



مقاله پژوهشی

اثر فناوری مادون قرمز پالسی بر شاخص های کیفی و رنگ زعفران (*Crocus sativus* L.)

مجید جوانمرد^{۱*}، مهدی شوندی^۲

۱. دانشیار، گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، تهران
۲. دانشجوی دکتری، گروه صنایع غذایی و تبدیلی، پژوهشکده فناوری های شیمیایی، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۹، تاریخ آخرین بازنگری: ۱۴۰۰/۰۳/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۹)

چکیده

ادویه، به علت افزایش اشتها و همچنین افزایش طعم، رنگ و عطر به نوشیدنی‌ها و مواد غذایی، در سراسر جهان محبوب است. زعفران (*Crocus Sativus* Linnaeus) معروف به طلای سرخ یکی از گران‌ترین و با ارزش‌ترین ادویه‌جات در جهان است. زعفران در صنایع غذایی، عمدتاً به عنوان ماده رنگی و طعم‌دهنده استفاده می‌شود. خواص ارزشمند دارویی زعفران نیز اثبات شده است. در این مطالعه، به بررسی اثر اشعه مادون قرمز پالسی (PIR) در زعفران سرگل نگین پرداخته شد. کیفیت زعفران توسط بررسی میزان تغییرات سافرانال، کروسین و پیکروسین و اندیس‌های رنگی در زعفران سرگل نگین انجام شد. اثر پارامترهای عملیاتی پرتو PIR، توان (۲۵۰ W، ۳۵۰ و ۴۵۰)، فاصله نمونه (۱۰ cm، ۲۰ و ۳۰)، زمان تابش (۰-۲۰ min) و تعداد پالس PIR (۱، ۲ و ۳ پالس) ارزیابی شد. بر اساس نتایج به دست آمده به طور کلی با افزایش توان تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان سافرانال در زعفران سرگل نگین به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). با افزایش توان تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان کروسین در زعفران سرگل نگین به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). همچنین با افزایش توان تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان پیکروکروسین در زعفران سرگل نگین به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). بررسی تغییرات در پارامترهای رنگی زعفران سرگل نگین توسط پرتو PIR نشان داد که تغییرات به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) در خواص زعفران سرگل نگین نبود و کیفیت در حد قابل قبولی حفظ شد. طبق نتایج به دست آمده، روش PIR به منظور فرآوری مواد غذایی پیشنهاد می‌شود زیرا می‌تواند کیفیت مواد غذایی را در سطح قابل قبولی حفظ کند.

واژه‌های کلیدی: آنالیز uv-vis، پرتو مادون قرمز پالسی، پیکروکروسین، زعفران، سافرانال، کروسین.

۱. مقدمه

مادون قرمز دور ($4\mu\text{m}-1000$) تقسیم‌بندی می‌شود [۱۳]، IR به عنوان یک فرآیند سطحی شناخته می‌شود و عمق نفوذ آن در حدود 0.31 تا $4/76$ mm است [۱۵]. تاکنون گزارشی مبنی بر استفاده از فرآیند مادون قرمز پالسی (PIR) وجود ندارد. طبق گزارش‌های اخیر، با توجه به قرار گرفتن تابش IR بین امواج UV و مایکروویو در طیف الکترومغناطیسی، اثر تابش IR بر فرآوری و آلودگی‌زدایی از مواد غذایی و عملکرد فرآیند توسط تابش به صورت پالسی، PIR برای اولین بار به منظور فرآوری مواد غذایی پیشنهاد شد. هدف اصلی این مطالعه ارزیابی اثرات فناوری PIR بر سافرانال، کروسین و پیکروکروسین و ویژگی‌های رنگی در زعفران سرگل نگیں بود.

۲. مواد و روش

۱.۲. تهیه نمونه

زعفران سرگل نگیں ایرانی از قاین یکی از شهرهای استان خراسان جنوبی و مرکز شهرستان قائنات در ایران از شرکت کیمیا زعفران (شهر قدس) تهیه شد. زعفران سرگل نگیں در کیسه‌های پلاستیکی پلی آمیدی با ضخامت $25\mu\text{m}$ و در دمای محیط (25°C) نگهداری شد. این عمل به علت حفظ شرایط فیزیکیوشیمیایی زعفران از جمله حفظ رطوبت و عطر و طعم انجام شد. رطوبت زعفران سرگل نگیں $6/01\%$ بود [۱۲].

۲.۲. سیستم پرتودهی PIR

پرتودهی زعفران توسط سیستم پرتودهی PIR در سه سطح توان 250 ، 350 و 450 W، سه سطح فاصله نمونه‌ها از منبع تابشی 10 ، 20 و 30 cm، سه سطح تعداد پالس PIR 1 ، 2 و 3 pulse/s و زمان وابسته به شرایط تیمار صفر تا 20 min با استفاده از یک دستگاه طراحی و ساخته شده در سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران انجام شد. شکل (۱) سیستم طراحی شده PIR با اندازه $65 \times 62 \times 100$ cm که دارای ۲ منبع تابش مادون قرمز است را نشان می‌دهد.

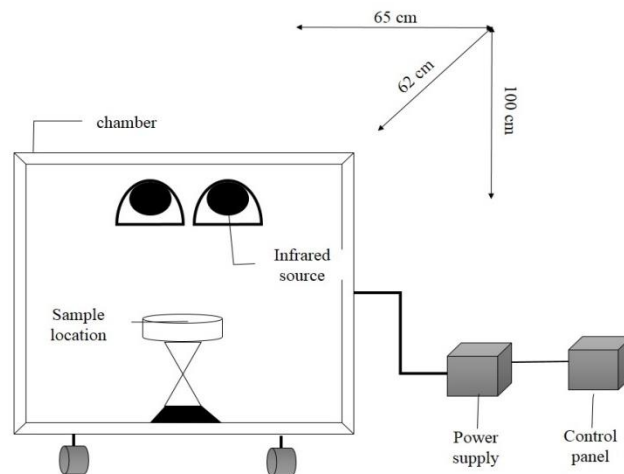
ادویه، به علت افزایش اشتها و همچنین افزایش طعم، رنگ و عطر به نوشیدنی‌ها و مواد غذایی، در سراسر جهان محبوب بوده و از تمام یا بخشی از گیاهانی تشکیل شده که به طور گسترده به شکل خالص یا مخلوط با سایر ادویه‌ها و به صورت تازه، خشک و یا فرآوری شده مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱-۲]. به دلیل اینکه ادویه‌ها جزء اصلی ایجاد طعم در مواد غذایی هستند و مصرف فراوانی دارند، وجود آلودگی میکروبی در آن‌ها ممکن است باعث ایجاد مسمومیت در انسان شود [۱، ۳].

زعفران (*Crocus Sativus* Linnaeus) یا «طلای سرخ» از خانواده Iridaceae، یکی از گران‌ترین و با ارزش‌ترین ادویه‌جات در جهان است [۴، ۵]. زعفران در صنایع غذایی، عمدتاً به عنوان ماده رنگی و طعم‌دهنده استفاده می‌شود. خواص ارزشمند دارویی زعفران نیز اثبات شده است [۶، ۷]. زعفران در اسپانیا، مراکش، یونان، ایران و هند کشت می‌شود. ایران با تولید سالانه 336 تن بزرگ‌ترین تولید کننده زعفران است که $8/88\%$ از تولید جهانی را به خود اختصاص داده است [۸].

زعفران به عنوان یک محصول ارزشمند دارای متابولیت‌های ثانویه مانند سافرانال، کروسین و پیکروکروسین است. این متابولیت‌ها دارای خواص عطر و طعم‌دهنده، عامل ایجاد رنگ و فواید سلامتی بخش هستند [۹]. شرایط برداشت و پس از برداشت نیز می‌تواند بر ترکیبات و کیفیت زعفران تأثیر بگذارد [۱۰].

در بیشتر مناطق، فناوری برداشت زعفران به طور کلی سنتی است و احتمال آلودگی میکروبی حین برداشت و فرآوری بالا است [۱۱]. آلودگی میکروبی مهم‌ترین مسئله ایمنی مصرف کننده، صادرات ادویه و عامل مهمی در استانداردهای کیفیت برای کشورهای وارد کننده است [۱۲].

مادون قرمز با محدوده طول موج بین $0.76\mu\text{m}$ تا 1mm بخشی از طیف الکترومغناطیسی بین فرابنفش و مایکروویو را تشکیل می‌دهد. تابش مادون قرمز به سه ناحیه مادون قرمز نزدیک ($0.76-2\mu\text{m}$)، مادون قرمز متوسط ($2-4\mu\text{m}$) و



شکل (۱) شکل شماتیک سیستم مادون قرمز پالسی.
Fig 1. Schematic diagram of pulsed Infrared system

استفاده شد. به منظور بررسی خصوصیات رنگی از فضای رنگی $L^* a^* b^*$ استفاده شد. مؤلفه L^* نشان دهنده میزان روشنی نمونه می‌باشد و دامنه آن از صفر (سیاه خالص) تا ۱۰۰ (سفید خالص) متغیر است. مؤلفه a^* در مقادیر مثبت، معادل رنگ قرمز و مقادیر منفی، معادل رنگ سبز می‌باشد. مؤلفه b^* در مقادیر منفی آن معادل رنگ آبی و مقادیر مثبت معادل رنگ زرد می‌باشد [۱۲].

۶.۲. آنالیز آماری

نتایج آزمایش‌های تحت پارامترهای عملیاتی PIR، سه سطح توان ۲۵۰، ۳۵۰ و ۴۵۰ W، سه سطح فاصله نمونه‌ها از منبع تابشی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ cm، سه سطح تعداد پالس PIR ۱، ۲ و ۳ pulse/s و زمان بسته شرایط تیمار صفر تا ۲۰ min به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه و تحلیل گردید. تمام مقایسه میانگین‌ها در سطح ۵٪ با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۳ (SAS Institute Inc) صورت گرفت.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. تغییرات سافرانال توسط پرتو PIR

اثر تیمارهای مختلف تابش PIR بر میزان سافرانال در زعفران سرگل نگیل در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳.۲. تهیه عصاره زعفران

طبق استاندارد ایران به منظور تهیه عصاره آبی زعفران، ۱ g زعفران پودری با اندازه ذرات با مش ۵۰ با نسبت ۱ به ۱۰ با آب مقطر مخلوط شده و استخراج عصاره زعفران طی ۸ h با استفاده از هم زن انجام شد [۱۶].

۴.۲. اندازه‌گیری ترکیبات مؤثره زعفران توسط روش

UV-vis

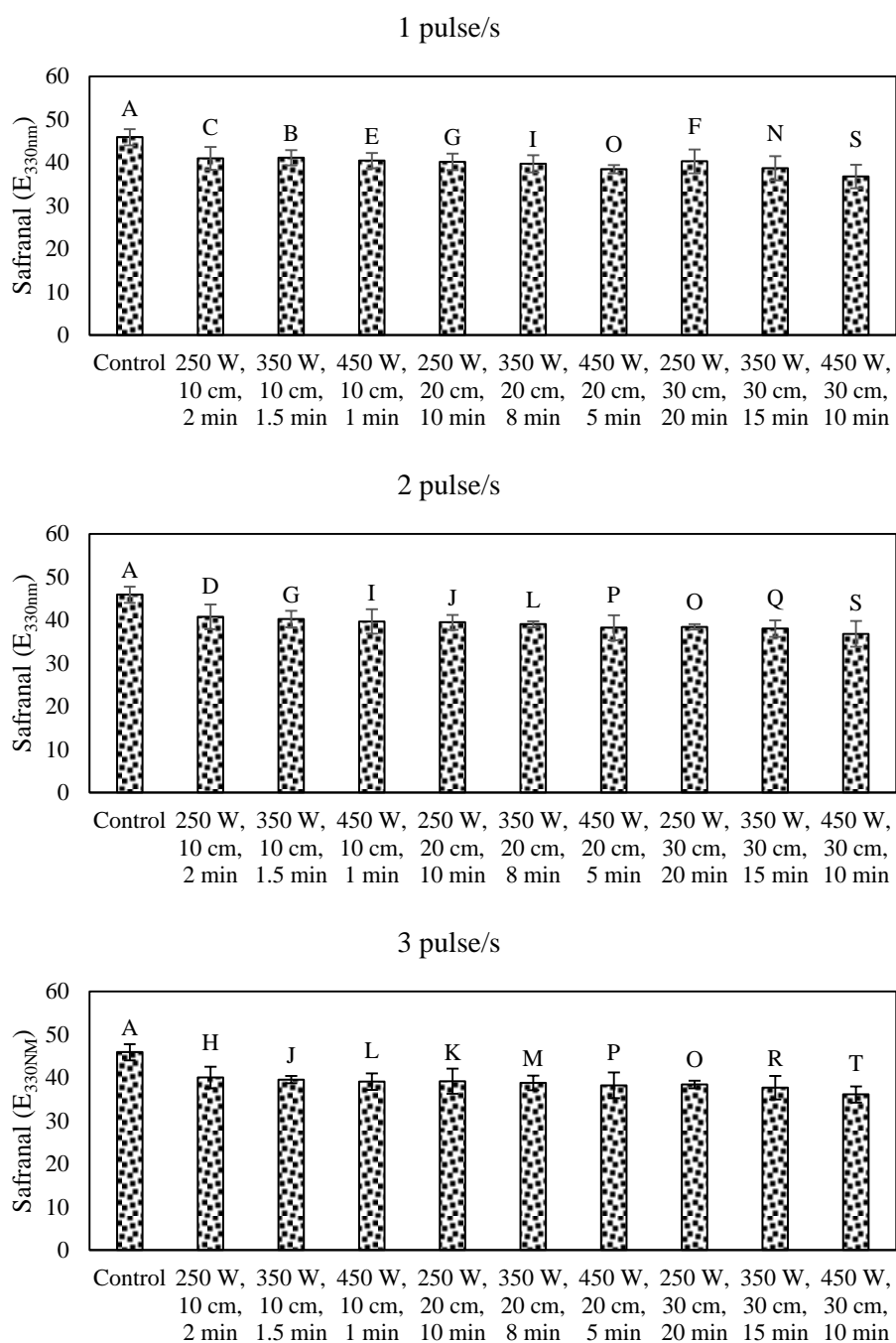
ارزیابی مقدار کروسین، سافرانال و پیکروکروسین توسط دستگاه اسپکتروفتومتری UV-vis (Perkin-Elmer lambda 25) انجام شد. طبق استاندارد بین‌المللی زعفران، به ترتیب برای اندازه‌گیری غلظت کروسین، سافرانال و پیکروکروسین از طول موج ۴۴۰، ۳۳۰ و ۲۵۷ نانومتر استفاده شد. $E_{1cm}^{1\%}$ بر اساس معادله (۱) محاسبه شده است.

$$E_{1cm}^{1\%}(\lambda_{max}) = \frac{A \times 10000}{m(100-H)} \quad (1)$$

A جذب نمونه است، m وزن زعفران (g) و H رطوبت و ترکیبات فرار است [۱۷].

۵.۲. تغییر پارامترهای رنگی در زعفران

به منظور بررسی خصوصیات رنگی از فضای رنگی $L^* a^* b^*$ با استفاده از رنگ‌سنج HunterLab (HunterLab ColorFlex, Hunter Associates Inc., Reston, VA, USA)



حروف معنی‌داری A-T نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری میانگین نمونه‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ است. حروف معنی‌داری بر اساس اثر متقابل تمام نمونه‌ها گزارش شده و شکل‌ها به صورت مجزا، نمایش داده شده است. تیرک‌ها بیانگر میزان تغییرات سافرانال توسط تیمارهای مختلف PIR است. Significance letters A-T indicate a significant difference in the mean of the samples by Duncan's multiple range test at the level of 5%. Significant letters are reported based on the interaction of all samples and the shapes are displayed separately. Columns indicate the extent of safranal changes by different PIR treatments.

شکل (۲) اثر PIR بر سافرانال
Fig 2. Effect of PIR on safranal

۲.۳. تغییرات کروسین توسط پرتو PIR

اثر تیمارهای مختلف تابش PIR بر میزان کروسین در زعفران سرگل نگیں در شکل (۳) نشان داده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده به طور کلی با افزایش تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان کروسین در زعفران سرگل نگیں به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$).

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که بالاترین کاهش میزان کروسین در زعفران سرگل نگیں پرتودهی شده توسط تابش PIR در شرایط ۴۵۰ W، ۳۰ cm، ۱۰ min و ۳ pulse/s است.

مقدار کروسین توسط حرارت کاهش می‌یابد. وجود پیوندهای غیر اشباع در ساختار مولکولی کروسین، به عنوان کاروتنوئید اصلی زعفران، آن را مستعد عوامل اکسید کننده (رادیکال‌های آزاد و غیره) می‌کند. رادیکال‌های آزاد ممکن است پیوندهای گلیکوزید را از بین ببرند و تغییری در ساختار کروسین ایجاد کنند که در نتیجه بر خصوصیات رنگی زعفران تأثیر می‌گذارد [۱۸].

در مطالعه‌ای از تخلیه قوس پلاسما به منظور تأثیر آن بر زعفران استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده از HPLC گزارش شد که مقادیر کروسین در مقایسه با نمونه شاهد ۱۲/۲۸٪ افزایش یافته است [۱۸].

وجود پیوندهای غیر اشباع در ساختار مولکولی کروسین، به عنوان کاروتنوئید اصلی زعفران آن را مستعد اکسیداسیون توسط عوامل اکسید کننده (رادیکال‌های آزاد و غیره) می‌کند. با افزایش زمان تیمار، عوامل اکسید کننده زمان بیشتری برای واکنش با پیوندهای حساس فوق الذکر دارند. رادیکال‌های آزاد ممکن است پیوندهای گلیکوزید را از بین ببرند و تغییری در ساختار کروسین ایجاد کنند که در نتیجه بر خصوصیات رنگی زعفران تأثیر می‌گذارد [۱۸].

گزارش شد که فرآیند جت پلاسما آرگون منجر به کاهش استرهای کروسین می‌شود. آن‌ها همچنین نشان دادند که وارد کردن اکسیژن (۵ و ۱۰٪) به گاز فعال و افزایش سطح ولتاژ، استرهای کروسین به میزان قابل توجهی کاهش یافت. [۱۹]. طی مطالعات محققان، به طور کلی مقدار کروسین

بر اساس نتایج به دست آمده به طور کلی با افزایش تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان سافرانال در زعفران سرگل نگیں به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$). با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که بالاترین کاهش میزان سافرانال در زعفران سرگل نگیں پرتودهی شده توسط تابش PIR در شرایط ۴۵۰ W، ۳۰ cm، ۱۰ min و ۳ pulse/s است.

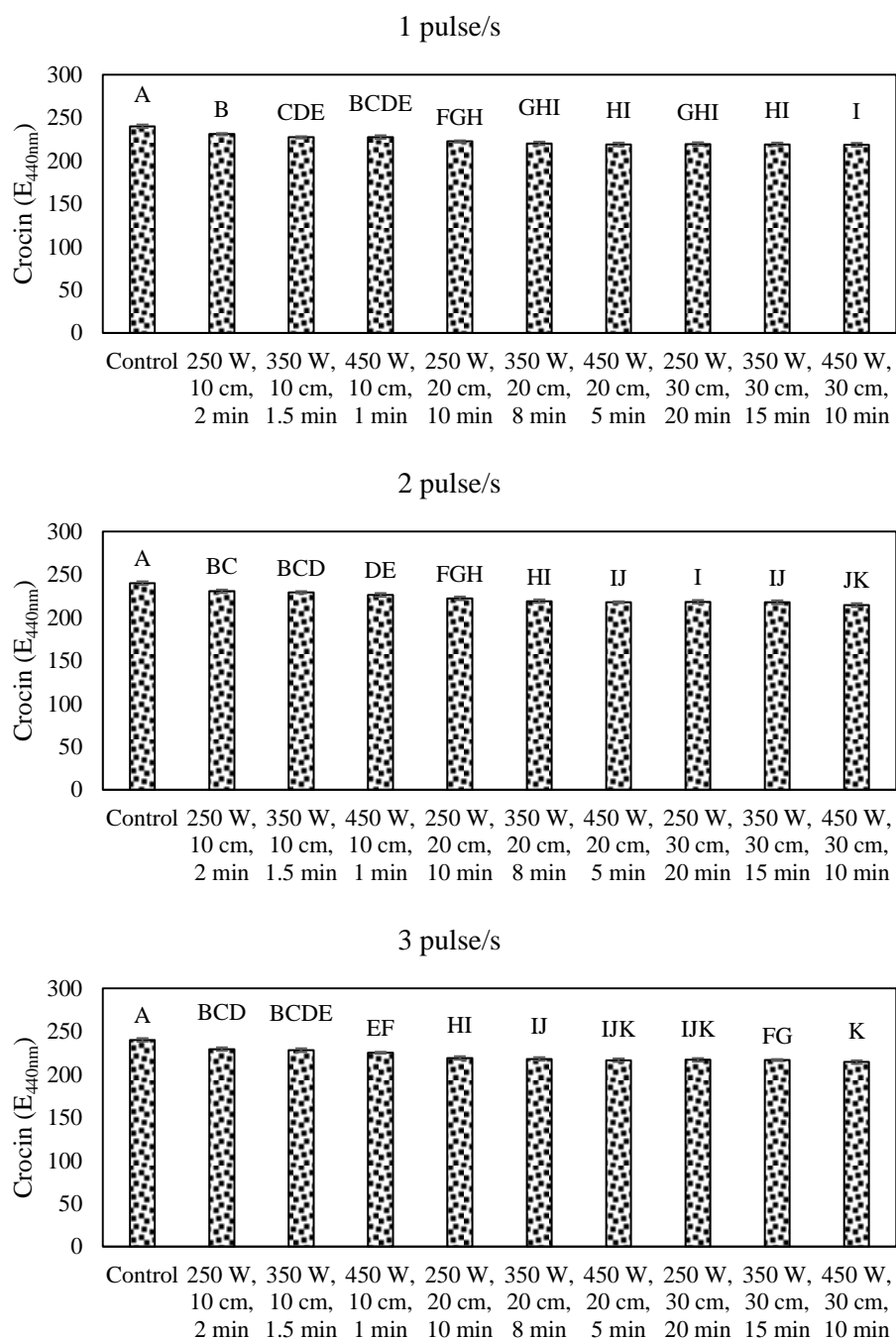
سافرانال ماده اصلی فرار زعفران است و به گروه‌های مونوترپن آلدئید با وزن مولکولی ۱۵۰/۲۱ g/mol تعلق دارد. در کلاله زعفران تازه، سافرانال وجود ندارد و طی خشک شدن از تجزیه پیکروکروسین تولید می‌شود [۵]. گزارش شد که مقدار سافرانال با افزایش زمان فرآیند کاهش می‌یابد. بالا بردن زمان فرآیند، دمای موضعی سطح افزایش یافته و سافرانال بیشتری از کلاله به هوای محیط آزاد می‌شود. همین امر باعث نابودی سافرانال توسط پرتودهی می‌شود [۱۸].

امینی و همکاران (۲۰۱۷)، گزارش کردند که میزان سافرانال در زعفران پس از تیمار با جت پلاسما آرگون، به ترتیب به میزان ۱۴٪ و ۲۱٪ در تیمارهای ۸ و ۱۲ kV کاهش یافته است. بعلاوه، با استفاده از اکسیژن به عنوان گاز فعال و افزایش ولتاژ، میزان کاهش سافرانال افزایش یافته بود [۱۹]. طی مطالعه‌ای اثر پلاسما سرد بر مقدار سافرانال در کلاله‌های زعفران مورد بررسی قرار گرفت. گزارش شد که پلاسما سرد باعث کاهش در محتوای سافرانال می‌شود [۲۰].

گزارش شده است که به طور کلی با افزایش شدت تیمار (افزایش حرارت) و به طبع کاهش زمان فرآیند توسط پرتودهی مادون قرمز در زعفران منجر به حفظ مقدار سافرانال می‌شود [۲۱-۲۴].

در مطالعه‌ای به بررسی اثر خشک کن ترکیبی هوای داغ-مادون قرمز بر سینتیک خشک کردن کلاله‌های زعفران و تأثیر آن بر مقدار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال و بار میکروبی زعفران پرداخته شد. سامانه ترکیبی هوای داغ-مادون قرمز تأثیر معنی‌داری بر محتوای سافرانال در زعفران داشته است [۲۱].

طی کاهش زمان فرآیند با افزایش شدت تیمار توسط فرآیند پرتودهی مادون قرمز حفظ می‌شود [۲۱-۲۴].



ای دانکن در سطح ۵٪ است. حروف معنی‌داری بر اساس اثر متقابل نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری میانگین نمونه‌ها توسط آزمون چند دامنه A-K حروف معنی‌داری

است. PIR تمام نمونه‌ها گزارش شده و شکل‌ها به صورت مجزا، نمایش داده شده است. تیرک‌ها بیانگر میزان تغییرات کروسیین توسط تیمارهای مختلف

Significance letters A-K indicate a significant difference in the mean of the samples by Duncan's multiple range test at the level of 5%. Significant letters are reported based on the interaction of all samples and the shapes are displayed separately.

Columns indicate the extent of crocin changes by different PIR treatments.

شکل (۳) اثر PIR بر کروسیین

Fig 3. Effect of PIR on crocin

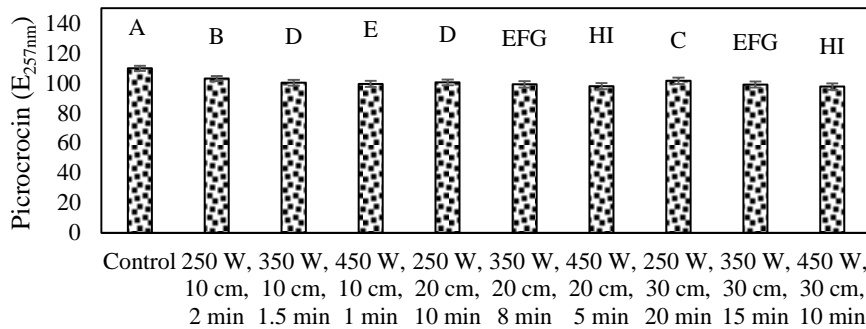
در مطالعه‌ای به بررسی اثر خشک کن ترکیبی هوای داغ - است [۲۱].
مادون قرمز بر سینتیک خشک کردن کلاله‌های زعفران و

۳.۳. تغییرات پیکروکروسین توسط پرتو PIR

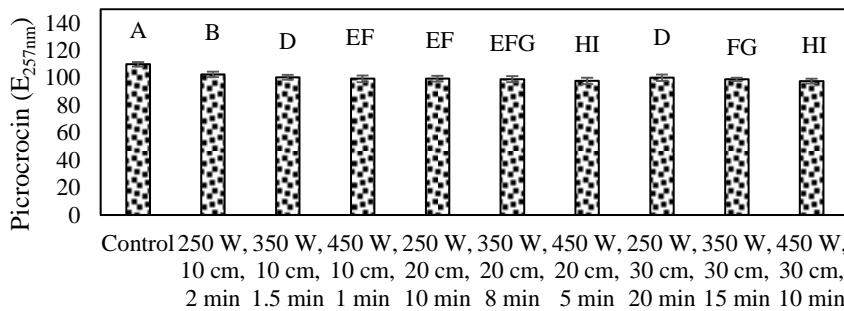
اثر تیمارهای مختلف تابش PIR بر میزان پیکروکروسین در زعفران سرگل نگیل در شکل (۴) نشان داده شده است.

تأثیر آن بر مقدار کروسین، پیکروکروسین و سافرانال و بار میکروبی زعفران پرداخته شد و در نهایت گزارش کردند که تأثیر معنی‌داری بر محتوای کروسین در زعفران داشته

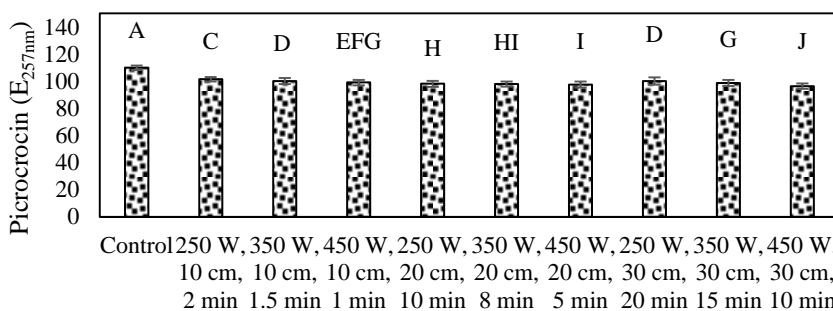
1 pulse/s



2 pulse/s



3 pulse/s



حروف معنی‌داری A-J نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری میانگین نمونه‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ است. حروف معنی‌داری بر اساس اثر متقابل تمام نمونه‌ها گزارش شده و شکل‌ها به صورت مجزا، نمایش داده شده است. تیرک‌ها بیانگر میزان تغییرات پیکروکروسین توسط تیمارهای مختلف PIR است.

Significance letters A-J indicate a significant difference in the mean of the samples by Duncan's multiple range test at the level of 5%. Significant letters are reported based on the interaction of all samples and the shapes are displayed separately.

Columns indicate the extent of picrocrocin changes by different PIR treatments.

شکل (۴) اثر PIR بر پیکروکروسین

Fig 4. Effect of PIR on picrocrocin



نشان داده شده است. تغییر پارامترهای رنگی زعفران سرگل نگیں توسط پرتو PIR در شکل (۶) در تیمارهای مختلف تابش در ۲ pulse/s نشان داده شده است. تغییر پارامترهای رنگی زعفران سرگل نگیں توسط پرتو PIR در شکل (۷) در تیمارهای مختلف تابش در ۳ pulse/s نشان داده شده است. تغییرات در پارامترهای رنگی زعفران سرگل نگیں توسط پرتو PIR در نمودارها قابل مشاهده است اما باید توجه داشت که تغییرات در حد تغییر در خواص زعفران سرگل نگیں نبود و کیفیت در حد قابل قبولی حفظ شد.

رنگ یکی از ویژگی‌های مهم کیفی است که بر پذیرش مصرف‌کنندگان مؤثر بوده و به حداقل رساندن تغییر رنگ در هر فرآیند حرارتی بسیار مهم است [۲۵، ۲۶]. بر اساس نتایج مطالعات پژوهشگران، بیشترین اثر در تغییر رنگ، به واسطه دمای بالاتر و زمان طولانی‌تر فرآیند رخ می‌دهد [۲۷، ۲۸]. در مطالعه‌ای به بررسی اثر IR به منظور غیرفعال‌سازی باسیلوس سرئوس در دانه‌های هل انجام شد. گزارش شد که رنگ سبز (مقدار a^*) دانه‌های هل کمی تحت تأثیر پرتو IR قرار گرفت و بیشترین تغییر رنگ در ۲۰۰ W، فاصله ۱۰ cm و تابش ۱۰ min مشاهده شد که منجر به افزایش a^* شد [۱۲].

در مطالعه مشابهی اثر اشعه مادون قرمز در تغییر مقدار a^* در پونه کوهی بررسی شد. نتایج نشان داد که اشعه مادون قرمز باعث افزایش ناچیزی در میزان قرمزی شد اما به دلیل تغییرات بسیار کم در میزان a^* تمامی نمونه‌ها از نظر تغییر رنگ قابل قبول بودند. علاوه بر این، مشاهده شد که با افزایش زمان و دما، میزان تغییرات رنگ نیز افزایش می‌یابد [۲۹]. بررسی تغییرات رنگ در دانه‌های فلفل سیاه تیمار شده توسط تابش مادون قرمز دور با استفاده از روش تجزیه و تحلیل توسط LAB نشان داد که اشعه مادون قرمز دور هیچ تأثیری بر میزان روشنایی (L^*) و زردی (b^*) نداشته اما با افزایش زمان و دمای فرآیند، میزان قرمزی (a^*) کمی افزایش یافت [۳۰]. نتایج مشابهی برای دانه‌های زیره سبز در مطالعه اردغدو و ایکیز (۲۰۱۱) گزارش شده است [۳۱].

بر اساس نتایج به دست آمده به طور کلی با افزایش توان تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان پیکروکروسین در زعفران سرگل نگیں به شکل معنی‌داری کاهش یافت ($P < 0.05$).

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که بالاترین کاهش میزان پیکروکروسین در زعفران سرگل نگیں پرتودهی شده توسط تابش PIR در شرایط ۴۵۰ W، ۳۰ cm، ۱۰ min و ۳ pulse/s است.

مقدار پیکروکروسین توسط حرارت کاهش می‌یابد. همچنین، ممکن است به دلیل واکنش با گونه‌های فعال (رادیکال آزاد)، به ویژه در زمان‌های طولانی فرآیند، پیوندهای گلیکوزیدی پیکروکروسین ضعیف یا شکسته شود؛ بنابراین، پیکروکروسین در طی پیش تصفیه و یا فرآیند خشک شدن پس از آن به سافرانال و گلوکز تجزیه شود [۱۸].

در مطالعه‌ای از تخلیه قوس پلاسما به منظور تأثیر آن بر زعفران استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده از HPLC گزارش شد که مقادیر پیکروکروسین در مقایسه با نمونه شاهد ۱۹/۲۹٪ افزایش یافته است [۱۸].

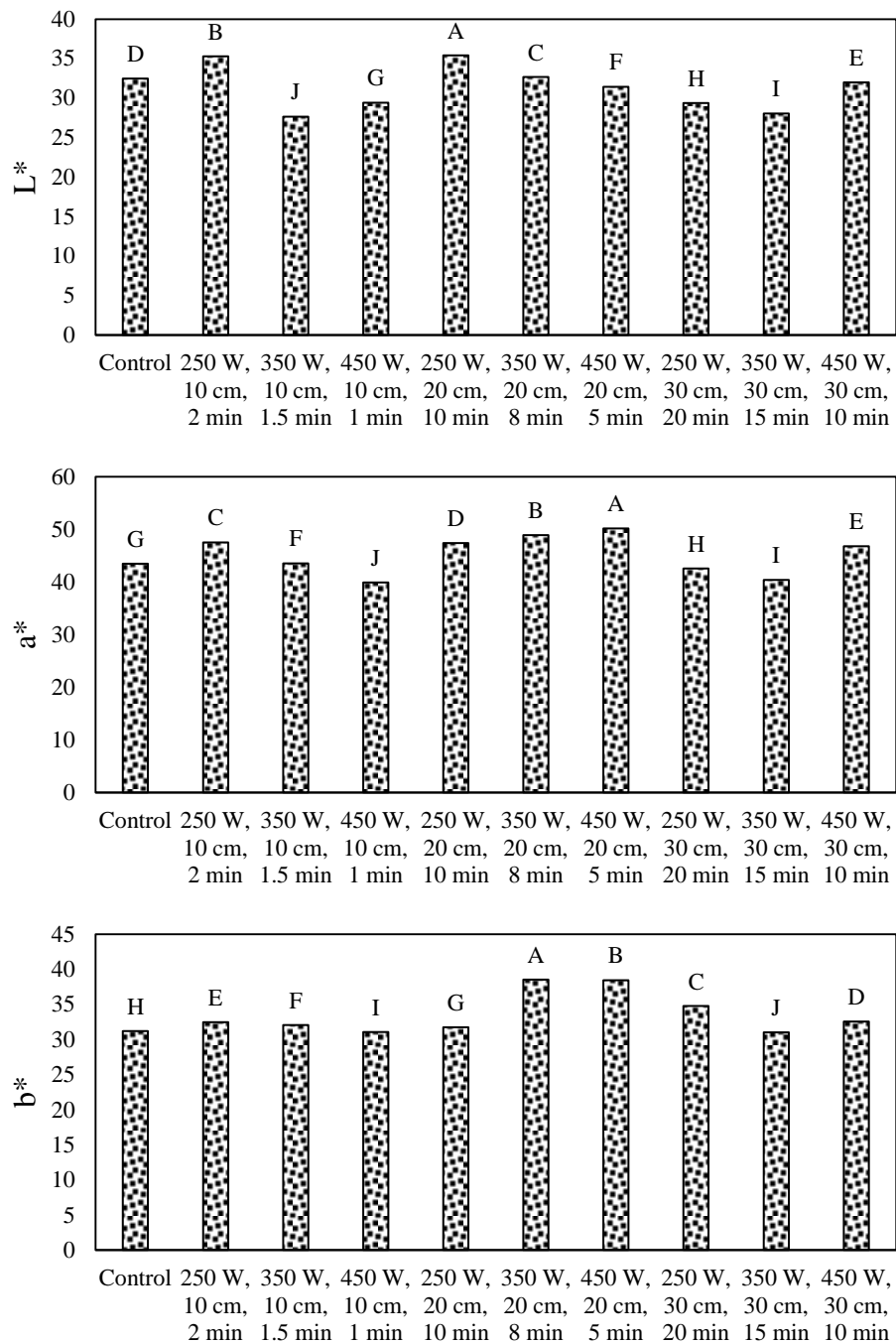
همچنین، ممکن است به دلیل واکنش با گونه‌های فعال (رادیکال‌های آزاد)، به ویژه در زمان‌های بالاتر پرتودهی، پیوندهای گلیکوزیدی پیکروکروسین ضعیف یا شکسته شود؛ بنابراین، پیکروکروسین در طی فرآیند پرتو دهی به سافرانال و گلوکز تجزیه می‌شود [۱۸].

طی پرتودهی زعفران توسط مادون قرمز، به طور کلی با افزایش شدت تیمار و کاهش زمان فرآیند مقدار پیکروکروسین بیشتر حفظ می‌شود [۲۱-۲۴].

در مطالعه‌ای به بررسی اثر خشک کن ترکیبی هوای داغ-مادون قرمز بر سینتیک خشک کردن کلاله‌های زعفران پرداخته شده و تأثیر آن بر مقدار پیکروکروسین معنی‌دار بوده است [۲۱].

۴.۳. تغییر پارامترهای رنگی زعفران توسط پرتو PIR

تغییر پارامترهای رنگی زعفران سرگل نگیں توسط پرتو PIR در شکل (۵) در تیمارهای مختلف تابش در ۱ pulse/s

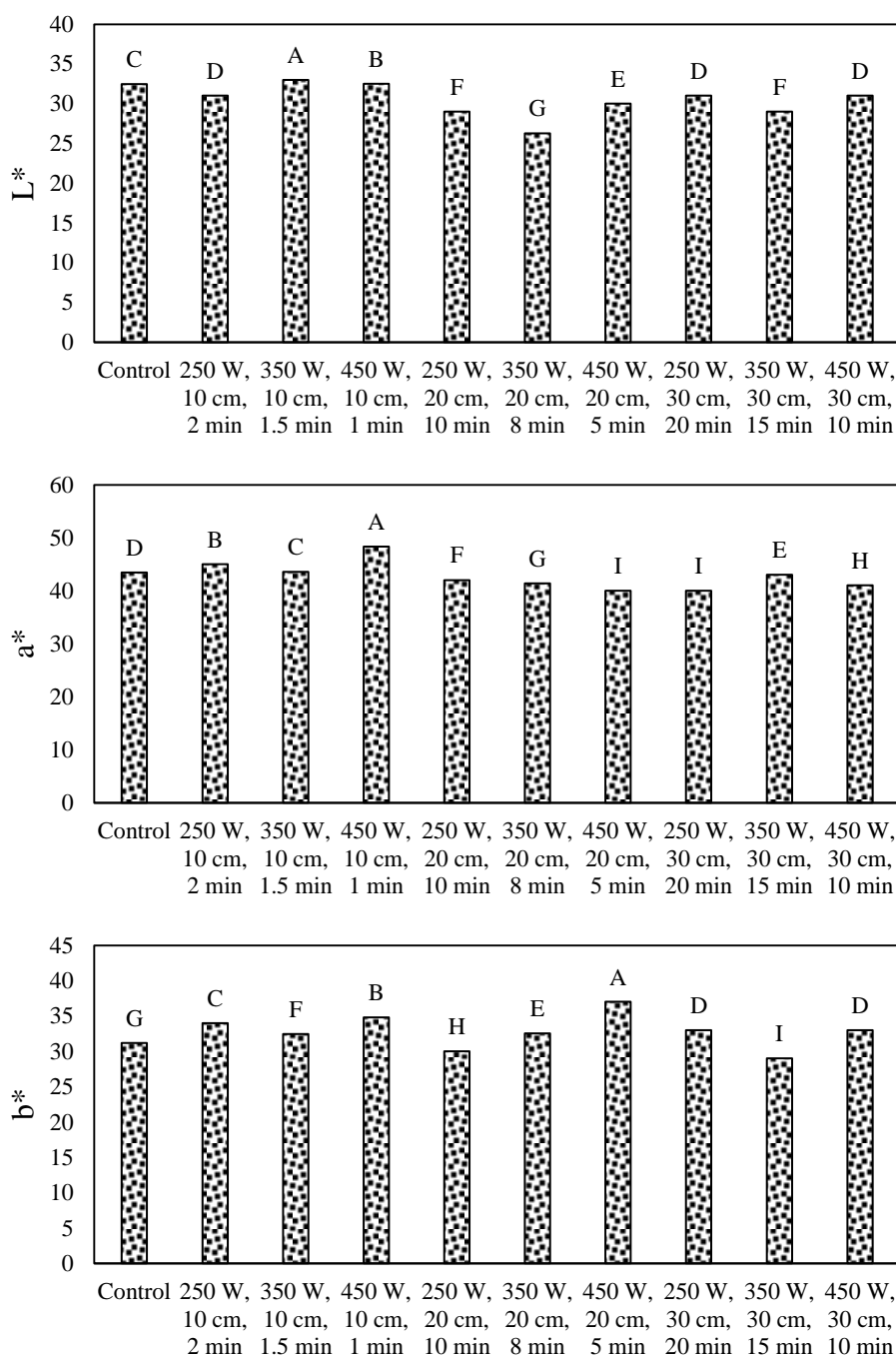


حروف معنی داری A-J نشان دهنده اختلاف معنی داری میانگین نمونه‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ است. حروف معنی داری در هر شکل به صورت مجزا، نمایش داده شده است. تیرک‌ها بیانگر میزان تغییرات اندیس‌های رنگی در تابش 1 pulse/s PIR است.

The significant letters A-J indicate the significant difference between the mean of the samples by Duncan's multiple range test at the level of 5%. The significant letters in each form are displayed separately. Columns indicate the rate of change of color indices in 1 pulse / s PIR radiation.

شکل (۵) اثر PIR بر اندیس‌های رنگی در 1 pulse/s

Fig 5. Effect of PIR on color index in 1 pulse/s

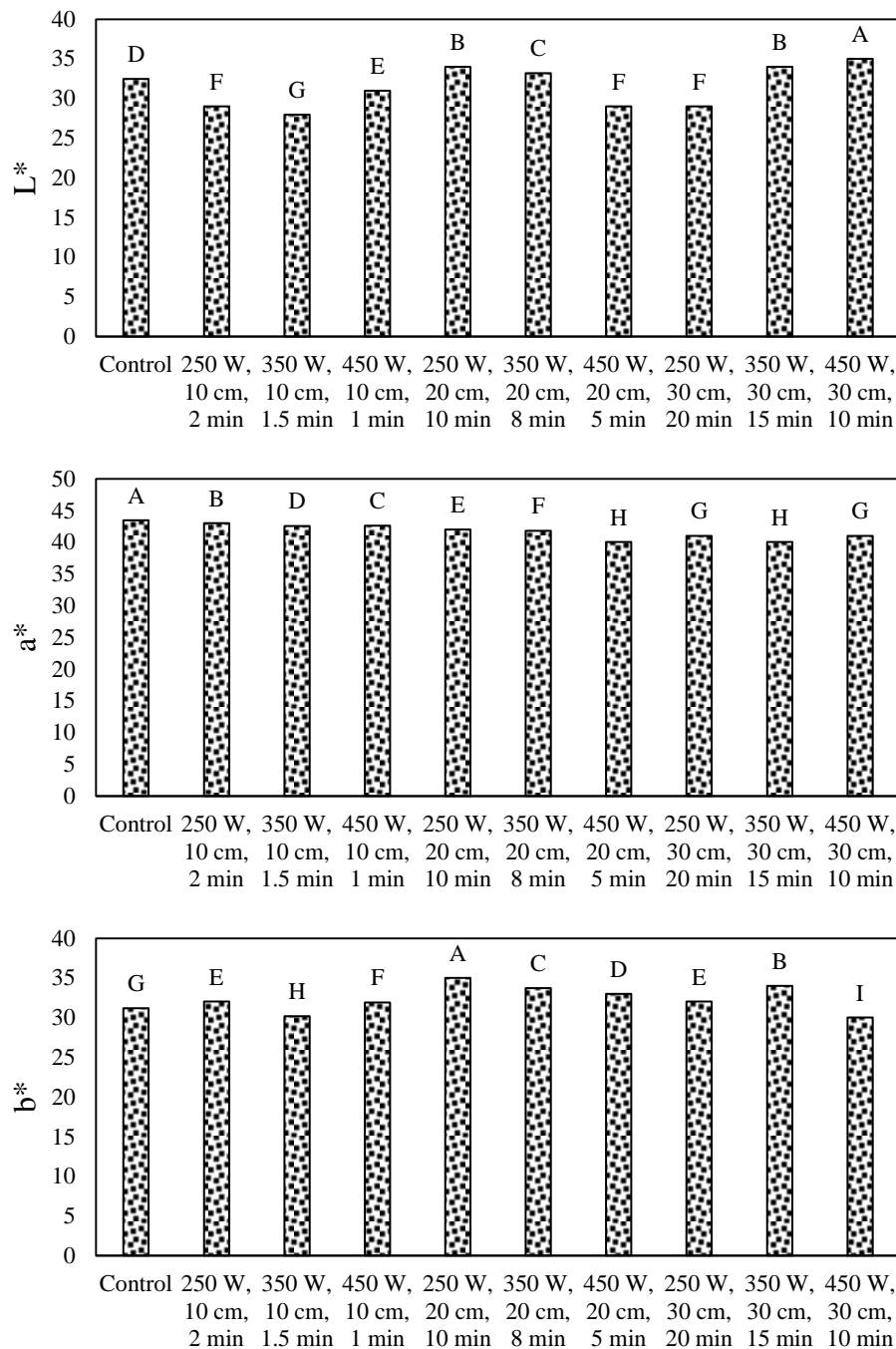


حروف معنی‌داری A-I نشان‌دهنده اختلاف معنی‌داری میانگین نمونه‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ است. حروف معنی‌داری در هر شکل به صورت مجزا، نمایش داده شده است. تیرک‌ها بیانگر میزان تغییرات اندیس‌های رنگی در تابش 2 pulses/s PIR است.

The significant letters A-I indicate the significant difference between the mean of the samples by Duncan's multiple range test at the level of 5%. The significant letters in each form are displayed separately. Columns indicate the rate of change of color indices in 2 pulse / s PIR radiation.

شکل (۶) اثر PIR بر اندیس‌های رنگی در 2 pulses/s

Fig 6. Effect of PIR on color index in 2 pulse/s



حروف معنی داری A-I نشان دهنده اختلاف معنی داری میانگین نمونه‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵٪ است. حروف معنی داری در هر شکل به صورت مجزا، نمایش داده شده است. تیرک‌ها بیانگر میزان تغییرات اندیس‌های رنگی در تابش 1 pulses/s PIR است.

The significant letters A-I indicate the significant difference between the mean of the samples by Duncan's multiple range test at the level of 5%. The significant letters in each form are displayed separately. Columns indicate the rate of change of color indices in 3 pulse / s PIR radiation.

شکل (۷) اثر PIR بر اندیس‌های رنگی در 3 pulses/s

Fig 7. Effect of PIR on color index in 3 pulse/s



۴. نتیجه‌گیری

زعفران در دنیا با عنوان طلای سرخ شناخته می‌شود و یکی از گران‌ترین و با ارزش‌ترین ادویه‌جات در جهان است. زعفران، عمدتاً به عنوان ماده رنگی و طعم‌دهنده استفاده می‌شود و خواص ارزشمند دارویی زعفران نیز اثبات شده است. از همین رو حفظ کیفیت زعفران در طی فرآوری به عنوان یک عامل بسیار مهم است. در این مطالعه، به بررسی اثر اشعه مادون قرمز پالسی (PIR) بر میزان تغییرات شاخص‌های کیفی سافرانال، کروسین و پیکروسین و اندیس‌های رنگی در زعفران سرگل نگیب پرداخته شد. بر اساس نتایج به دست آمده به طور کلی با افزایش تابش PIR و تعداد پالس PIR و کاهش فاصله، میزان سافرانال، کروسین و پیکروکروسین در زعفران سرگل نگیب به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) کاهش یافت. بررسی تغییرات در پارامترهای رنگی زعفران سرگل نگیب توسط پرتو PIR نشان داد که تغییرات به شکل معنی‌داری ($P < 0.05$) در خواص زعفران سرگل نگیب نبود و کیفیت در حد قابل قبولی حفظ شد (تغییرات حسی و ظاهری با چشم غیر مسلح کاملاً محسوس نبود). طبق نتایج به دست آمده، روش PIR توانایی حفظ کیفیت زعفران سرگل نگیب را در سطح قابل قبولی طی فرآوری داشته است. در نهایت، می‌توان پیشنهاد کرد که PIR روشی ایمن در فرآوری زعفران سرگل نگیب بوده است. همچنین می‌توان از آن برای فرآوری مواد غذایی به عنوان روش ایمن استفاده کرد زیرا توانایی حفظ کیفیت زعفران که ادویه‌ای بسیار حساس است را طی فرآوری دارا می‌باشد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران (طرح پژوهشی کد ۱۰۱۰۲۹۸۰۰۸) انجام شده است.

رنگ محصولات غذایی خشک یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که به میزان قابل توجهی بر مقبولیت مصرف کننده تأثیر می‌گذارد. روند کاهش رطوبت می‌تواند به طور قابل توجهی خاصیت رنگی زعفران را تغییر دهد. کاروتنوئیدها مسئول رنگ کلاله زعفران هستند [۳۲].

طی مطالعه‌ای اثر تخلیه قوس پلاسما بر زعفران بررسی شده و گزارش شد که مقادیر L^* و a^* به ترتیب در مقایسه با نمونه شاهد کاهش و افزایش یافته است [۱۸].

افزایش سرعت فرآیند و کاهش زمان پرتودهی، منجر به کاهش بسیاری از واکنش‌هایی می‌شود که می‌توانند روی رنگ تأثیر بگذارند، مانند تجزیه کاروتنوئیدها [۱۸].

۵.۳. میزان همبستگی بین پارامتر a^* و میزان کروسین

قدرت رنگی زعفران یکی از پارامترهای مهم برای تعیین کیفیت زعفران می‌باشد که می‌توان با اندازه‌گیری میزان کروسین موجود در آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

کروسین رنگدانه محلول در آب، یکی از چند کاروتنوئید محدود موجود در طبیعت است. خاصیت حلالیت در آب کروسین، یکی از دلایل مهم کاربرد وسیع آن به عنوان رنگ‌دهنده در مواد غذایی و دارویی نسبت به سایر کاروتنوئیدها می‌باشد. میزان کروسین در زعفران نسبت به دیگر کاروتنوئیدها بیشتر است [۳۳].

با توجه به شکل‌های (۳ و ۵-۷)، تأثیر فرآیند PIR بر محتوای کروسین و میزان a^* معنی‌دار بوده است. در حالی که میزان تغییرات به طور یکسان نیست اما می‌توان به ارتباط دو پارامتر کروسین و میزان a^* اشاره کرد.

اگر چه این امر بیانگر ارتباط نسبی دو پارامتر کروسین و میزان تغییرات رنگ در زعفران است و برای تعیین دقیق هر پارامتر باید به طور مجزا به بررسی آن‌ها پرداخته شود.

منابع

[1] Shahrzad, F., Kamran, M., Khaksar, R., Hosseini, H., Kargar, S., & Enteshari, M. (2009). Assessment of the microbiological quality of packed spices in the

chain stores, Shahrvand, in Tehran in 1386. *J. of Inno. Food Sci. and Technol.*, 6(2), 125-131.

- [2] Iurlina, M. O., Saiz, A. I., Fuselli, S. R., & Fritz, R. (2006). Prevalence of *Bacillus* spp. in different food products collected in Argentina. *LWT-Food Sci. and Technol.*, 39(2), 105-110.
- [3] Mansouri, M., Zibafar, E., Hashemi, S. J., Gerami Shoar, M., & Ghazvini, R. D. (2015). The study of fungal contamination in three current packed spices in the markets of Tehran: brief report. *Tehran Univ. Med. J.*, 73(3).
- [4] Melnyk, J. P., Wang, S., & Marcone, M. F. (2010). Chemical and biological properties of the world's most expensive spice: Saffron. *Int. Food Res. J.*, 43(8), 1981-1989.
- [5] Shahi, T., Assadpour, E., & Jafari, S. M. (2016). Main chemical compounds and pharmacological activities of stigmas and tepals of 'red gold' saffron. *Trends in Food Sci. & Technol.*, 58, 69-78.
- [6] Khazdair, M. R., Boskabady, M. H., Hosseini, M., Rezaee, R., & Tsatsakis, A. M. (2015). The effects of *Crocus sativus* (saffron) and its constituents on nervous system: A review. *Avicenna J Phytomed.*, 5(5), 376.
- [7] Rodriguez-Ruiz, V., Barzegari, A., Zuluaga, M., Zunooni-Vahed, S., Rahbar-Saadat, Y., Letourneur, D., Gueguen, V. and Pavon-Djavid, G. (2016). Potential of aqueous extract of saffron (*Crocus sativus* L.) in blocking the oxidative stress by modulation of signal transduction in human vascular endothelial cells. *J. Funct. Foods*, 26, 123-134.
- [8] Ministry of Jahad of Agriculture (MJA), (2017). Saffron Report. Office of National Piject of Medicina Plants.
- [9] Kulkarni, S., Sane, A., Bhise, K., Patil, A., Dhamole, P., & Desai, S. (2014). Development of extraction methods and quantification of Safranal by high performance liquid chromatography from *Cuminum cyminum* L. and studying its antimicrobial properties. *Int. Cong. Environl. Biotechnol. Chem. Eng.*, 64.
- [10] Kiani, S., Minaei, S., & Ghasemi-Varnamkhasti, M. (2018). Instrumental approaches and innovative systems for saffron quality assessment. *J. of Food Eng.*, 216, 1-10.
- [11] Khazaei, N., Jouki, M., Kalbasi, A., Tavakolipour, H., Rajabifar, S., Sedeh, F. M., & Jouki, A. (2011). Study of Microbial Critical Points of Saffron from Farm to Factory in Iran. *Int J Food Sci Nutr.*, 5(5), 293-296.
- [12] Shavandi, M., Kashaninejad, M., Sadeghi, A., Jafari, S. M., & Hasani, M. (2020). Decontamination of *Bacillus cereus* in cardamom (*Elettaria cardamomum*) seeds by infrared radiation and modeling of microbial inactivation through experimental models. *J. Food Saf.*, 40(1), e12730.
- [13] Staack, N., Ahrné, L., Borch, E. and Knorr, D. (2008). Effect of infrared heating on quality and microbial decontamination in paprika powder. *J. Food Eng.*, 86(1), 17-24.
- [14] Shavandi, M., Taghdir, M., Abbaszadeh, S., Sepandi, M., Parastouei, K. (2020). Modeling the inactivation of *Bacillus cereus* by infrared radiation in paprika powder (*Capsicum annuum*). *J. Food Saf.*, e12797s. <https://doi.org/10.1111/jfs.12797>
- [15] Eliasson, L., Isaksson, S., Lövenklev, M., & Ahrné, L. (2015). A comparative study of infrared and microwave heating for microbial decontamination of paprika powder. *Front Microbiol.*, 6, 1071.
- [16] Iran National Standard. (2012). Saffron- Test methods, ISIRI NUMBER: 259-2. Iranian National Standardization Organization. 5st. Revision.
- [17] ISO. (2010). Spices-saffron (*Crocus sativus* L), ISO 3632-2, Par 2: Test Methods. International Organization for Standardization.
- [18] Tabibian, S. A., Labbafi, M., Askari, G. H., Rezaeinezhad, A. R., & Ghomi, H. (2020). Effect of gliding arc discharge plasma pretreatment on drying kinetic, energy consumption and physico-chemical properties of saffron (*Crocus sativus* L.). *J. Food Eng.*, 270, 109766.
- [19] Amini, M., Ghoranneviss, M., & Abdijadid, S. (2017). Effect of cold plasma on crocin esters and volatile compounds of saffron. *Food chem.*, 235, 290-293.
- [20] Hosseini, S. I., Farrokhi, N., Shokri, K., Khani, M. R., & Shokri, B. (2018). Cold low pressure O2 plasma treatment of *Crocus sativus*: An efficient way to eliminate toxicogenic fungi with minor effect on molecular and cellular properties of saffron. *Food Chem.*, 257, 310-315.
- [21] Mohammadzadeh, M., Taghizadeh, M., Sadrnia, H., & Pourreza, H. R. (2019). The effects of temperature, air speed and IR radiation on drying kinetics and some quality factors of saffron. *Inn. Food Technol.*, 7(1), 97-113.
- [22] Aghaei, Z., Jafari, S. M., Ghorbani, M., & Hemmati, Kh. (2017). Effects of different drying methods on the physicochemical and sensory properties of saffron. *Iranian J. Food Sci. Technol.*, 14(65), 129-138.
- [23] Del Campo, C.P., Carmona, M., Maggi, L., Kanakis, C.D., Anastasaki, E.G., Tarantilis, P.A., Polissiou, M.G. and Alonso, G.L. (2010). Effects of mild temperature conditions during dehydration procedures on saffron quality parameters. *J. Sci. Food Agric.*, 90(4), 719-725.
- [24] Gregory, M. J., Menary, R. C., & Davies, N. W. (2005). Effect of drying temperature and air flow on

the production and retention of secondary metabolites in saffron. *J. Agric. Food Chem.*, 53(15), 5969-5975.

[25] Coultate, T. P. (2009). Food: the chemistry of its components, *Royal Society of Chem.*

[26] Sledz, M. and Witrowa-Rajchert, D. (2012). Influence of microwave-convective drying of chlorophyll content and colour of herbs. *Acta Agrophysica*, 19.

[27] Schmalko, M. E., Scipioni, P. G. and Ferreyra, D. J. (2005). Effect of water activity and temperature in color and chlorophylls changes in yerba mate leaves. *Int. J. of Food Prop.*, 8, 313-322.

[28] Steet, J. A., & Tong, C. H. (1996). Degradation kinetics of green color and chlorophylls in peas by colorimetry and HPLC. *J. Food Sci.*, 61(5), 924-928.

[29] Eliasson, L., Libander, P., Lövenklev, M., Isaksson, S. and Ahrné, L. (2014). Infrared Decontamination of Oregano: Effects on *Bacillus cereus* Spores, Water Activity, Color, and Volatile Compounds. *J. Food Sci.*, 79(12), E2447-E2455.

[30] Erdogdu, B.S. and Ekiz, H. I. (2013). Far infrared and ultraviolet radiation as a combined method for surface pasteurization of black pepper seeds. *J. Food Eng.*, 116, 310-314.

[31] Erdogdu, B.S. and Ekiz, H. I. (2011). Effect of ultraviolet and far infrared radiation on microbial decontamination and quality of Cumin seeds. *J. Food Sci.*, M1-M9.

[32] Atefi, M., Akbari Oghaz, A. R., & Mehri, A. (2013). Drying effects on chemical and sensorial characteristics of saffron. *Iranian J. Nutr. Sci. & Food Technol.*, 8(3), 201-208.

[33] Hosseinzadeh, H., Modaghegh, M. H., & Saffari, Z. (2009). Crocus sativus L.(Saffron) extract and its active constituents (crocin and safranal) on ischemia-reperfusion in rat skeletal muscle. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 6(3), 343-350.

Research Article
Effect of pulsed infrared on safranal, crocin and picrocin and color parameters in saffron (*Crocus sativus* L.)

Majid Javanmard^{1*}, Mahdi Shavandi²

1. Associate Professor, Food Science and Technology, Department of Chemical Engineering, Iranian Research Organization for Science & Technology (IROST), Tehran

2. PhD Student, Food Science and Technology, Department of Chemical Engineering, Iranian Research Organization for Science & Technology (IROST), Tehran

Abstract

In this study, the effect of pulsed infrared (PIR) radiation on Sargol Negin saffron was investigated. The quality of saffron was determined by examining the amount of changes in safranal, crocin and picrocin and color change in the Sargol Negin saffron. Effect of PIR radiation parameters, power (250, 350 and 450 W), sample distance (10, 20 and 30 cm), irradiation time (0-20 min) and number of PIR pulses (1, 2 and 3 pulse/s) were evaluation. Based on the obtained results, in general, with increasing the PIR power and the number of PIR pulses and decreasing the distance, the amount of safranal in Sargol Negin saffron decreased significantly ($P < 0.05$). With increasing the PIR power and the number of PIR pulses and decreasing the distance, the amount of crocin in Sargol Negin saffron decreased significantly ($P < 0.05$). Also, with increasing the PIR power and the number of PIR pulses and decreasing the distance, the amount of picrocrocin in Sargol Negin saffron decreased significantly ($P < 0.05$). Investigation of changes in the color parameters of Sargol Negin saffron by PIR showed that the changes were not significant ($P > 0.05$) in the properties of Sargol Negin saffron and the quality was maintained at an acceptable level. According to the results, the PIR method is recommended for food processing because it can maintain the quality of food at an acceptable level.

Keywords: Uv-vis analysis, pulsed infrared, picrocrocin, saffron, safranal, crocin.

* Corresponding author: mjavanir@yahoo.com