراج‌شده از هسته آلو با دارا بودن اسیدهای چرب ضروری، ویتامین E و ویژگی‌هایی همچون بافت سبک و جذب سریع یکی از روغن‌های گیاهی ارزشمند در تولید کرم‌ها، لوسیون‌ها، سرم‌های ترمیم‌کننده و فرآورده‌های مراقبت از مو کاربرد گسترده‌ای یافته است. افزون بر این، عصاره پوست آلو به دلیل فعالیت آنتی‌اکسیدانی قوی، اثرهای ضدپیری و توانایی مهار رادیکال‌های آزاد، در فرمولاسیون محصولات مراقبت از پوست مانند کرم‌های ضدچروک، سرم‌های بازسازی‌کننده و ماسک‌های صورت به کار می‌رود. وجود آنتوسیانین‌ها در این عصاره‌ها، علاوه بر نقش زیبایی، می‌تواند اثر محافظتی در برابر استرس اکسیداتیو ناشی از تابش UV ایجاد و به تقویت سد دفاعی پوست کمک کند. مجموع این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که محصولات جانبی آلو نه تنها ارزش افزوده بالایی دارند، بلکه گزینه‌های سازگار با محیط‌زیست و سلامت‌محور برای توسعه

محصولات نوین در صنایع تغذیه و آرایشی محسوب می‌شوند (مونکاتا^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

۴-۵-۳- استخراج آنتوسیانین از پوست آلو

برابر شکل ۴-۱۲، آنتوسیانین از پوست آلو بر پایه جداسازی رنگدانه‌های فنولی انحلال‌پذیر در آب استخراج می‌شود؛ این رنگدانه‌ها در اپیدرم میوه تجمع یافته‌اند و به‌عنوان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی ارزشمند در صنایع غذایی و دارویی مورد توجه‌اند. در این فرآیند ابتدا پوست آلوهای رسیده پس از شست‌وشوی کامل و حذف مواد خارجی جدا می‌گردد و به‌منظور افزایش سطح تماس با حلال، به قطعات کوچک یا نوارهای باریک خرد می‌شود. یک حلال اسیدی آماده می‌گردد که معمولاً ترکیبی از آب یا اتانول رقیق همراه با مقدار کمی اسید خوراکی است؛ کاهش pH در این مرحله نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری ساختار فلویلیوم دارد و موجب حفظ رنگ و افزایش بازده استخراج می‌شود. پوست خردشده در حلال اسیدی قرار می‌گیرد و طی دوره‌ی زمانی چندساعته تا یک‌شبانه‌روز در محیط تاریک نگهداری می‌شود تا ساختارهای سلولی تضعیف و آنتوسیانین‌ها از دیواره سلولی آزاد و در فاز مایع حل شوند. تاریکی در خلال استخراج برای جلوگیری از تخریب فوتوشیمیایی رنگدانه‌ها ضروری است. پس از رسیدن به تعادل استخراج، مخلوط حاصل از طریق

¹ Munekata

فیلتراسیون کاغذی یا پارچه‌ای صاف می‌شود تا اجزای جامد، الیاف و ناخالصی‌های احتمالی حذف شود و محلولی یکنواخت و شفاف به‌دست آید. عصاره حاصل که به‌طور معمول رنگ قرمز تا ارغوانی دارد، حاوی مجموعه‌ای از آنتوسیانین‌ها از جمله سیانیدین-۳-گلوکوزید و مشتقات آن است و می‌تواند به‌عنوان رنگ طبیعی، افزودنی آنتی‌اکسیدانی یا پیش‌ماده تولید پودر رنگ در ادامه فرآیندهای تغلیظ یا خشک کردن استفاده شود. این روش استخراج، ضمن سادگی و کارایی بالا، امکان بهره‌برداری از ضایعات پوستی آلو را فراهم می‌کند و در توسعه فناوری‌های پاک و تولید مواد طبیعی جایگزین رنگ‌های سنتتیک اهمیت ویژه‌ای دارد (مونکاتا و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۴-۱۲- فرآیند استخراج آنتوسیانین از پوست آلو

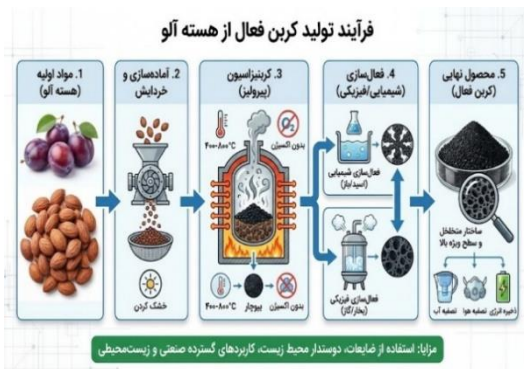
۴-۵-۴ - صنعت خوراک دام و آبزیان

یک روغن هسته آلو و پودر پوماس خشک شده، به دلیل مقدار پروتئین، فیبر و انرژی آن می‌توانند جایگزینی جزئی و باصرفه برای خوراک دام (به ویژه نشخوارکنندگان) و آبزیان باشد. این کار نه تنها هزینه خوراک را کاهش می‌دهد، بلکه باعث بهبود سلامت روده حیوانات می‌شود (مونکاتا و همکاران، ۲۰۲۳)..

۴-۵-۵ - کاربردهای غیرخوراکی و صنعتی

کاربردهای غیرخوراکی و ضایعات آلو به دلیل ترکیبات پلیمری، فنولی و کربنی ارزشمند آنها، طی سال‌های اخیر به یکی از محورهای مهم پژوهش و توسعه در حوزه فناوری زیستی و مهندسی مواد تبدیل شده است. از پوست و تفاله آلو می‌توان برای تولید مواد بسته‌بندی فعال و هوشمند بهره گرفت، به گونه‌ای که فیلم‌ها و پوشش‌های زیست‌تخریب‌پذیر حاصل از پکتین یا پلی‌ساکاریدهای استخراج شده از پوست آلو، با بارگذاری عصاره‌های ضد میکروبی، می‌توانند به عنوان سیستم‌های بسته‌بندی فعال عمل کنند و مدت ماندگاری مواد غذایی تازه را افزایش دهند. در حوزه محیط‌زیست، تبدیل ضایعات آلو به بیوپلاست از طریق پیرولیز کردن، امکان دسترسی به جاذبی کم‌هزینه و کارآمد را فراهم می‌کند که به دلیل سطح ویژه بالا و ساختار متخلخل، قابلیت حذف فلزات سنگین و رنگ‌های صنعتی از فاضلاب را دارد (شکل ۴-۱۳). افزون بر

این، ضایعات آلو از طریق هضم بی‌هوازی می‌توانند به بیوگاز عمدتاً متان به‌عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر تبدیل شوند و پساب غنی باقیمانده این فرآیند نیز به‌عنوان کود آلی ارزشمند قابل استفاده است. این کاربردها نشان می‌دهند که ضایعات آلو نه تنها تهدید زیست‌محیطی محسوب نمی‌شوند، بلکه می‌توانند به مواد اولیه‌ای راهبردی برای تولید محصولات نوآورانه و سازگار با محیط‌زیست بدل شوند (مونکاتا و همکاران، ۲۰۲۳).



شکل ۴-۱۳- فرآیند تولید کربن فعال از هسته آلو

۴-۵-۶- چالش‌ها و محدودیت‌ها

با وجود پتانسیل‌های قابل‌توجه در بهره‌برداری از محصولات جانبی آلو، تجاری‌سازی این محصولات با مجموعه‌ای از چالش‌های فناورانه، اقتصادی و مقرراتی مواجه

است که نیازمند رویکردی یکپارچه برای رفع آنهاست. ترکیب شیمیایی پوست و هسته آلو به شدت متأثر از رقم، شرایط کاشت، مرحله رسیدگی و نوع فرآوری اولیه است و این تغییرپذیری طبیعی، استانداردسازی و یکنواختسازی کیفیت در محصول نهایی را دشوار می‌سازد. علاوه بر این، ماهیت حجیم، مرطوب و پراکنده ضایعات هزینه‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل و نگهداری پیش از فرآوری را افزایش می‌دهد و نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و زیرساخت‌های لجستیکی مناسب است. از نظر فناوری نیز بسیاری از روش‌های استخراج نوین و کارآمد مانند استخراج فوق‌بحرانی اگرچه در مقیاس آزمایشگاهی موفقیت بالایی داشته‌اند، اما هزینه سرمایه‌گذاری اولیه برای انتقال به مقیاس صنعتی همچنان یکی از موانع جدی توسعه محسوب می‌شود. در حوزه ایمنی و مقررات، استفاده از ترکیبات استخراج‌شده در صنایع غذایی یا دارویی مستلزم ارزیابی دقیق باقی‌مانده سموم، فلزات سنگین و آلاینده‌های میکروبی و انطباق با استانداردهای بین‌المللی مانند ¹FDA و ²EFSA است، عاملی که پیچیدگی و هزینه فرآیند تأییدیه را افزایش می‌دهد. از منظر بازار نیز رقابت این مواد با مواد اولیه متداول مانند فیبر گندم، رنگ‌های مصنوعی یا افزودنی‌های شناخته‌شده، همراه با نیاز

¹ Food and Drug Administration

² European Food Safety Authority

به فرهنگ‌سازی برای پذیرش محصولات نوآورانه مبتنی بر ضایعات، چالش‌های اقتصادی مهمی ایجاد می‌کند. مجموعه این عوامل نشان می‌دهد تجاری‌سازی موفق محصولات جانبی آلو نیازمند ترکیب توسعه فناوریانه، حمایت‌های سیاستی، مدل‌های اقتصادی پایدار و افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان است.

۴-۶- نتیجه‌گیری

محصولات جانبی صنعت آلو از این پس نباید به‌عنوان نقطه پایان زنجیره ارزش تلقی شوند، بلکه باید به‌مثابه آغازگاهی برای خلق ارزش‌های نوین در چارچوب اقتصاد چرخشی تلقی شوند؛ رویکردی که با شعار «هیچ چیز را هدر نده» در حال تبدیل‌شدن به راهبردی مهم در صنایع غذایی است. تحقق این چشم‌انداز مستلزم شکل‌گیری خوشه‌های صنعتی منسجم میان باغداران، واحدهای فرآوری، مراکز تحقیقاتی و شرکت‌های دانش‌بنیان است تا زنجیره‌ای یکپارچه از مزرعه تا تولید محصولات با ارزش افزوده شکل گیرد. سرمایه‌گذاری هدفمند در تحقیق و توسعه، به‌ویژه در حوزه فناوری‌های استخراج سبزی، باصرفه و مقیاس‌پذیر که به‌طور اختصاصی برای ضایعات آلو طراحی می‌شوند، می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بهره‌برداری اقتصادی و زیست‌پایدار داشته باشد. تدوین استانداردهای ملی برای ارزیابی کیفیت

پودرها و عصاره‌های حاصل از ضایعات، همراه با توسعه برندهایی مبتنی بر پایداری، سلامت و اصالت، زمینه اعتمادسازی و نفوذ این محصولات را در بازار فراهم می‌کند. از سوی دیگر، آگاهی بخشی به مصرف‌کنندگان درباره مزایای محیط‌زیستی و تغذیه‌ای محصولات تولیدشده از منابع بازیافتی ایجاد تقاضای پایدار را تضمین خواهد کرد. در جمع‌بندی، بهره‌وری از محصولات جانبی آلو بازی برد-برد است: برای تولیدکننده منبع درآمدی جدید ایجاد می‌کند، برای جامعه از هزینه‌های دفع ضایعات و پیامدهای زیست‌محیطی می‌کاهد و برای مصرف‌کننده امکان دسترسی به محصولاتی سالم و نوآورانه را فراهم می‌سازد. ترکیب دانش سنتی، فناوری نوین و راهبردهای کلان می‌تواند این چالش را به یکی از بزرگ‌ترین فرصت‌های صنعت میوه‌کاری کشور بدل کند.

فصل پنجم

کنترل کیفیت فرآورده‌های آلو

۵-۱- مقدمه

کنترل کیفیت و ایمنی غذایی یکی از ارکان اساسی در زنجیره ارزش فرآورده‌های آلو به شمار می‌رود. با توجه به ماهیت فسادپذیر آلو و فرآورده‌های حاصل از آن مانند آلوی خشک، لواشک، پوره، کنسانتره و غیره، هرگونه ضعف در کنترل‌های کیفی و بهداشتی می‌تواند منجر به افزایش ضایعات، کاهش ماندگاری، افت پذیرش مصرف‌کننده و محدودیت دسترسی به بازارهای داخلی و صادراتی شود.

هدف اصلی کنترل کیفیت در این فصل، تضمین سلامت مصرف‌کننده، حفظ ویژگی‌های حسی و تغذیه‌ای، افزایش عمر ماندگاری و کاهش ضایعات پس از فرآوری آلو است. این امر با استقرار نظام‌های استاندارد، پایش مستمر شاخص‌های

کیفی و به‌کارگیری اصول عملیات صحیح تولید^۱ و تجزیه و تحلیل خطر و نقاط بحرانی^۲ امکان‌پذیر است. استانداردهای مواد غذایی که با هدف ایمنی و سلامت مصرف‌کنندگان تدوین می‌شوند مهم‌ترین منابع علمی موجود و مورد قبول در تجارت ملی و بین‌المللی شناخته می‌شوند. در حال حاضر نهادهای نظارتی مختلفی مانند اتحادیه اروپا^۳ (EU)، استانداردهای بین‌المللی کدکس مواد غذایی^۴ (CAC)، ایزو^۵ (ISO) در خارج کشور و استانداردهای ملی سازمان ملی استاندارد ایران^۶ (INSO) در داخل کشور، مجموعه‌ای گسترده از روش‌های آزمایشگاهی را برای ارزیابی انواع محصولات خام و فرآوری‌شده ارائه می‌کنند. در این فصل الزامات استانداردهای ملی و بین‌المللی میوه و فرآورده‌های آلو و آزمون‌های کیفی آنها شامل ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی، ماندگاری^۷ و استحکام بسته‌بندی، برچسب‌گذاری و ردیابی بررسی شده است. مواردی نیز پیشنهاد شده است که نیاز به اصلاح و تکمیل دارند.

¹ Good Manufacturing Practice, GMP

² Hazard Analysis Critical Control Point, HACCP

³ European Union, EU

⁴ Codex Alimentarius Commission, CAC

⁵ International Organization for Standardization, ISO

⁶ Iran National Standards Organization, INSO

⁷ Shelf life

۵-۲- الزامات استانداردهای ملی میوه و فرآورده-

های آلو

کنترل کیفیت و ایمنی میوه و فرآورده‌های آلو تابع ضوابط سازمان ملی استاندارد ایران است. جدول ۵-۱ موضوع و شماره استانداردهای عمومی برای کنترل کیفیت میوه‌ها و فرآورده‌های آنها را نشان می‌دهد. در جدول ۵-۲ استانداردهای بسته‌بندی میوه و در جدول ۵-۳ استانداردهای خشکبار میوه آورده شده است. این استانداردها اختصاصی برای میوه آلو نیستند و برای همه میوه‌ها کاربرد دارند.

استانداردهای ویژه آلو در جدول شماره ۵-۴ ذکر شده است. ایراد اصلی استانداردهای ملی عمومی در بسیاری از موارد این است که کاربر را سر در گم می‌کنند. برای مثال، استاندارد شماره ۲۶۸۵ در مورد روش‌های آزمون آب میوه‌ها است ولی اندازه‌گیری مواد جامد انحلال‌پذیر و سولفات و دیگر آزمون‌ها هر یک استاندارد جداگانه دارد. حتی در مواردی مانند اندازه‌گیری کادمیم برای هر روش اندازه‌گیری دستگاهی دو قسمت اول و دوم در دو استاندارد تنظیم شده است.

علاوه بر آن، در بسیاری از موارد روش کار و افزودنی‌هایی که در فرآورده‌های موجود در بازار وجود دارند مانند انواع ترکیباتی که برای جلوگیری از قهوه‌ای شدن میوه خشک استفاده می‌شوند و حدود مجاز آنها و مقادیر باقیمانده آنها در

محصول نهایی، در متن استانداردهای ملی موجود نیست و تکلیف کاربر را مشخص نمی‌کند. این استانداردهای کاربردی و پایه برای تولیدکننده و نیز برای مصرف‌کننده اهمیت دارند. از طرفی، ماهیت تولید کارگاهی و خانگی برخی از فرآورده‌های آلو مانند آلوی خشک از نظر نبود استانداردهای جامع و کاربردی و اجرایی و نیز به لحاظ نبود نظارت‌های قانونی و مجوزهای تولید حتی در صورت وجود این استانداردها، قابل نقد است (آذر پژوه و همکاران، ۱۴۰۲).

جدول ۵-۱- استانداردهای ملی عمومی کنترل کیفیت میوه‌ها و فرآورده های آنها

ردیف	موضوع استاندارد	شماره
۱	میوه فرآوری شده- ویژگی ها و روش های آزمون	۱۱۰۸۸
۲	میوه‌ها و فرآورده‌های آن -پوره‌های هلو، زردآلو، گلابی، آلو قرمز، آلو زرد، سیب و کیوی-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون	۱۱۶۹۲
۳	آفت‌کش‌ها - مرز بیشینه مانده آفت‌کش‌ها - میوه‌های سردسیری	۱۳۱۱۷
۴	میوه‌ها- سبزی‌ها و فرآورده‌های آن‌ها- اندازه گیری مقدار مس با روش طیف‌سنجی جذب اتمی شعله‌ای - روش آزمون	۱۳۶۳۷
۵	آبمیوه‌ها- نکتارهای میوه و نوشیدنی‌های میوه ای گازدار-ویژگی‌ها و روش‌های آزمون	۱۴۳۴۵
۶	آبمیوه و آبمیوه تغلیظ‌شده و نکتار میوه -آیین کار بهداشتی تولید	۱۴۷۲۳
۷	عملیات خوب کشاورزی ایران (ایران گپ) نقاط کنترلی و معیارهای پذیرش برای تضمین مدیریت جامع فعالیت‌های کشاورزی -میوه ها و سبزی‌ها	۱۴۸۸۹
۸	آبمیوه -تعیین مقدار مواد جامد انحلال‌پذیر به روش اندازه گیری با پیکنومتر	۱۷۶۰۳
۹	آبمیوه‌ها و سبزی‌ها -اندازه گیری مقدار سولفات	۱۸۲۹۹

ادامه جدول ۵-۱- استانداردهای ملی عمومی کنترل کیفیت میوه‌ها و فرآورده‌های آنها

۲۶۸۵	آبمیوه‌ها- روش‌های آزمون	۱۰
۲۸۷۶-۱	میوه‌ها، سبزی‌ها و فرآورده‌های آنها- اندازه‌گیری مقدار کادمیم-قسمت ۱: روش طیف‌سنجی جذب اتمی با کوره گرافیتی (بدون شعله)	۱۱
۲۸۷۶-۲	میوه‌ها، سبزی‌ها و فرآورده‌های آنها- اندازه‌گیری مقدار کادمیم-قسمت ۲: روش طیف‌سنجی جذب اتمی با شعله	۱۲
۳۶۸۷	آبمیوه مخلوط-ویژگی‌ها	۱۳
۳۷۳	فرآورده‌های میوه و سبزی - تعیین اسیدیته - روش آزمون	۱۴
۳۸۶۰	فرآورده‌های میوه و سبزی - اندازه‌گیری مواد جامد انحلال‌ناپذیر در آب-روش آزمون	۱۵
۳۹۰۸	میوه و سبزی و فرآورده‌های آنها - اندازه‌گیری قلیائیت خاکستر محلول در آب	۱۶
۳۹۰۹	اندازه‌گیری سرب در میوه و سبزی و فرآورده‌های آنها به شیوه طیف‌سنجی جذب اتمی بدون شعله	۱۷
۳۹۱۰	روش شناسایی دود گوگرد (دی اکسید گوگرد) در میوه و سبزی و فرآورده‌های آن	۱۸
۶۱۲۳	میوه و سبزی و فرآورده‌های آنها-روش اندازه‌گیری جیوه به شیوه جذب اتمی بدون شعله	۱۹
۶۹۳۶	میوه‌ها و سبزی‌ها - لواشک میوه - آیین کار تولید	۲۰

جدول ۵-۲- استانداردهای ملی بسته بندی میوه

ردیف	موضوع استاندارد	شماره
۱	میوه‌های تازه - بسته‌بندی و حمل و نقل - آیین کار بهداشتی	۱۱۵۵۲
۲	جعبه‌ها- جعبه‌های چوبی مخصوص بسته‌بندی میوه و سبزی‌های تازه - ویژگی‌ها	۱۲۷۷
۳	کاغذ نگهداری میوه‌ها - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون	۲۷۲۹

جدول ۵-۳- استانداردهای ملی خشکبار میوه

ردیف	موضوع استاندارد	شماره
۱	خشکبار و میوه‌های خشک‌شده - روش نمونه برداری	۱۰۳۶
۲	مخلوط میوه‌های خشک ورقه‌شده - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون	۱۴۳۴۲
۳	طبق‌های چوبی مورد استفاده در خشک کردن میوه‌ها و سبزی‌ها - ویژگی‌ها	۱۴۶۴۹
۴	خشکبار و میوه‌های خشک - اندازه‌گیری مقدار رطوبت - روش‌های آزمون	۶۷۲
۵	میوه‌های خشک - آیین کار تولید بهداشتی	۷۲۱۵
۶	الزامات بهداشتی مراکز عمده عرضه - خشکبار	۱۹۱۹۳
۷	آیین کار ضد عفونی خشکبار و حبوبات (فومیگاسیون)	۲۳۳۹

جدول ۵-۴- استانداردهای ملی ویژه آلو

ردیف	موضوع استاندارد	شماره
۱	ویژگی‌های آلو زرد	۳۶۱۰
۲	نوشیدنی‌ها- افشرده آب آلو - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون	۵۸۸۲
۳	آلوی خشک - ویژگی‌ها و روش‌های آزمون	۶۵

دو مورد از فرآوری‌های پر کاربرد آلو شامل آلو خشک و لواشک است که در ادامه آزمون‌های آنها مطابق استانداردهای ملی آورده شده است. بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۶۵ (تجدیدنظر سوم)، آلوی خشک، آزمون‌های الزامی در سه گروه فیزیکی، شیمیایی و میکروبی به شرح شکل ۵-۱ هستند:

آزمون‌های آلوی خشک		
<p>میکروبی</p> <ul style="list-style-type: none"> شمارش کلی میکروارگانیسم ها، کلیفرم ها، اسشریشیا کلی، مضمهر و کپک و سالمونلا 	<p>شیمیایی</p> <ul style="list-style-type: none"> رطوبت باقی مانده انزیمید سولفور فاکسستر نامعلوم در اسید فلزات سنگین باقی مانده سموم و آفت کش 	<p>فیزیکی</p> <ul style="list-style-type: none"> شکل ظاهری بافت، رنگ، بو و مزه آفت زدگی مواد خارجی گیاهی آسیب دیدگی کم گوشتی آلو پوست پسیبیده آلوی سوخته

شکل ۵-۱- آزمون‌های مختلف آلوی خشکباری

لازم است گفته شود اصول و روش نمونه برداری خشکبار در استاندارد شماره ۱۰۳۶ آمده است (استاندارد ملی ایران، ۱۴۰۳).

بر اساس استاندارد ملی ایران شماره ۶۹۳۶ - آیین کار تولید لواشک میوه، در بخش کنترل کیفیت و آزمایشگاه،

آزمون‌های لواشک را می‌توان در سه گروه خلاصه و ارائه کرد (شکل ۵-۲):

آزمون‌های لواشک آلو		
میکروبی <ul style="list-style-type: none">• شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها، مقمرها، لپک‌ها• آلودگی‌های میکروبی شافص	شیمیایی <ul style="list-style-type: none">• رطوبت• مواد جامد مملول• اسیدریته• pH• مواد افزودنی مجاز• باقی مانده مواد شیمیایی مواد اولیه	فیزیکی <ul style="list-style-type: none">• شکل ظاهری• بافت، رنگ، رنگ بو و مزه• ضفامت• یکنواختی سطح• سوتکتگی سطح• رطوبت ظاهری• فشگی محصول

شکل ۵-۲- آزمون‌های مختلف لواشک آلو

در استاندارد به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بسته‌بندی، نشانه‌گذاری، نمونه‌برداری و روش‌های آزمون آب آلوسیاه افشردده شفاف پرداخته شده است (استاندارد ملی ایران، ۱۳۸۲).

مانند استانداردهای بین‌المللی مشابه، اگر تمامی محصولات یک گروه مانند میوه‌های خشک، آب میوه‌ها، پوره‌ها در یک استاندارد قرارگیرند و اگر پس از ذکر آزمون‌ها و موارد مشترک، دیگر موضوع‌های متفاوت متناسب برای هر محصول ذکر شود، ضمن کاربردی بودن استانداردهای ملی

از تدوین استانداردهای پراکنده موضوعی نیز جلوگیری خواهد شد.

۳-۵- ویژگی‌های فیزیکی فرآورده‌های آلو

خواص فیزیکی از نخستین معیارهای قضاوت مصرف‌کننده درباره کیفیت محصول هستند. شاخص‌های فیزیکی شامل: رنگ و یکنواختی ظاهری، وجود مواد خارجی، اندازه، ضخامت و انواع آسیب دیدگی‌ها، چروکیدگی، لهیدگی و پارگی بافت در آلوی خشک (استاندارد ملی ایران، ۱۴۰۱) هستند. روش‌های آزمون شامل اندازه‌گیری رنگ با رنگ‌سنج یا مقایسه چشمی استاندارد، آزمون‌های بافت‌سنجی، آزمون مقاومت محصول و بسته‌بندی در حمل‌ونقل است. کاهش نوسان‌های این شاخص‌ها، به‌طور مستقیم از ضایعات محصول جلوگیری می‌کند.

۴-۵- ویژگی‌های شیمیایی فرآورده‌های آلو

کنترل شیمیایی برای تضمین پایداری و ایمنی محصول ضروری است. پارامترهای شیمیایی مهم شامل رطوبت، باقیمانده انیدرید سولفور، خاکستر انحلال‌ناپذیر در اسید و فلزات سنگین (سرب، کادمیم، جیوه)، باقیمانده سموم کشاورزی است. پایش منظم این عوامل، امکان رد شدن محصول را در آزمون‌های رسمی و صادراتی کاهش می‌دهد.

۵-۵- ویژگی‌های میکروبی فرآورده‌های آلو

فرآورده‌های آلو، به‌ویژه انواع نیمه‌مرطوب آن، مستعد رشد مخمرها و کپک‌ها هستند. میکروارگانیسم‌هایی که در فرآورده‌های آلو امکان رشد دارند شامل مخمرها و کپک‌ها، باکتری‌ها و پاتوژن‌های شاخص در محصولات مرطوب مانند کلی‌فرم‌ها، *اشریشیا کلی* و *سالمونلا* هستند و رعایت بهداشت فردی و محیطی، کنترل دما و رطوبت در تولید و انبار و استفاده از بسته‌بندی‌های مناسب مانند اتمسفر تغییر یافته^۱، و آموزش نیروی انسانی از مهم‌ترین راهکارهای پیشگیری از ضایعات در اثر آلودگی‌های میکروبی است.

۵-۶- آزمون‌های ماندگاری^۲ فرآورده‌های آلو

آزمون‌های ماندگاری امکان پیش‌بینی رفتار محصول را در خلال مراحل توزیع و نگهداری فراهم می‌کنند. دو روش برای این آزمون موجود است: آزمون ماندگاری واقعی و آزمون ماندگاری تسریع‌شده. شاخص‌هایی مانند تغییر رنگ، رشد میکروبی، افت طعم و بافت باید در این آزمون‌ها پایش شوند.

¹ Modified Atmosphere Packaging, MAP

² Shelf-life

۷-۵- بسته‌بندی فرآورده‌های آلو

بسته‌بندی نقش کلیدی در حفظ کیفیت و ایمنی دارد. در استاندارد شماره ۶۵ به مواردی مانند سالم و تمیز بودن و وزن مناسب خانوار و مصارف عمده اشاره شده است. آزمون نفوذپذیری بخار آب و اکسیژن، آزمون استحکام مکانیکی و ارزیابی سازگاری بسته‌بندی با نوع محصول بسته‌بندی مناسب می‌تواند سهم قابل توجهی از ضایعات پس از فرآوری را کاهش دهد. پیشنهاد می‌شود این موارد در تجدید نظر بعدی این استاندارد اضافه شوند.

۸-۵- برچسب‌گذاری و ردیابی

قابلیت ردیابی محصول ابزاری است که وقتی در سیستم بازرسی مواد غذایی و صدور گواهی به کار می‌رود می‌تواند به حفاظت مصرف‌کننده در بازارهای فریبنده کمک کند و باعث تسهیل تجارت مبتنی بر توصیف دقیق محصول شود. استاندارد اصول قابلیت ردیابی - ردیابی محصول به عنوان ابزاری در سیستم بازرسی مواد غذایی و صدور گواهی در سال ۱۳۸۷ به همین منظور تدوین و در ۱۴۰۱ بازنگری شده است.

برچسب‌گذاری درست و سیستم ردیابی اعتماد مصرف‌کننده را افزایش می‌دهد، امکان فراخوانی محصول معیوب را فراهم می‌کند و پیش‌نیاز صادرات به بسیاری از بازارهاست.

۹-۵- الزامات استانداردهای بین‌المللی میوه و فرآورده‌های آلو

برای توسعه صادرات فرآورده‌های آلو، رعایت استانداردهای بین‌المللی ضروری است. استانداردهای کدکس به‌عنوان مرجع جهانی شامل حدود مجاز آلاینده‌ها و باقیمانده سموم، معیارهای ایمنی میکروبی و اصول بهداشتی تولید^۱ و الزام به ردیابی کامل محصول از مزرعه تا مصرف‌کننده هستند.

استانداردهای مدیریتی شامل: سیستم مدیریت ایمنی غذا (ISO 22000) و مدیریت کیفیت (ISO 9001) و برنامه‌های پیش‌نیاز بهداشتی (ISO/TS 22002-1) در صنایع غذایی برای صادرات محصول با توجه به بازار هدف اهمیت دارند. استاندارد بین‌المللی ایزو ۲۲۰۰۰ الزامات سیستم مدیریت ایمنی مواد غذایی^۲ را مشخص می‌کند. این استاندارد به‌گونه‌ای طراحی شده است که تضمین‌کننده ارائه محصولات و خدمات ایمن توسط سازمان‌های فعال در زنجیره غذایی باشد (ایزو ۲۲۰۰۰، ۲۰۱۸).

۱۰-۵- الزامات GMP و HACCP

عملیات بهداشتی خوب شامل بهداشت پرسنل، طراحی بهداشتی خطوط، کنترل آفات و مدیریت پسماند است. تجزیه

^۱ Good Hygiene Practice, GHP

^۲ Food Safety Management System

و تحلیل نقاط کنترل بحرانی مبتنی بر شناسایی خطرهای، تعیین نقاط کنترل بحرانی^۱، پایش و اقدامات اصلاحی است. در فرآوری آلو، مراحل شست‌وشو، خشک کردن و بسته‌بندی از مهم‌ترین این نقاط محسوب می‌شوند که لازم است به این مراحل توجه لازم و کافی شود.

۱۱-۵- نتیجه گیری

به طور کلی کنترل کیفیت و ایمنی در فرآوری آلو الزام فنی و اقتصادی است، نه هزینه‌ی اضافی، و می‌تواند به‌طور مؤثری ضایعات و خطرهای بهداشتی را کاهش دهد و زمینه‌ی توسعه پایدار صنایع تبدیلی آلو را فراهم کند.

در استاندارد ملی شماره ۶۵ که مربوط به ویژگی‌ها و روش آزمون آلوی خشک است مواردی مانند آزمون‌های تاریخ انقضا و بسته‌بندی نیاز به اضافه‌شدن و تکمیل شدن دارند. در بخش آزمون فلزات سنگین، فلزات مهم در خشکبار فقط سرب ذکر شده است. دیگر فلزات مانند کادمیم و جیوه نیز در خشکبار مهم هستند و آلاینده‌های مختلف مانند سموم دفع آفات و قارچی و حدود بیشینه آنها برای مقاصد صادراتی با توجه به استانداردهای کشور مقصد اهمیت دارند. بسیاری از استانداردها را می‌توان جمع کرد و در گروه‌های مختلف با ذکر برخی استثنایها و تفاوت‌ها آورد.

^۱ Critical Control Point, CCP

با توجه به گسترش روزافزون صنایع تبدیلی کوچک، اجرای استانداردهای خشکبار و نظارت بر اجرای آنها و آگاهی کسب و کارهای خرد از آن اهمیت زیادی دارد که کمتر در کشور بدان توجه شده است. مطابق با استاندارد در ارتباط با الزامات بهداشتی مراکز عمده عرضه خشکبار رعایت فاصله ۳۰ متر از مکان‌هایی که ممکن است باعث آلودگی خشکبار شوند ضروری است (استاندارد ملی ایران، ۱۳۹۳).

فهرست منابع

- استاندارد ملی ایران. (۱۳۸۲). نوشیدنی‌ها - افشرده آب آلو
- ویژگی‌ها و روش‌های آزمون. استاندارد ۵۸۸۲. چاپ
اول. سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۲ صفحه.
- استاندارد ملی ایران. (۱۳۹۳). الزامات بهداشتی مراکز عمده
عرضه - خشکبار - استاندارد ۱۹۱۹۳. چاپ اول. سازمان
ملی استاندارد ایران. ۲۰ صفحه.
- استاندارد ملی ایران. (۱۴۰۱). آلودگی خشک - ویژگی‌ها و
روش‌های آزمون. استاندارد ۶۵. تجدید نظر سوم.
سازمان ملی استاندارد ایران. ۲۰ صفحه.
- استاندارد ملی ایران. (۱۴۰۳). خشکبار و میوه‌های
خشک‌شده - روش نمونه‌برداری. استاندارد ۱۰۳۶. تجدید
نظر دوم. سازمان ملی استاندارد ایران. ۱۵ صفحه.
- آذرپژوه، ا. (۱۳۷۹). بررسی روش‌های تولید آلودگی خشکباری
استان خراسان و بهینه‌سازی آن‌ها. (طرح پژوهشی).
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- آذرپژوه، ا. (۱۳۸۶). کاربرد روش خشک کردن اسمزی در
تولید آلودگی با رطوبت بالا (طرح پژوهشی). سازمان
تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- آذرپژوه، ا.، شرایعی، پ (۱۳۹۴). تاثیر پیش‌فرآیندهای
پوست‌گیری و آبگیری اسمزی بر خصوصیات کیفی و

حسی آلو خشکباری. (طرح پژوهشی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. آذرپژوه، ۱. (۱۳۹۶) روش تهیه آلو خشک. نشریه ترویجی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. آذرپژوه، ۱. (۱۳۹۷). ارائه و ترویج روش مناسب تولید آلو خشکباری با کیفیت مطلوب. (طرح ترویجی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. آذرپژوه، ۱. عین افشار، س.، شرایعی، پ. (۱۴۰۲). کاهش ضایعات میوه آلو بخارا در مراحل فرآوری. مدیریت ضایعات و پسماندهای کشاورزی، ۴(۶)، ۱۹-۲۸. چاجی، ح.، آذرپژوه، ۱. (۱۳۹۵). ارزیابی فنی حالت‌های مختلف خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن آلو. (طرح پژوهشی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معدنی، ص. آذرپژوه، ۱. (۱۳۸۳). بررسی امکان جایگزینی SO₂ با اسیدهای اسکوربیک، سیتریک و مالیک جهت بهبود کیفیت و رنگ آلو خشکباری. (طرح پژوهشی). سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

Anwar, F., Manzoor, M., Bukhari, I., & Aladedunye, F. (2014). Physico-chemical attributes of fruit seed oils from different varieties of peach and plum. *J. Adv. Biol*, 4(2), 384-392.

- Azharpazhooh, E., Sharayei, P., Hamed, F., Zare, F., & Ramaswamy, H. S. (2024).
- Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Sapińska, E., & Księżopolska, M. (2013). The usefulness of intermediate products of plum processing for alcoholic fermentation and chemical composition of the obtained distillates. *Journal of Food Science*, 78(5), S770-S776.
- Birwal, P., Deshmukh, G., Saurabh, S., & Pragati, S. (2017). Plums: a brief introduction. *Journal of Food, Nutrition and Population Health*, 1(1), 1-5.
- Drewnowski, A., & Burton-Freeman, B. (2020). A new category-specific nutrient rich food (NRF9f. 3) score adds flavonoids to assess nutrient density of fruit. *Food & function*, 11(1), 123-130.
- FAO. (2011). Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fawole, O. A., Riva, S. C., & Opara, U. L. (2020). Efficacy of edible coatings in alleviating shrivel and maintaining quality of Japanese plum (*Prunus salicina* Lindl.) during export and shelf life conditions. *Agronomy*, 10(7), 1023.
- Jelačić, T., Voća, S., Dragović, U. V., Galić, A., & Šic, Ž. J. (2019). Application of modern pre-treatments in plum drying. *Journal on*

- processing and energy in agriculture*, 23(3), 105-107.
- khijahani, H. S., Arabhosseini, A., & Kianmehr, M. H. (2017). Comparative quality assessment of different drying procedures for plum fruits (*Prunus domestica* L.). *Czech Journal of Food Sciences*, 35(5).
- Koocheki, A., & Azarpazhooh, E. (2010). Evaluation of mass exchange during osmotic dehydration of plum using response surface methodology. *International Journal of Food Properties*, 13(1), 155-166.
- Li, L., Lichter, A., Kenigsbuch, D., & Porat, R. (2015). Effects of cooling delays at the wholesale market on the quality of fruit and vegetables after retail marketing. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2533-2547.
- Michalska, A., Wojdyło, A., Lech, K., Łysiak, G. P., & Figiel, A. (2016). Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food chemistry*, 207, 223-232.
- Munekata, P. E., Yilmaz, B., Pateiro, M., Kumar, M., Dominguez, R., Shariati, M. A., Hano, C., & Lorenzo, J. M. (2023). Valorization of by-products from *Prunus* genus fruit processing: Opportunities and applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(25), 7795-7810 .
- Rouzegar, M. R., Azarpazhooh, E., Rohani, A., & Rezaei Farimani, M. (2025). Comparison

of plum puree drying with Refractance window, infrared-assisted Refractance window, and hot air. *Food Engineering Research*.

<https://doi.org/10.22092/fooder.2025.369992.1425>

- Walkowiak-Tomczak, D. (2008). Characteristics of plums as a raw material with valuable nutritive and dietary properties—a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 58(4), 401-405.
- Xu, M.-Q., Ariyo Okaiyeto, S., Niu, X.-X., Wang, Q.-H., Vidyarthi, S. K., Wang, H., Deng, L.-Z., Sutar, P. P., & Xiao, H.-W. (2025). Bioactive compounds and Health functions of plums: Current status and future opportunities. *Food Reviews International*, 41(5), 1360-1389.