

بهینه‌سازی مصرف SO₂ در تولید برگه زردآلو

فرزاد گودرزی^{*۱}

(تاریخ دریافت: ۸۵/۷/۱؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۵)

چکیده

برای بهینه‌سازی کاربرد گوگرد در خشک کردن زردآلو، ۴ تیمار: سولفیت زنی و خشک کردن، سولفیت زنی - آنزیم بری و خشک کردن، آنزیم بری - سولفیت زنی و خشک کردن و در نهایت، سولفیت زنی - خشک کردن تا ۵۰ درصد رطوبت اولیه - آنزیم بری و خشک کردن نهایی مورد بررسی قرار گرفت. سطوح گوگرد مورد استفاده از ۰ تا ۱۵۰۰ ppm گاز SO₂ و دمای خشک کن ۵۰ تا ۷۴ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد. کیفیت برگه‌های تولیدی بر مبنای میزان سفتی بافت و تیرگی رنگ ارزیابی شد. از یک روش سطح پاسخ (Response surface analysis) جهت تجزیه و تحلیل نتایج استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده گوگرد عامل عمده در کنترل کیفیت برگه بوده و در حضور آن، نقش دما تعیین کننده‌ای نداشت. میزان گوگرد مصرفی اثر معنی‌داری بر مدت زمان خشک شدن محصول نداشت. آنزیم بری به شکل معنی‌داری زمان لازم برای خشک شدن محصول را کاهش داد، اما تأثیر مؤثر و مستقیمی بر رنگ و یا سفتی بافت محصول نداشت. در همه تیمارها، با افزایش دمای خشک کردن، درصد گوگرد باقی‌مانده در محصول کاهش یافت. آنزیم بری محصول پس از سولفیت زنی، میزان گوگرد باقی‌مانده در محصول را به طور معنی‌داری کاهش داد. سولفیت زنی و خشک کردن، همراه با مصرف ۹۰۰ ppm گاز SO₂ در دمای ۵۰ تا ۶۸ درجه سانتی‌گراد منجر به تولید محصولی با متوسط سفتی بافت ۱/۴۴ N/m² و تیرگی رنگ ۰/۰۷۱ Od گردید.

واژه‌های کلیدی: خشک کردن زردآلو، سولفیت زنی، آنزیم بری، سفتی بافت، رنگ بافت

مقدمه

ایران پس از ترکیه دومین کشور تولید کننده زردآلو به شمار می‌رود، با این حال سالانه تنها ۸ الی ۱۴ هزار تن برگه زردآلو تولید و کمتر از یک سوم آن را صادر می‌کند. به لحاظ ارزش نیز متأسفانه برگه تولیدی ایران قیمتی کمتر از ۱ دلار دارد، حال آن‌که برگه تولیدی ترکیه حدود ۲ و فرانسه ۴/۵ دلار قیمت دارد. مطابق آمار سازمان خوار و بار جهانی سهم ایران از تجارت برگه زردآلو طی ۵ سال اخیر به طور متوسط ۲/۵ تا ۴ میلیون دلار بوده است (۱۳). این ارقام حکایت از پایین بودن کیفیت برگه‌های تولیدی ایران دارد. در حقیقت در صادرات

امروزه صنعت خشکبار در جهان بسیار بیشتر از گذشته رونق یافته و به یک تجارت ۱۴۲۰ میلیون دلاری بدل شده است. در این بین دستیابی به بازارهای مصرف و افزایش درآمد تولید کنندگان بخش کشاورزی منوط به افزایش کمی و کیفی محصولات کشاورزی و فرآورده‌های آنها است (۱۴).

تولیدات باغبانی ایران به جهت شرایط جغرافیایی و اقلیمی مناسب از کیفیت بسیار خوب و مزیت نسبی مناسبی برای تولید برخوردار بوده و می‌تواند در تجارت جهانی قابل رقابت باشد.

۱. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان
* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: goodarzfazrad@gmail.com

برگه منافع بخش کشاورزی ایران از دو جهت دستخوش زیان است، نخست حجم پایین صادرات علی‌رغم تولید میوه فراوان و دوم قیمت نازل محصولات تولیدی به سبب کیفیت نه چندان مناسب. عمده‌ترین علل عدم پذیرش و یا پذیرش به قیمت بسیار نازل برگه ایران در بازارهای جهانی عبارت‌اند از سستی بودن ساختار باغات، برداشت نامناسب میوه، عدم یک‌نواختی در ظاهر زردآلوی تولیدی و محصول نهایی، وجود انواع مواد خارجی و آلودگی‌های میکروبی در محصول، نامناسب بودن درصد رطوبت و نهایتاً وجود مقدار فراوان SO_2 در محصول. به این ترتیب در حالی که تلاش وافر برای افزایش درآمدهای غیر نفتی کشور در جریان است، ارزش افزوده قابل توجهی در بخش باغبانی کشور از دست می‌رود (۲ و ۱۴).

گوگردزنی یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال مؤثرترین روش‌ها در تولید خشکبار است. علت استفاده گسترده از ترکیبات گوگردی در غذاها را می‌توان به حلالیت بالای این ترکیبات در آب، نقش ممانعت‌کنندگی آنها در رشد کپک‌ها و باکتری‌ها، غیر فعال کردن واکنش‌های آنزیمی و غیر آنزیمی و کمک به حفظ ویتامین C و دیگر ترکیبات حساس به اکسایش غذا نسبت داد (۵). در کنار این مزایا، خارج نمودن گوگرد اضافی از غذا نیز آسان است. با این حال کاربرد ترکیبات گوگردی اثرات منفی نیز بر روی غذا و مصرف‌کننده دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از: از بین بردن ویتامین B₁، ایجاد بو و طعم نامطلوب در غذا در غلظت‌های بالا، ایجاد مشکلات تنفسی برای افراد مبتلا به آلرژی. در برخی گزارش‌ها نیز بروز عوارضی چون جلوگیری از تقسیم میتوز، کاهش رشد سلولی و ایجاد اختلالات کروموزومی در مصرف‌کنندگان به کاربرد ترکیبات گوگردی نسبت داده شده است. حداکثر مصرف روزانه قابل قبول SO_2 برابر 0.7 mg/kg خواهد بود. بنابراین برای یک فرد بالغ با وزن معمولی (60 kg)، سطح مصرف مجاز روزانه 42 mg خواهد بود (۱ و ۶).

براین اساس مطالعات فراوانی در راستای حذف یا به حداقل رساندن مصرف ترکیبات گوگردی در خشکبار صورت

گرفته است. سن هاجی طی مطالعات خود روی خشک کردن زرد آلو گزارش نمود که انجام فرایندهای آنزیم بری و سولفور زنی با محلول حاوی 1000 ppm گاز SO_2 و سپس خشک کردن در دمای کمتر از 70°C سبب تولید محصولی با کمترین تیرگی شد. مدت زمان تیمار کردن نمونه‌ها با محلول‌های بی سولفیت سدیم و یا گاز گوگرد تأثیری در زمان خشک کردن محصول نداشت (۱۶). مطالعات مک‌بین نشان داد که میوه‌های زودرس به دلیل میزان قند کمتر و اسید بیشتر نیاز به سولفورزنی طولانی‌تری دارند. این میوه‌ها سرعت جذب سولفور کمی دارند و برعکس میوه‌های با قند بالاتر دی‌اکسید سولفور را سریع‌تر جذب کرده زیرا مکان‌های اتصال بیشتری در دسترس دارند (۱۲). داهلنبورگ در تحقیقی به بررسی اثر افزایش دمای سولفورزنی بر کیفیت برگه‌ها پرداخته و دریافت که با افزایش دمای سولفورزنی بر میزان تیرگی محصول طی نگهداری اضافه می‌شود (۸). نچوگلود به بررسی امکان استفاده از هیدروکسید مس و هیدروکسید کلسیم برای بهبود کیفیت خشکبار و کاهش مقدار مصرفی SO_2 پرداخت اما ارتباط معنی‌داری بین هیدروکسیدهای مس و کلسیم با کاهش SO_2 و افزایش عمر ماندگاری محصول نیافت (۱۳).

رتک با مقایسه SO_2 باقی‌مانده در برگه‌های زردآلو تولید شده به روش‌های خشک‌کردن آفتابی، سایه و ماشینی، چنین بیان نمود که در خشک‌کردن ماشینی مقدار SO_2 باقی‌مانده در محصول بالاتر خواهد بود و کمترین میزان در روش سایه‌ای حاصل می‌شود. در خشک‌کردن سایه‌ای رنگ محصول بیشتر تیره می‌شود اما روش‌های مختلف در زمان رسیدن به مقدار دانسیته نوری (Od) (Optical density) 0.3 ، اختلافی با یکدیگر ندارند (۱۵).

قدس‌ولی برای گوگرد زدن برگه‌ها، استفاده از محلول‌های گوگردی را بهتر از اتاق دود دانست، زیرا میزان گوگرد باقی‌مانده در محصول کمتر خواهد بود. وی استفاده از محلول تیوسولفات ۶-۷ درصد را برای کاهش زمان غوطه‌وری میوه در محلول پیشنهاد کرد (۲). عین‌افشار در مطالعه‌ای به مقایسه دو

غلظتی معادل ۱۰۰۰ ppm گاز SO₂ را داراست (۱۱).

سفتی بافت برگه‌های تولیدی توسط دستگاه Instron مدل H5K-S ساخت شرکت هانسفیلد (Hounsfield, LTD) انجام شد. روش اندازه‌گیری بدین صورت بود که ۱ عدد برگه زردآلو به شکلی که سطح مقعر آن رو به بالا باشد درون محفظه دستگاه قرار گرفته و سپس توسط یک سیلندر مسطح (پروب) با قطر ۰/۱ اینچ ۲ محل مختلف آن سوراخ می‌شد. سرعت فرود پروب در این آزمایش ۱ سانتی‌متر در دقیقه و عمق نفوذ (Load Cell) آن ۲/۵ سانتی‌متر انتخاب شد. این عمل برای ۳ عدد برگه و در ۳ تکرار انجام شده و در نهایت میانگین حداکثر نیروی ثبت شده توسط دستگاه برای ۱۸ مرتبه آزمایش (F)، به کمک رابطه $H = F / (\pi DL)$ که در آن D قطر پروب و L ضخامت نمونه بود تصحیح و به عنوان سفتی بافت نمونه‌ها بر حسب نیوتن بر متر مربع (H) ثبت می‌گردید (۸).

برای اندازه‌گیری تیرگی بافت برگه‌ها ۱۰ گرم نمونه خشک شده در یک بالن ۲۵۰cc برای مدت ۲۴ ساعت در تماس با ۱۰۰cc محلول ۰/۵٪ حجمی اتانول قرار می‌گرفت. سپس محتوای ظرف از کاغذ واتمن شماره ۲ عبور داده شده و میزان دانسیته نوری عصاره صاف شده به وسیله دستگاه اسپکتروفوتومتر در طول موج ۴۴۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شد. آزمایش در سه تکرار به اجرا در آمده و میانگین به عنوان تیرگی تیمار ارزیابی می‌گردید (۸ و ۱۷).

برای هر تیمار، منحنی خطوط هم‌تراز (Contour lines) (در نمودارهای صفحه‌ای از اتصال مجموعه نقاطی که مقادیر مولفه مورد نظر برای آنها یکسان است) (نقاط هم‌ارزش) منحنی یا خطی به دست می‌آید که اصطلاحاً کنتور نامیده می‌شود. مجموعه چندین کنتور یک نمودار صفحه‌ای را تشکیل می‌دهد (شکل ۱ تا ۴) رنگ و سفتی بافت محصول با استفاده از روش Response surface analysis و نرم افزار Slide Write رسم گردیده و مجموعه شرایطی که سبب تولید محصول با کیفیت مشابه می‌گردد تعیین شد. سپس در آن تیمار، مناسب‌ترین مجموعه سطوح دما و گوگرد مصرفی که منجر به

روش گوگردزنی و مایکروویو برای آلودگی‌زدایی خشکبار پرداخته و استفاده از روش ماکروویو را به جای گوگردزنی پیشنهاد نمود (۳).

در این مطالعه تلاش شده است با به کارگیری توام روش‌هایی مانند آنزیم بری و دماهای مختلف خشک کردن، ضمن تولید محصولی با سفتی و رنگ بافت مناسب و یکنواخت، میزان SO₂ مصرفی و باقی‌مانده در برگه تا حد امکان کاهش داده شود.

مواد و روش‌ها

یک رقم زردآلودی دیررس (رقم نادری ملایر با تاریخ گل دهی دهه اول اردیبهشت) تهیه و تا انجام آزمایش‌ها در یخچال با دمای C ۱ ± ۴ نگه‌داری گردید. نمونه‌ها به چهار قسمت مساوی تقسیم و هر قسمت پس از طی مراحل آماده‌سازی (شستشو، دونیم شدن و هسته‌گیری) توسط یکی از ۴ تیمار:

الف) سولفیت زنی و سپس خشک کردن نمونه‌ها: (Sulfiting and drying ;SD)

ب) سولفیت زنی، آنزیم بری و سپس خشک کردن نمونه‌ها: (Sulfiting, blanching and drying ;SBD)

ج) آنزیم بری، سولفیت زنی و سپس خشک کردن نمونه‌ها: (Blanching, sulfiting and drying ;BSD)

د) سولفیت زنی، خشک کردن اولیه، آنزیم بری و سپس خشک کردن نهایی نمونه‌ها

(Sulfiting, initial drying, blanching and final drying ; SD1BD2)

فراوری شدند. برای خشک کردن نمونه‌های آماده شده از یک دستگاه خشک کن کابینتی آزمایشگاهی Suuny مدل M5140 ساخت ژاپن استفاده گردید. دمای خشک کردن نمونه‌ها ۵۰، ۵۶، ۶۲، ۶۸ و ۷۴ درجه سانتی‌گراد و حد نهایی خشک شدن، کاهش رطوبت نمونه‌ها به سطح ۱۴ تا ۱۸٪ بود.

تیمارهای سولفور به کار رفته در فرایند سولفیت‌زنی نمونه‌ها شامل محلول‌هایی با غلظت ۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰، ۷۰۰، ۸۰۰، ۹۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۵۰۰ ppm سولفیت بود و در سه تکرار به اجرا درآمد. مطابق آزمایش‌ها محلول حاوی ۱/۵ گرم در لیتر متابی سولفیت سدیم،

تولید محصولی با کمترین میزان رنگ و سفتی بافت (بالاترین کیفیت) می‌شود، انتخاب گردید. از بین مجموعه شرایط آرایه شده، کمترین سطح گوگرد مصرفی به همراه دمای متناظر آن به عنوان فاکتورهای شاخص معرفی شد.

برای انتخاب مناسب‌ترین روش تولید، میزان تیرگی رنگ، سفتی بافت و باقی‌مانده گوگرد در محصولات منتخب تیمارهای ۴ گانه اندازه‌گیری گردید. در نهایت میزان تیرگی رنگ، سفتی بافت و باقی‌مانده گوگرد در برگه‌ها در قالب طرح کامل تصادفی در سه تکرار با هم مقایسه و روشی که با مصرف کمتر گوگرد، محصولی با کیفیت بهتر ارائه داده به عنوان روش منتخب معرفی شد. ملاک انتخاب بهترین محصول، رنگ و سفتی بافت و میزان گوگرد باقی‌مانده کمتر در بافت محصول بود.

در این مطالعه اندازه‌گیری سولفید به روش مونیه - ویلیامز انجام گردید. مبنای این روش تقطیر انیدریدسولفور موجود در نمونه در حضور یک اسید و در محیط گاز ازت، و جذب آن توسط یک اکسنده مانند ید است که به تولید اسید سولفوریک ختم می‌شود. در نهایت این اسید توسط سود ۰/۰۵ نرمال تیتر می‌شود. هر سی‌سی سود مصرفی معادل ۰/۰۱۶ گرم SO_2 خواهد بود (۴ و ۷).

آنزیم‌بری نمونه‌ها نیز توسط قرار دادن نمونه‌ها در معرض بخار آب به مدت ۱ دقیقه اجرا شد (۲).

برای مطالعه اثر تیمارهای آزمایشی روش تولید، سطوح گوگرد مصرفی و دمای خشک کردن بر زمان خشک شدن محصول تا رسیدن به محتوای رطوبت ۱۸٪ - ۱۴٪ و میزان گوگرد باقی‌مانده در محصول از برگه‌هایی استفاده شد که میزان سطوح گوگرد مصرفی در آنها ۰، ۳۰۰، ۷۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۵۰۰ پی پی ام و دماهای به کار رفته برای خشک کردن آنها ۵۰، ۶۲ و ۷۴ درجه سانتی‌گراد بود.

نتایج و بحث

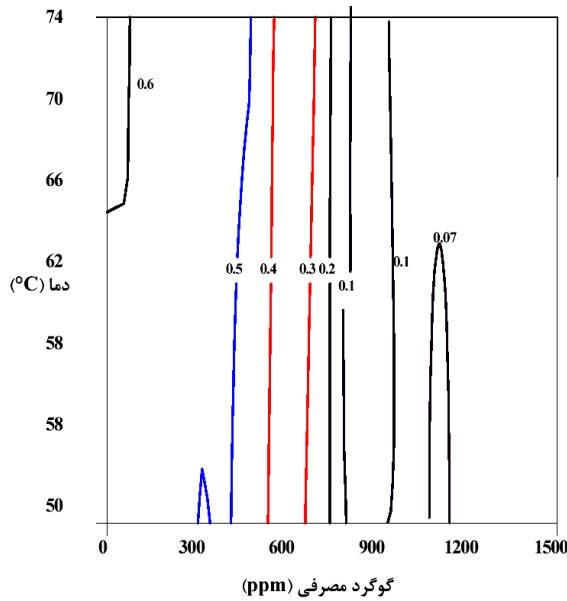
اثر تیمارهای فرآیند بر کیفیت رنگ برگه‌ها

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری میزان رنگ برگه‌ها در

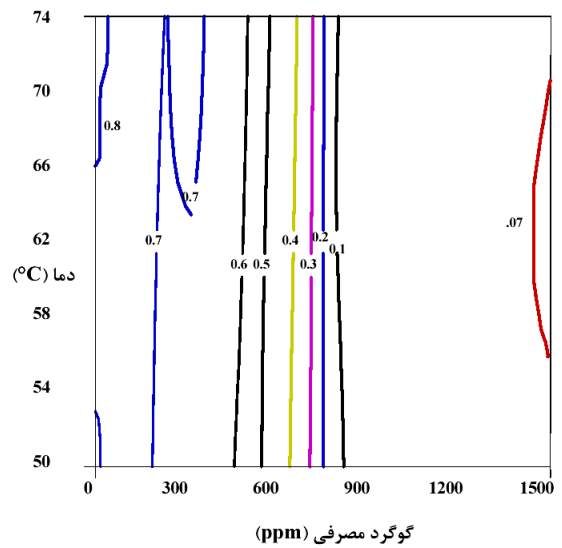
شکل‌های ۱ تا ۴ منعکس شده است. دقت در این نمودارها نشان می‌دهد که در مقادیر کمتر از ۵۰۰ ppm گوگرد، تیمار B.S.D محصولی با کمترین رنگ تولید نموده است و محصول تولیدی به وسیله سایر روش‌ها دارای رنگ تیره‌تری می‌باشد. تیرگی رنگ در تیمار S.D و در شرایط بدون گوگرد، در دمای بیشتر از ۶۴ درجه به بیشترین حد خود می‌رسد. این وضعیت هنگام مصرف گوگرد در مقادیری بالاتر از ۵۰۰ ppm تغییر کرده و با افزایش آن تا ۸۵۰ ppm رنگ محصول تولیدی به شدت کاهش یافته و در همه تیمارها به حدود ۰/۱ واحد دانسیته نوری (Od) می‌رسد. وجود خطوط نزدیک و به هم فشرده در منحنی‌های هم رنگ (Contour) نشان دهنده کاهشی سریع در تیرگی رنگ برگه‌های تیمارهای مختلف است. هم چنین این منحنی‌ها نشان می‌دهند که مقادیر بیش از ۸۵۰ ppm گوگرد، تأثیر چندانی در کاهش رنگ برگه‌ها ندارد، به طوری که در همه تیمارها، افزایش میزان گوگرد مصرفی تا ۱۵۰۰ ppm منجر به کاهش رنگ برگه‌ها از ۰/۱ به حداقل ۰/۰۷ (Od) شد. در تیمار SD1BD2 با مصرف ۱۵۰۰ ppm گوگرد و دمای بالاتر از ۶۸ درجه، میزان رنگ برگه‌ها مجدداً افزایش یافته و به ۰/۱ (Od) رسید.

عدم وجود خطوط هم تراز رنگ قابل توجه در فاصله ۹۰۰ تا ۱۵۰۰ ppm گوگرد در همه تیمارها نشانگر عدم وجود تغییرات قابل توجه در میزان رنگ برگه‌ها است. کمترین میزان گوگردی که کمترین رنگ را در محصول تیمارهای ۴ گانه ایجاد کرد در تیمار SD ۱۴۵۰ ppm در دمای خشک کردن $70^{\circ}C - 54^{\circ}C$ در تیمار BSD ۱۱۰۰ ppm در دمای $64^{\circ}C - 50^{\circ}C$ در تیمار SBD ۱۲۰۰ ppm در دمای $64^{\circ}C - 50^{\circ}C$ و در نهایت در تیمار SD1BD2 ۱۱۰۰ ppm در دمای $66^{\circ}C - 50^{\circ}C$ برآورد گردید.

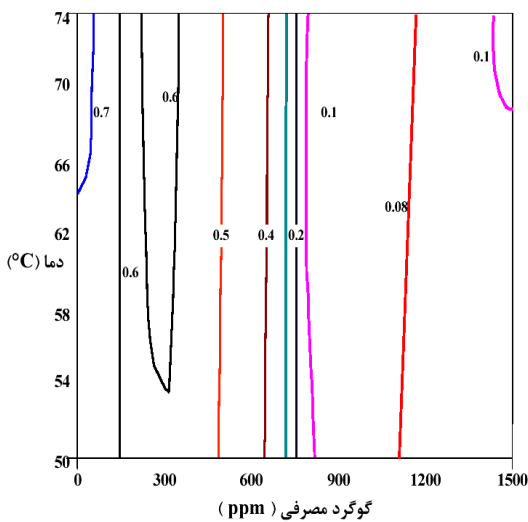
خطوط هم تراز رنگ این تیمارها نشان می‌دهد که رنگ نهایی محصول عمدتاً تحت تأثیر میزان گوگرد مصرفی است و افزایش دما تأثیر زیادی در میزان رنگ برگه‌ها ندارد. این وضعیت خصوصاً برای مقادیر بیش از ۴۰۰ ppm گوگرد در تمامی تیمارها صدق می‌کند. استفاده از فرآیند آنزیم‌بری نیز تنها



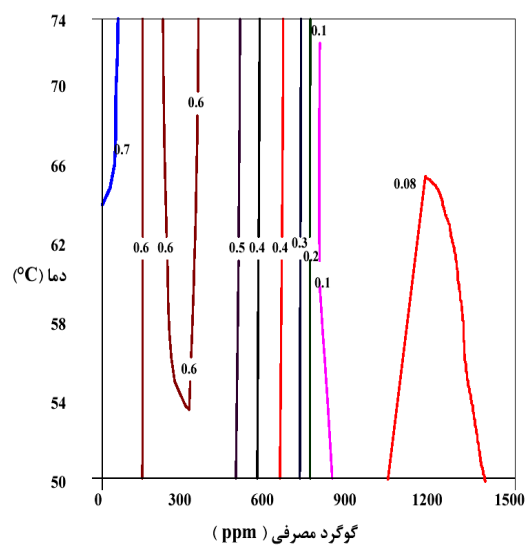
شکل ۲. خطوط هم تراز رنگ برای نمونه‌های تهیه شده به روش BSD (بیشترین تأثیرگذاری گوگرد و در نتیجه تراکم خطوط هم رنگ در محدوده ۴۰۰ تا ۸۰۰ ppm دیده می‌شود).



شکل ۱. خطوط هم تراز رنگ برای نمونه‌های تهیه شده به روش SD (در مقادیر بیش از ۸۵۰ ppm گوگرد تراکم خطوط هم رنگ به حداقل رسیده و خطوط به صورت یک صفحه افقی تغییر وضعیت می‌دهند).



شکل ۴. خطوط هم تراز رنگ برای نمونه‌های تهیه شده به روش SD₁BD₂ (کاربرد گوگرد بالاتر از ۱۴۰۰ ppm و دمای بیش از ۶۶ درجه سبب تیره‌تر شدن رنگ محصول می‌شود).



شکل ۳. خطوط هم تراز رنگ برای نمونه‌های تهیه شده به روش SBD (در مقادیر بالای مصرف گوگرد، انجام آنزیم‌بری پس از سولفیت‌زنی تأثیر زیادی در کاهش رنگ محصول ندارد).

در مقادیر کمتر از ۵۰۰ ppm گوگرد مؤثر بوده و هنگام به کار بردن مقادیر بیش از ۵۰۰ ppm گوگرد و خصوصاً در محدوده ۹۰۰-۸۰۰ ppm، فرایند آنزیم‌بری تأثیری قابل توجهی در میزان رنگ برگه‌ها نداشت. جاسلین و همکاران نیز در گزارش خود تأثیر آنزیم‌بری بر رنگ محصول را در مقادیر ۱۰۰۰ ppm - ۸۰۰ ppm گوگرد قابل اغماض دانستند (۱۰). به نظر می‌رسد وجود مقدار بالای گوگرد در محیط، باعث غیر فعال شدن مکانیسم‌های قهوه‌ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی در میوه شده (۱، ۱۷ و ۲۰)، لذا انجام فرایند آنزیم‌بری برای غیر فعال کردن حرارتی آنزیم‌ها تأثیر بیشتری بر کاهش رنگ نداشته است.

نتایج به دست آمده نشان داد که اجرای عملیات آنزیم‌بری در تیمارهای SBD یا BSD سبب سفتی بافت محصول نهایی گردیده است. ضمن آن که میزان سفتی بافت در تیمار SBD بیشتر از BSD است. آنزیم‌بری سبب حذف بخشی گوگرد جذب در بافت شده و تفاوت در سفتی بافت این دو تیمار را باعث شده است. در هر دو تیمار با افزایش مصرف گوگرد، سفتی بافت کاهش می‌یابد. در مقادیر کمتر از ۴۰۰ ppm گوگرد، اجرای عملیات آنزیم‌بری به کاهش سفتی بافت نمونه‌های هر ۴ تیمار کمک می‌کند.

وجود انحراف در خطوط هم تراز سفتی بافت هر تیمار نشانگر اثر حرارت بر سفتی بافت است. انحرافات این خطوط از خط راست در مقادیر کمتر از ۵۰۰ ppm گوگرد بیشتر است این امر نشان دهنده تأثیرگذاری بیشتر دمای خشک کردن بر کیفیت برگه‌ها در مقادیر پائین گوگرد است. حال آن که در مقادیر بالاتر گوگرد، نقش دما تا حد زیادی کم‌رنگ شده و تحت تأثیر میزان مصرف گوگرد قرار می‌گیرد. اثر دما بر سفتی بافت محصول بیش از اثر دما بر رنگ محصول است. زیرا عامل رنگ به شدت تحت تأثیر گوگرد و وقوع واکنش‌های آنزیمی یا غیر آنزیمی در میوه قرار دارد. نظرات علیزاده و ودزیچا این موضوع را تأیید می‌کند (۱ و ۲۰).

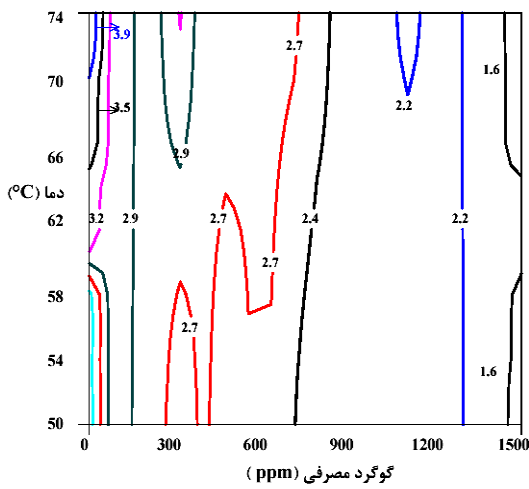
بر اساس همپوشانی سطوح خطوط هم تراز رنگ و سفتی بافت هر تیمار، شرایط مناسب فراوری برگه‌ها برای هر تیمار به شرح ذیل انتخاب و در جدول ۱ آورده شده است.

اثر تیمارهای فرایند بر مدت زمان خشک شدن و میزان باقی‌مانده گوگرد در محصول

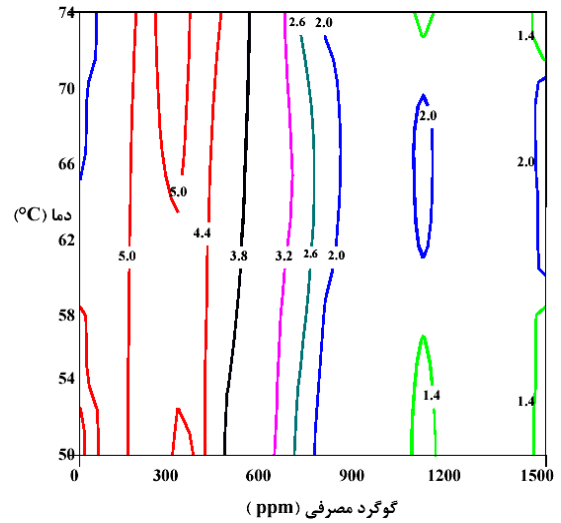
اثر تیمارهای دمای و نوع فرایند خشک کردن بر مدت زمان لازم برای کاهش رطوبت محصول به حدود ۲۰٪ در سطح ۵٪ معنی‌دار بود ولی سطوح گوگرد مصرفی اثر معنی‌داری را بر این عامل نشان نداد (جدول ۲). مطابق این نتایج روش‌های SBD و

اثر تیمارهای فرایند بر سفتی بافت برگه‌ها با افزایش میزان گوگرد مصرفی، از میزان سفتی بافت برگه‌ها کاسته شد (شکل‌های ۵ تا ۸). این کاهش سفتی در تیمارهایی که میزان مصرف گوگرد در آنها بین ۵۰۰ تا ۸۵۰ ppm بود با شیب تندی صورت پذیرفت. وجود خطوط متراکم در نمودارهای هم‌تراز تیمارهای مربوطه نشانگر همین موضوع است. با مصرف گوگرد در مقادیر بیشتر از ۸۵۰ ppm سفتی بافت با شیب ملایم‌تری کاهش یافت. به عبارت دیگر کاستن از میزان سفتی بافت برگه‌ها نیازمند مصرف مقدار زیادتری گوگرد است. خشک کردن در دماهای کم، منجر به تولید محصولی با سفتی کمتر شد، حال آن که در دماهای میانی (۶۸ تا ۷۰ درجه) محصولی با سفتی بالاتر ایجاد شد. در حقیقت استفاده از دماهای میانی جهت خشک کردن محصول، مستلزم به کارگیری مقدار گوگرد بیشتری بود. بروز پدیده Case hardening هنگام خشک کردن میوه در دماهای بالا این نتیجه را توجیه می‌کند (۱، ۱۸ و ۱۹). این نتایج، گزارش داهلنبرگ را تأیید می‌کند (۸).

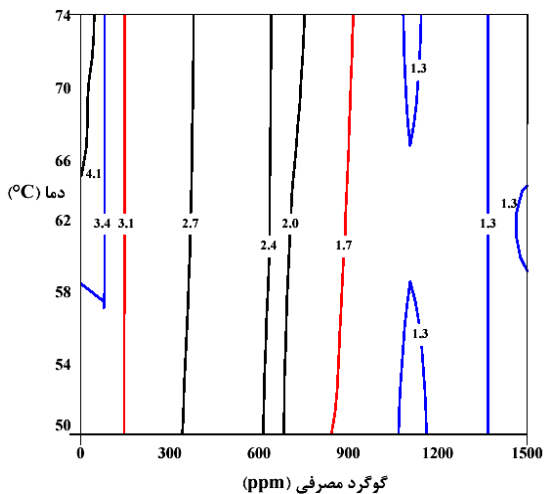
دقت در شکل‌های سفتی بافت نشان می‌دهند که تیمارهای SD1BD2 و SD هنگام مصرف مقادیر گوگرد بالاتر از ۸۰۰ ppm محصولی با کمترین سفتی بافت را تولید می‌کنند. در این میان تیمار نخست کمترین سفتی را ایجاد کرد. با این حال



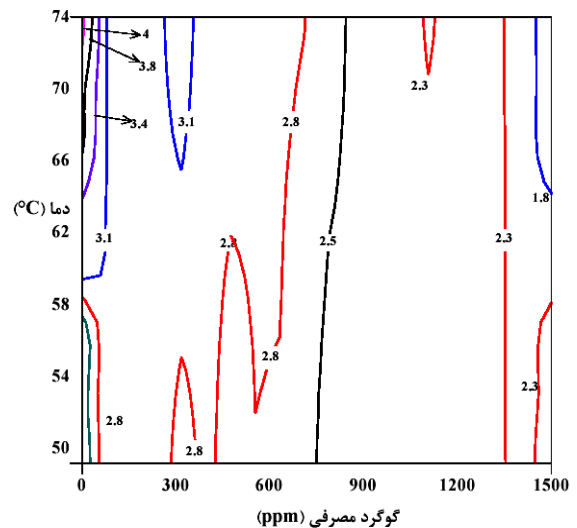
شکل ۶. خطوط هم‌تراز سفتی بافت نمونه‌های تهیه شده به روش BSD (فرایند آنزیم‌بری هم‌زمان با مصرف مقادیر بالای گوگرد، سفتی بافت محصول را نسبت به دیگر روش‌ها به میزان کمتری کاهش می‌دهد.)



شکل ۵. خطوط هم‌تراز سفتی بافت نمونه‌های تهیه شده به روش SD (در دماهای کمتر از ۵۸ یا بیشتر از ۷۰ درجه، همراه با مقادیر گوگرد بیش از ۸۰۰ ppm کمترین سفتی بافت حاصل می‌شود.)



شکل ۸. خطوط هم‌تراز سفتی بافت نمونه‌های تهیه شده به روش SD_1BD_2 (در مقادیر بیش از ۹۰۰ ppm گوگرد، سفتی بافت محصول تقریباً ثابت است.)



شکل ۷. خطوط هم‌تراز سفتی بافت نمونه‌های تهیه شده به روش SBD (انجام آنزیم‌بری پس از سولفیت‌زنی، به دلیل حذف بخشی از گوگرد محصول باعث افزایش سفتی بافت شده است.)

جدول ۱. شرایط مناسب تولید برگه زردآلو توسط تیمارهای مختلف فراوری

عامل	تیمار	SD	BSD	SBD	SD ₁ BD ₂
گوگرد مصرفی (ppm)		۹۰۰-۱۱۰۰	۱۴۵۰	۱۴۵۰	۱۰۵۰-۱۱۲۰
دمای خشک کردن (°C)		۶۰ > یا > ۶۸	> ۶۶	> ۶۶	۵۰ - ۵۶

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر زمان خشک شدن و درصد حذف گوگرد از محصول نهایی

تیمارهای آزمایشی	سطح گوگرد (ppm)			دمای خشک کن (°C)			روش فراوری				
	۱۵۰۰	۱۱۰۰	۷۰۰	۳۰۰	۷۴	۶۲	۵۰	SD ₁ BD ₂	SBD	BSD	
درصد حذف گوگرد*	۷۷/۰۵ ^b	۷۴/۴ ^a	۷۱/۵ ^a	۸۰/۳ ^c	۹۱/۳ ^c	۷۲/۱ ^b	۶۴/۰۴ ^a	۷۳/۳۳ ^a	۷۹/۸ ^c	۷۴/۷ ^{ab}	۷۵/۳۸ ^b
زمان خشک شدن* (ساعت)	۱۷/۸۵ ^a	۱۷/۸۶ ^a	۱۸ ^a	۱۷/۸۲ ^a	۲۲/۵ ^c	۱۷/۴ ^b	۱۳/۷ ^a	۱۸/۵ ^b	۱۶/۷ ^a	۱۶/۶ ^a	۱۹/۷ ^c

*: میانگین‌های هر تیمار به طور مجزا مورد مقایسه آماری قرار گرفته و اعداد دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ فاقد اختلاف معنی دار هستند.

می‌شود (۱۰). مصرف بیش از ۷۰۰ ppm گوگرد، اتلاف آن را به شکل معنی‌داری افزایش داد ولی در مقادیر کمتر، اختلافی در میزان اتلاف گوگرد در محصولات مختلف دیده نشد. اعمال فرایند آنزیم‌بری پس از گوگردزنی سبب اتلاف بیشتر در گوگرد اولیه موجود در نمونه‌ها شد. بیشترین میزان اتلاف گوگرد در روش SBD و کمترین آن در روش SD مشاهده گردید. بین تیمارهای SD با BSD و BSD با SD₁BD₂ اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید.

تغییرات سفتی بافت، رنگ و باقی‌مانده گوگرد برگه‌های منتخب طی دوره ننگه‌داری

برای اجرای این بخش از مطالعه، برگه‌هایی در ۶ شرایط مختلف تولید (جدول ۳) و اندازه‌گیری‌های ماهانه روی تغییرات رنگ و سفتی بافت و میزان باقی‌مانده گوگرد در آنها صورت گرفت.

نتایج حاصل نشان داد که روش‌های تولید و مدت ننگه‌داری اثر معنی‌داری بر تغییرات رنگ، سفتی بافت و میزان گوگرد محصول در سطح ۵٪ داشته است. از ماه سوم، اختلاف معنی‌داری در میزان تیرگی برگه‌ها پدید آمده و با گذشت زمان ننگه‌داری، میزان تیرگی برگه‌ها افزایش یافت. رنگ برگه‌های

BSD اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند اما این دو روش، نسبت به روش SD و SD₁BD₂ سریع‌تر بودند. لذا می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که آنزیم‌بری به شکل معنی‌داری زمان خشک شدن محصول را کوتاه می‌کند. با افزایش درجه حرارت، سرعت خشک شدن نمونه‌ها نیز به شکل معنی‌داری افزایش یافت. علت این امر تخریب دیواره‌های سلولی میوه در اثر حرارت آنزیم‌بری و در نتیجه امکان حذف سریع‌تر آب از بافت تخریب شده میوه است (۱۶).

هر سه تیمار روش فراوری، گوگرد مصرفی و دمای خشک کردن، میزان گوگرد باقی‌مانده در محصول را به شکل معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌دهند (جدول ۲). با افزایش دما از میزان اتلاف گوگرد محصول کاسته شد. تبدیل سولفیت به سولفات در دماهای بالا می‌تواند توجیهی برای این وضعیت باشد. زیرا مقدار فراریت سولفیت بیش از سولفات است و در دماهای پایین خشک کردن، به دلیل آن که بخش اعظم گوگرد محصول به شکل سولفیت باقی می‌ماند مقدار فراریت آن بیشتر خواهد بود (۱۹ و ۱۰). لذا استفاده از دماهای پایین طی خشک کردن محصول باعث کاهش قابل توجه و معنی‌دار در میزان گوگرد باقی‌مانده در محصول پس از خشک شدن

جدول ۳. شرایط تولید برکه‌ها برای مطالعه اثر زمان نگهداری بر عامل‌های منتخب

شماره روش	روش تولید	میزان گوگرد مصرفی (ppm)	دمای خشک کردن (°C)
۱	SD	۹۰۰	۵۰
۲	SD	۹۰۰	۶۸
۳	SBD	۱۴۵۰	۶۸
۴	BSD	۱۴۵۰	۶۸
۵	SD ₁ BD ₂	۱۰۵۰	۶۸
۶	SD ₁ BD ₂	۱۰۵۰	۵۰

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای روش فراوری و زمان نگهداری بر میزان اتلاف باقی مانده گوگرد موجود در بافت محصول (ppm)

زمان نگهداری (ماه)	روش تولید					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
زمان تولید (°)	۳۲۲ ^{gh}	۹۳ ^{qrs}	۴۱۰ ^a	۳۳۸ ^c	۳۳۳ ^{ef}	۹۹۷ ^g
۱	۳۱۸ ^{hi}	۸۹ ^{qrst}	۴۰۶ ^a	۳۳۲ ^{efg}	۳۲۹ ^{efg}	۹۴ ^{qr}
۲	۳۱۳ ^{ij}	۸۲ ^{stu}	۳۹۷ ^b	۳۲۸ ^{fg}	۳۲۵ ^{fgh}	۹۲ ^{qrs}
۳	۳۰۴ ^{jk}	۸۲ ^{tuv}	۳۸۲ ^c	۳۱۷ ^{hi}	۳۱۲ ^{ij}	۸۷ ^{rst}
۴	۲۷۵ ^m	۷۵ ^{uvw}	۳۴۷ ^d	۲۸۹ ^l	۲۸۵ ^l	۸۰ ^{tuv}
۵	۲۵۲ ^o	۷۰ ^{wx}	۳۱۸ ^{hi}	۲۶۵ ⁿ	۲۶۲ ⁿ	۷۳ ^{vwx}
۶	۲۳۷ ^p	۶۴ ^x	۳۰۰ ^k	۲۵۱ ^o	۲۴۸ ^o	۶۷ ^{wx}

*: میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای روش فراوری و زمان نگهداری بر میزان تیرگی رنگ بافت محصول (Od)

زمان نگهداری (ماه)	روش تولید					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۰	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l
۱	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l
۲	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l
۳	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l
۴	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l
۵	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۸ ^{ij}	۰/۰۷ ^l	۰/۰۷ ^l
۶	۰/۰۸ ^{cde}	۰/۰۹ ^b	۰/۱۰ ^a	۰/۰۹ ^b	۰/۰۸ ^{def}	۰/۰۸ ^{cd}

*: میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول ۶. مقایسه میانگین اثر زمان نگهداری بر میزان سفتی بافت محصول (N/m²)

تیمار آزمایشی	مدت زمان نگهداری پس از تولید (ماه)					
	۶	۵	۴	۳	۲	۱
میانگین سفتی* (N/m ²)	۱/۶۴ ^e	۱/۵۸ ^d	۱/۵۳ ^c	۱/۴۹ ^b	۱/۴۸ ^{ab}	۱/۴۶ ^a

* میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر روش فراوری بر میزان سفتی بافت محصول (N/m²)

تیمار آزمایشی	روش فراوری					
	۶	۵	۴	۳	۲	۱
میانگین سفتی* (N/m ²)	۱/۳۹ ^b	۱/۳۴ ^a	۱/۶۵ ^e	۱/۸۵ ^f	۱/۴۷ ^d	۱/۴۴ ^c

* میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵٪ فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.

در محصول داشت. بر این اساس برگه‌های تولیدی به روش‌های ۲ و ۶ کمترین میزان اتلاف بقایای گوگرد و برگه‌های تولیدی به روش‌های ۳ و ۴ بیشترین میزان اتلاف گوگرد را دارا بودند. این نتایج نشان می‌دهد که برگه‌هایی که در دماهای کمتر خشک گردیدند، و یا تحت فرایند آنزیم بری قرار گرفته‌اند حاوی مقادیر کمتری از گوگرد بودند. گزارش ارایه شده توسط رتک (۱۵) این موضوع را تأیید می‌کند. از بین تیمارهایی که در دمای ۶۸ درجه خشک شده‌اند، روش SD دارای کمترین باقی‌مانده گوگرد در محصول نهایی بود (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

بررسی مجموعه مشخصه‌های کیفی محصول شامل سفتی بافت، تیرگی رنگ و باقی‌مانده گوگرد در آن طی دوره نگهداری نشان داد که تولید محصول به روش SD همراه با ۹۰۰ ppm گوگرد و دمای خشک کردن ۶۸ °C منجر به تولید محصولی با مناسب‌ترین کیفیت در زمان تولید و طی دوره ۶ ماهه نگهداری می‌گردد. محصول تولیدی به روش SD همراه با دمای خشک کردن ۵۰ درجه و ۹۰۰ ppm گوگرد اگر چه در زمان تولید، اختلاف معنی‌داری از نظر رنگ و سفتی با تیمار قبلی نشان

تولیدی به روش‌های ۱، ۳ و ۴ برخلاف روش‌های ۲، ۵ و ۶، اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان ندادند. در این بین، روش ۶ دارای بالاترین میزان رنگ و روش‌های ۱ و ۴ دارای کمترین میزان تیرگی رنگ در پایان دوره نگهداری بودند (جدول ۵).

مطالعه اثر عوامل زمان نگهداری و روش تولید بر میزان سفتی بافت برگه‌ها نشان داد که طی دو ماهه نخست نگهداری محصول تغییرات معنی‌داری در میزان سفتی بافت برگه‌ها نسبت به زمان تولید آنها بروز نکرد. اما از ماه سوم و خصوصاً از پایان ماه چهارم نگهداری، افزایش سفتی بافت نمونه‌ها آغاز شده و در پایان ماه ششم، برگه‌های کلیه تیمارها اختلاف معنی‌داری را از نظر تیرگی و سفتی بافت با برگه‌های زمان تولید نشان دادند (جدول ۶).

اثر روش تولید بر میزان تیرگی برگه‌ها و اثر متقابل این عامل با مدت نگهداری در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. مطالعه این عامل نشان داد که روش ۵ کمترین و روش ۳ بیشترین میزان سفتی بافت را دارا بوده است. در پایان ماه ششم نگهداری نیز تیمار ۳ بالاترین و تیمار ۵ و ۱ کمترین میزان تیرگی رنگ را دارا بودند (جدول ۷).

روش‌های تولید اثر معنی‌داری روی میزان گوگرد باقی‌مانده

نداد، اما پس از دوره نگهداری و خصوصاً از ماه چهارم نگهداری به بعد، دچار مختصر سفتی بافت و تیرگی رنگ گردید. با این حال، اندک بودن میزان گوگرد باقی مانده در آن می تواند بسیار حایز اهمیت باشد. با توجه به مجموعه شرایط مورد مطالعه، تیمار SD همراه با کاربرد ۹۰ ppm گوگرد در محدوده دمایی مورد مطالعه منجر به تولید محصولی با شرایط کیفی مطلوب (چه در زمان تولید و چه پس از ۶ ماه نگهداری) گردید. همچنین می توان از اعمال فرآیند آنزیم‌بری در تولید برگه به دلیل اثر قابل اغماض آن در بهبود کیفیت محصول صرف نظر نمود.

منابع مورد استفاده

۱. علیزاده خالد آباد، م. ۱۳۸۰. مکانیسم و تئوری در شیمی مواد غذایی. چاپ اول، انتشارات اصلانی، تهران.
۲. قدس ولی، ع. ۳۷۶. بررسی شرایط بهینه فرایند برگه زردآلو از واریته‌های غالی منطقه شاهرود و مقایسه آن با روش سنتی موجود. سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی، نشریه شماره ۸۹، کرج.
۳. عین افشار، س. ۱۳۸۵. مقایسه آلودگی زدایی خشکبار (آلو، کشمش، و برگه) به دو روش مایکروویو و گوگردزنی. تحقیقات مهندسی کشاورزی ۷(۲۸): ۱-۱۲.
4. A.O.A.C. 1984. Official Methods of Analysis. 17th Edition. W. Horwitz, Editor. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C.
5. Burton, H.S., M. Noise and T. Nouri. 1963. The role of unsaturated carbonyl compounds as intermediates and of SO₂ as an inhibitor of browning. J. Food. Sci. Agric. 14: 911-916.
6. Cecil, J. S. 1992. The implications of delayed sulfuring on dried apricot quality". at: <http://www.sardi.sa.gov.au/R/11/92>.
7. Dahlenburg, A.P. 1998. Honey treatment and sulfur dioxide content of apricots. at: <http://www.sardi.sa.gov.au/R/12/91>.
8. Dahlenburg, A.P. 1998. Relationship of drying ratio and dried fruit quality of apricots with different temperature of SO₂ pretreatment. at: <http://www.sardi.sa.gov.au/R/7/98>.
9. loncin, M., T.J. Biment and J. Ienger. 1973. Influence of water activity on the spoilage of foodstuff. Food. Technol. 3: 31-36.
10. Joslyn, M.A. and J.B.S. Braverman. 1981. Chemistry and technology of the pretreatment and preservation of fruits and Vegetables Product With sulfur dioxide and sulfites. Adv. Food Res. 5: 97-103.
11. Mark, E.M. 1976. Dehydration of fruits offers important wartime advantages. Food Ind. 22: 59-61.
12. Mc Bean, D., and J. I. Pitt. 1991. The adsorption of sulfur dioxide by fruit tissue. J. Food. Sci. 29: 257-262.
13. Nechvoglod, M., Karel, M. 1998. Investigation of The efficiency of copper hydroxide and calcium hydroxide sprays for the prevention of rain induced cracking and reduction of SO₂ level. at: <http://www.sardi.sa.gov.au/R/3/98>.
14. Official site of F. A.O. 2006. F.A.O products year book. at: <http://www.fao.org>.
15. Rettke, M.A. 1998. Comparison of sulfur dioxide levels and storage life of apricots dried in the sun, shade and in a dehydrator. at: <http://www.sardi.sa.gov.au/R/11/98>.
16. Senhaji, F.A., and B. Hakan. 1991. Data on apricot drying, kinetics and product quality. Sci- des- Aliments 11: 499-512.
17. Sharma, T. R., K. S. Sekhon and S. P. S. saini 1993. Color change during drying of apricot. J. Food. Sci. and Technol. India. 30 : 306-308.
18. Srivastava, R. P. and K. Sanjeev. 2002. Fruit and vegetable preservation. 3rd Edition, International Book Distributing Company. India, 287p.
19. Taylor, S.L and Bush, R.K. 1986. Sulfites as food ingredients. Food. Technol. 40: 47-52.
20. Wedzicha, B. L. 1985. Chemistry of sulfur dioxide in foods. Elsevier Appl. Sci. Pub , London and New York.