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

نشریه فنی :

معرفی روش‌های نوین و غیرمخرب تشخیص سریع تقلب در زعفران

بهاره جمشیدی

سال انتشار: ۱۴۰۰

AERI

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۸۴۵ -۳۱۵۸۵، مؤسسه تحقیقات فنی ومهندسی کشاورزی
تلفن: ۳۲۷۰۵۳۲۰، ۳۲۷۰۵۲۴۲ و ۳۶۱۵۰۰۰۰(۰۲۶)
دورنگار: ۳۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶)، آدرس دسترسی: www.aeri.ir(بخش انتشارات الکترونیکی)

بسم الله الرحمن الرحیم

مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

نشریهٔ فنی:

معرفی روش‌های نوین و غیرمخرب تشخیص سریع تقلب در زعفران

تهیه و تدوین:

بهاره جمشیدی

عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

سال انتشار:

۱۴۰۰

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

نوع نوشتار: نشریهٔ فنی
عنوان نوشتار: معرفی روش‌های نوین و غیرمخرب تشخیص سریع تقلب در زعفران
نگارنده: بهاره جمشیدی
ویراستار ادبی: محمدرضا داهی
صفحه‌آرا: سمیه وطن دوست
ناشر: مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
شمارگان: محدود
نوبت چاپ: اول
سال انتشار: ۱۴۰۰

مسئولیت صحت مطالب با نگارنده است.

شماره ثبت ۶۰۲۱۷ در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع‌رسانی کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی به تاریخ ۱۴۰۰/۰۶/۲۱

مخاطبان نشریه:

سازندگان و تولیدکنندگان دستگاه‌های تجزیهٔ کیفی و ابزار دقیق زعفران، مسئولان و کارشناسان آزمایشگاه‌های تجزیهٔ کیفی، تولیدکنندگان و صادرکنندگان زعفران، کارشناسان پهنه و زعفران‌کاران پیشرو

اهداف آموزشی:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- کیفیت و انواع زعفران
- انواع تقلب در زعفران
- روش‌های کیفیت‌سنجی دستگاهی برای تشخیص تقلب در زعفران
- روش‌ها و سامانه‌های نوین تشخیص سریع و غیر مخرب تقلب در زعفران

آشنا خواهید شد.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱- مقدمه	۱
۲- زعفران (انواع و کیفیت)	۳
۳- انواع تقلب در زعفران	۶
۴- روش‌های کیفیت‌سنجی دستگاهی برای تشخیص تقلب در زعفران	۸
۵- روش‌ها و سامانه‌های نوین تشخیص غیرمخرب تقلب در زعفران	۱۲
۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۲۴
فهرست منابع	۲۶

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از با ارزش‌ترین گیاهان دارویی است. این گیاه در شرایط آب و هوایی خاص رشد می‌کند و تعداد کمی از کشورهای جهان امکان تولید آن را دارند. ایران، یونان، اسپانیا و هند به ترتیب بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکنندهٔ زعفران هستند (UNIDO, 2016). ایران، اسپانیا و یونان به ترتیب و برای چندین دهه صادرکنندگان عمدهٔ زعفران در جهان بوده‌اند. از سال ۲۰۰۰ میلادی، ورود سایر کشورها از جمله افغانستان، چین، هلند و پرتغال به بازار جهانی، ارزش صادرات زعفران را افزایش و تحت تأثیر قرار داده‌است (Shahnoushi *et al*., 2020).

ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده و صادرکنندهٔ زعفران در جهان است. بیش از ۹۰ درصد محصول سالانهٔ زعفران دنیا در ایران تولید می‌شود (Koocheki and Khajeh-Hosseini, 2020). برابر آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۷، کل تولید و سطح زیر کشت سالانهٔ زعفران در کشور به‌ترتیب ۴۰۴/۵ تن و حدود ۱۱۴ هزار هکتار بوده‌است که استان خراسان رضوی با ۲۸۳/۲ تن و حدود ۸۸ هزار هکتار سطح زیر کشت، قطب تولید این محصول در کشور شناخته می‌شود. پس از آن استان‌های خراسان جنوبی (۶۳/۱ تن) و خراسان شمالی (۱۵ تن) به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم تولید زعفران در کشور قرار دارند. حدود ۹۰ درصد زعفران کشور در استان‌های خراسان رضوی، جنوبی و شمالی تولید می‌شود (عبادزاده و همکاران، ۱۳۹۸). زعفران ایرانی به دلیل رنگ و عطر خاص ارزش اقتصادی بسیار بالایی دارد. در سال‌های اخیر، زعفران یکی از منابع مهم درآمد ارزی برای کشور مطرح شده‌است و نقش ویژه‌ای در صادرات غیرنفتی کشور دارد (جمشیدی، ۱۳۹۹).

در دنیای تجارت، هر کالایی ارزشمندتر و نایاب‌تر باشد، بیشتر در معرض دست‌کاری و تقلب قرار می‌گیرد. زعفران، به دلیل محدودیت در کشت و عرضه، با افزایش روزافزون تقاضا روبه‌روست. گران‌بودن زعفران و افزایش تقاضا برای خرید آن سبب شده‌است تا افزون بر تولید با درجه‌های کیفی متفاوت، به دلیل تولید در مناطق جغرافیایی و شرایط متفاوت، در معرض تقلب‌های مختلف قرار گیرد (کیانی، ۱۳۹۶).

به دلیل گران‌بودن زعفران، افراد سودجو به طور معمول گیاهان و مواد دیگر را برای افزایش وزن به زعفران اضافه و محصولی تقلبی عرضه می‌کنند. این تقلب‌ها منجر به کاهش کیفیت یا ناسالم شدن محصول و ایجاد مخاطرات بهداشتی برای مصرف‌کننده می‌شود. این مسئله به همراه بسته‌بندی و بازاریابی نامناسب سبب از دست‌دادن بازارهای خارجی با برند داخلی، کاهش صادرات و در نتیجه کاهش ورود ارز به کشور می‌شود. بنابراین، تشخیص و تفکیک زعفران اصل از زعفران تقلبی به منظور تضمین کیفیت، ایمنی و سلامت محصول ضروری است. زعفران تقلبی با برخی شیوه‌های تجربی قابل شناسایی است ولی این شیوه‌ها علمی، قابل اعتماد و دقیق نیستند. در حال حاضر از روش‌های تجزیهٔ دستگاهی در آزمایشگاه برای تشخیص تقلب زعفران استفاده می‌شود که وقت‌گیر و پرهزینه هستند و سبب تخریب نمونهٔ آزمایشی می‌شوند. از این رو، توسعه و کاربرد روش‌ها و فناوری‌های نوین و پیشرفته برای تشخیص سریع و غیرمخرب[1] زعفران اصل از زعفران تقلبی اهمیت دارد.

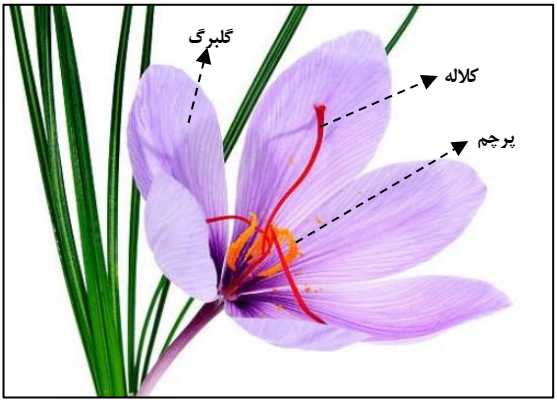
هدف از این نوشتار، معرفی روش‌های نوین و غیرمخرب تشخیص سریع تقلب در زعفران به بیانی ساده برای بهره‌برداران است. امید است محتوای نشریه در ترویج استفاده از این روش‌ها و فناوری‌ها با هدف تضمین کیفیت، ایمنی و

1- Non-destructive

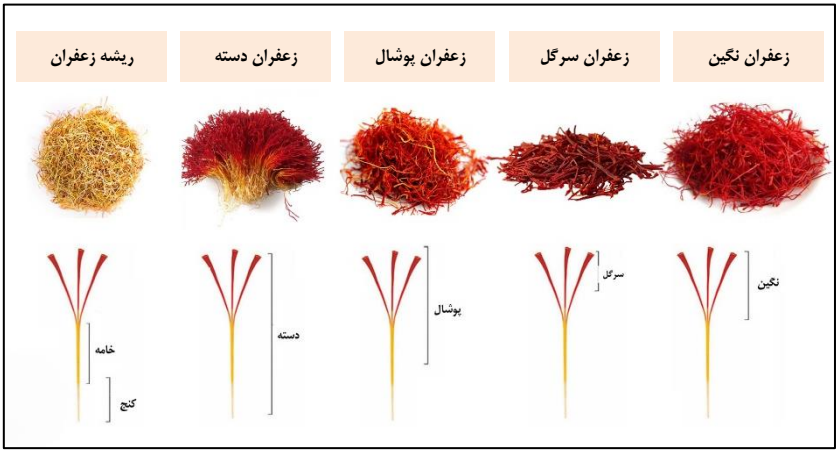
سلامت زعفران مؤثر باشد. به این‌ترتیب، با ورود مناسب زعفران ایرانی به بازارهای خارجی با برند داخلی می‌توان انتظار داشت که ارزش افزودهٔ بیشتری نصیب کشاورزان شود.

۲- زعفران (انواع و کیفیت)

زعفران گیاهی است علفی که با پیاز تکثیر می‌شود. گل زعفران شامل سه گلبرگ و سه کاسبرگ تغییر شکل‌یافته به رنگ بنفش، سه پرچم، و مادگی با یک تخمدان است که در مرکز گل قرار دارد. از قسمت تخمدان، خامه‌ای باریک و بلند به رنگ زرد روشن به طول ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر خارج می‌شود. خامه در انتها به سه کلالهٔ بوقی‌شکل به رنگ قرمز عنابی ختم می‌شود که طول هر یک از آنها ۲ تا ۳ سانتی‌متر است. این سه کلاله، پس از خشک‌شدن، زعفران تجاری را تشکیل می‌دهد (ذبیحی، ۱۳۹۶). شکل ۱، اجزای اصلی گل و شکل ۲، انواع محصول زعفران را نشان می‌دهد.



شکل ۱- اجزای اصلی گل زعفران



شکل ۲- انواع محصول زعفران

هر رشته زعفران شامل ریشه و کلاله‌هاست. ریشهٔ زعفران قسمت سفیدرنگ (کنج) و قسمت زردرنگ (خامه) را شامل می‌شود (شکل ۲). عموم مردم احساس می‌کنند ریشهٔ زعفران، نسبت به کلاله‌ها، عطر بیشتری دارد. دلیل آن مرطوب بودن ریشه است. کیفیت زعفران ریشه پایین است.

زعفران دسته یا دخترپیچ، رشته‌هایی کامل شامل ریشه و کلاله‌ها (قسمت قرمزرنگ) است (شکل ۲). زعفران دسته، رنگ‌دهی و عطردهی اندک دارد و زعفران درجه ۴ شناخته می‌شود.

در زعفران پوشال، کلاله‌ها با بخشی از خامهٔ زردرنگ همراه هستند (شکل ۲). کیفیت این نوع زعفران کمتر از کیفیت زعفران سرگل است. رنگ‌دهی زعفران پوشال نسبت به زعفران دسته بیشتر است.

با حذف کامل ریشه از رشتهٔ زعفران، کلاله‌های قرمزرنگ باقی می‌ماند که به آن زعفران نگین گفته می‌شود. در این نوع زعفران، کلاله‌ها به هم متصل،

صاف و بدون شکستگی هستند (شکل ۲). این نوع زعفران، دارای بیشترین کیفیت و رنگ‌دهی است و ظاهر بسیار خوب و عطر تند دارد.

در زعفرانِ سرگل نیز قسمت ریشه به طور کامل از رشتهٔ زعفران حذف و فقط قسمت بالای کلاله‌ها باقی می‌ماند. در این نوع زعفران، کلاله‌ها به هم متصل نیستند (شکل ۲). کیفیت این نوع زعفران از نوع نگین، به‌دلیل شکستگی کلاله‌ها، کمتر است. زعفران سرگل از مرغوب‌ترین انواع زعفران است.

انواع محصول زعفران از نظر کیفیت به ترتیب عبارت است از: نگین، سرگل، پوشال، دسته و ریشه.

کیفیت، درجه‌بندی اقتصادی، و ویژگی‌های حسی زعفران به ترکیباتی وابسته است که مهم‌ترین آنها عبارت است از: کروسین[1] (عامل ایجاد رنگ، حل‌پذیر در آب، با فرمول $C_{44}H_{64}O_{24}$)، پیکروکروسین[2] (عامل مزهٔ تلخ زعفران، بی‌رنگ، با فرمول $C_{16}H_{26}O_7$)، و سافرانال[3] (عامل اصلی ایجاد عطر و بوی تند زعفران، روغن فرار، با فرمول $C_{10}H_{14}O$) (حیدربیگی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کیانی و مینایی، ۱۳۹۴).

کشورهای تولیدکنندهٔ زعفران استاندارد کیفی خاص خود را برای این محصول دارند. استانداردهای ایزو (ISO3632-2, 2010; ISO3632-1, 2011) و استانداردهای ملی ایران به شماره ۱-۲۵۹ و ۲-۲۵۹ (سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۱ الف و ب) مرجع همهٔ تولیدکنندگان زعفران در کشور است.

از این استانداردها برای بررسی رنگ، مزه و عطر زعفران و ارزیابی کیفیت محصول استفاده می‌شود.

1- Crocin
2- Picrocrocin
3- Safranal

۳- انواع تقلب در زعفران

زعفران به دلیل دارا بودن ترکیبات با ارزش و ویژگی‌های دارویی، با افزایش تقاضا برای خرید روبه‌روست. محدودیت در کشت و عرضهٔ زعفران و دشوار بودن برداشت آن، دلیل دیگری برای گران بودن این محصول است. این موارد سبب شده‌است تا افراد سودجو با افزودن گیاهان یا مواد دیگر، وزن کالا را بالا برند و در واقع به تولید و عرضهٔ زعفران تقلبی دست زنند. وجود مواد تقلبی در زعفران، کیفیت محصول را کاهش می‌دهد و کالایی ناسالم به‌دست می‌دهد که می‌تواند سلامت مصرف‌کننده را به خطر اندازد.

برخی موارد تقلب در زعفران (جمشیدی، ۱۳۹۹) عبارت است از:

- افزودن مواد گیاهی (مانند گلرنگ، گل همیشه‌بهار، زردچوبه، تنباکوی کوهی، چای ترش، شقایق، گل‌انار، پوست میوه انار، روناس، ذرت، پاپریکا[1]، میخک، ریشهٔ گندم، پرچم‌های زعفران، کلاله‌های زعفران استخراج‌شده و غیره)، رشته‌های گوشت قرمز، مواد معدنی، قند، عسل و غیره. شایع‌ترین نوع تقلب در این خصوص، افزودن گلرنگ است که شباهت زیادی به زعفران دارد.
- سنگین‌کردن وزن زعفران با قراردادن یا انبارکردن آن در محل‌های مرطوب یا اسپری‌کردن ذرات ریز آب به داخل زعفران و افزودن عطر زعفران به آن. در حالت اخیر، عطر بیش از حد و غیرطبیعی زعفران پیش از بازکردن بستهٔ آن به مشام می‌رسد. آغشته کردن زعفران با روغن، عسل، گلیسیرین یا محلول‌های نیترات پتاسیم یا نیترات آمونیوم، شکر و سولفات سدیم نیز از این نوع تقلب‌هاست.

1- Paprika

- رنگ‌کردن خامهٔ زعفران با رنگ‌های طبیعی (مانند رنگ استخراج‌شده از کلاله) یا رنگ مصنوعی و مخلوط‌کردن آن با زعفران. رنگ کردن مجدد زعفران مصرف‌شده و استفاده از کلالهٔ حاصل از گل‌های گونه‌های دیگر زعفران، که به‌طور معمول کوتاه‌تر و فاقد ترکیبات ویژهٔ زعفران است، از این نوع تقلب‌هاست. خطرناک‌ترین نوع تقلب در زعفران که سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد، استفاده از رنگ‌های مصنوعی است. معمول‌ترین این رنگ‌های مصنوعی عبارت‌اند از: تارترازین[1]، متیل اورنج[2]، آمارانت[3]، سانست‌یلو[4]، پونسیو4R[5]، کینولین یلو[6].
- به‌طور معمول زعفران پودرشده با تقلب بیشتری همراه است. سودجویان برای افزایش وزن زعفران ساییده، به آن خاک سرخ اضافه می‌کنند.

شکل ۳ نمونه‌هایی از زعفران اصل و زعفران تقلبی را نشان می‌دهد.

1- Tartrazine
2- Methyl orange
3- Amaranth
4- Sunset Yellow
5- Ponceau 4R
6- Quinolin Yellow

شکل ۳- نمونه‌هایی از زعفران اصل و تقلبی

٤- روش‌های کیفیت‌سنجی دستگاهی برای تشخیص تقلب در زعفران

برای تشخیص برخی تقلب‌ها در زعفران برخی شیوه‌های تجربی به‌کار می‌رود. ولی این شیوه‌ها علمی و قابل اعتماد نیستند و نتایج به‌دست آمده ازآنها دقت کافی ندارد. با توجه به اینکه متناسب با نوع تقلب، کیفیت محصول از نظر ظاهری (مانند رنگ و شکل) یا درونی (مانند ترکیبات شیمیایی، طعم و مزه، و عطر و بو) تغییر می‌کند، روش‌های علمی کیفیت‌سنجی (ارزیابی کیفی)، مناسب‌ترین روش برای تشخیص زعفران مرغوب از زعفران نامرغوب یا تقلبی است.

روش‌های متداول ارزیابی کیفی زعفران، آزمایشگاهی و شامل روش‌های کروماتوگرافی[1] است. کروماتوگرافی روشی است تحلیلی برای تجزیه و جداسازی اجزای نزدیک به هم در یک مخلوط پیچیده. این روش مانند تقطیرِ جزءبه‌جزء، متکی بر حرکت نسبی دو فاز است. یکی از فازها بدون حرکت (فاز ساکن[2]) و

1- Chromatography
2- Stationary

دیگری فاز متحرک[1] است. فاز ساکن از نوع جامد یا مایع و فاز متحرک از نوع گاز یا مایع است. جداسازی کروماتوگرافی بر حسب ماهیت فاز متحرک می‌تواند در فاز گاز (کروماتوگرافی گازی[2] (GC)) یا در فاز مایع (کروماتوگرافی مایع[3] (LC)) دنبال شود. کروماتوگرافی لایهٔ نازک[4] (TLC) و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا[5] (HPLC) از انواع پرکاربرد کروماتوگرافی مایع هستند. بر حسب ماهیت فاز ساکن نیز چنانچه فاز جامد باشد، کروماتوگرافی را کروماتوگرافی جذب سطحی و چنانچه فاز مایع باشد، کروماتوگرافی تقسیمی می‌نامند. به طور کلی، روش‌های کروماتوگرافی را می‌توان ابتدا بر حسب ماهیت فاز متحرک و پس از آن بر حسب ماهیت فاز ساکن طبقه‌بندی کرد. بر این اساس، چهار نوع اصلی کروماتوگرافی شامل گاز–جامد، گاز–مایع، مایع–جامد، و مایع–مایع است. در روش کروماتوگرافی، اجزای مخلوط با عبور دادن فاز متحرک از روی فاز ساکن جداسازی می‌شوند. فاز متحرک مربوط به مخلوطی است که می‌خواهد مورد تجزیه قرار گیرد. فاز ساکن، اجزای درون لوله یا شبکه‌ای است که فاز متحرک از آن عبور داده می‌شود. مهم‌ترین اصل جداسازی در این روش، تمایل اجزای مخلوط به اتصال فاز ساکن و اختلاف در سرعت تبادل گونه‌ها بین دو فاز است (جمشیدی، ۱۳۹۹؛ Stock and Rice, 1974).

طیف‌سنجی جرمی[6] (MS) یکی از کاربردی‌ترین روش‌های تجزیه در شیمی است که به بررسی نسبت جرم به بار مولکول‌ها با استفاده از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی می‌پردازد. با ترکیب روش‌های کروماتوگرافی گازی (GC) یا

1- Mobile
2- Gas Chromatography
3- Liquid Chromatography
4- Thin Layer Chromatography
5- High Performance Liquid Chromatography
6- Mass Spectrometry

کروماتوگرافی مایع (LC) با روش طیف‌سنجی جرمی (MS) (طیف‌سنجی جرمی-کروماتوگرافی گازی[1] (GC-MS) یا طیف‌سنجی جرمی-کروماتوگرافی مایع[2] (LC-MS)) می‌توان ضمن جداسازی ترکیبات شیمیایی مختلف با روش‌های کروماتوگرافی، اجزای جداسازی‌شده را به کمک طیف‌سنجی جرمی شناسایی کرد.

در روش معرفی‌شده توسط سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO) (روش استاندارد ISO3632 (استانداردهای ملی ایران به شماره ۱-۲۵۹ و ۲-۲۵۹))، تقلب‌ها در زعفران با استفاده از روش‌های کروماتوگرافی لایه نازک (TLC) و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) شناسایی می‌شود (سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۱ الف و ب).

شکل ۴ نمونه‌ای از پیکربندی مجموعه کروماتوگراف لایه نازک BASIC KIT را نشان می‌دهد.

شکل ٤- پیکربندی مجموعه کروماتوگراف لایه نازک (TLC)

1- Gas Chromatography-Mass Spectrometry
2- Liquid Chromatography-Mass Spectrometry

نمونه‌ای از یک دستگاه کروماتوگراف مایع با کارایی بالا (HPLC) مجهز به آشکارساز آرایه فتودیود[1] (PDA) و با حساسیت و تفکیک‌پذیری زیاد، در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۵- نمونه‌ای از یک دستگاه کروماتوگراف مایع (HPLC)

این روش‌های آزمایشگاهی دارای مراحل متعدد و دشوار نمونه‌گیری و استخراج هستند، نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی و افراد متخصص و آموزش‌دیده

1- Photodiode Array Detector

دارنـد، تعـداد زیـادی نمونـه مصـرف می‌کننـد، زمـان‌بر و پرهزینـه‌انـد و سـبب تخریـب نمونهٔ مـورد بررسـی می‌شـوند. بـا ایـن روش‌هـا امکـان بررسـی تمـام تقلب‌هـا در یـک آزمون وجود ندارد.

۵- روش‌هـــا و ســـامانه‌های نـــوین تشـــخیص غیرمخـــرب تقلـــب در زعفران

امـروزه بـا ظهـور فناوری‌هـای نـوین و توسـعه روش‌هـای پیشـرفته، امکـان کیفیت‌ســنجی و تشــخیص ســریع و غیرمخــرب ترکیبــات شــیمیایی محصــولات کشـاورزی و غـذایی بـه وجـود آمـده اسـت. اسـتفاده از ایـن فناوری‌هـا بـرای ارزیـابی کیفی زعفران و به تبـع آن شناسـایی نمونـهٔ مرغـوب از نمونـهٔ نـامرغوب یـا تقلبـی نیـز مـورد توجـه قـرار گرفتـه اسـت. فناوری‌هـای غیرمخـرب بـرای ایـن منظـور تاحـدی توسعه یافتـه و سـامانه‌هایی بـر پایـهٔ ایـن روش‌هـا طراحـی شـده‌اند (جمشـیدی، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸؛ حیـدربیگی و همکـاران، ۱۳۹۴؛ کیـانی، ۱۳۹۶؛ Dowlatabadi *et al.*, 2017؛ Heidarbeigi *et al.*, 2015؛ Kiani et al., 2017؛ Shawky *et al.*, 2020). بـا ایـن حـال، هنـوز فنـاوری یـا روش مناسـب کـاربردی و تجاری‌شـده بـرای تشـخیص سـریع و غیرمخـرب زعفـران تقلبـی معرفـی نشـده اسـت. بـر ایـن اسـاس، معرفـی فناوری‌هـای نـوین و پیشـرفته بـا قابلیـت شناسـایی زعفـران اصـل از زعفـران تقلبی کـه قابـل بـه‌کارگیری در کشـور باشـند، اهمیـت و نقـش مهمـی در توسـعهٔ آنهـا دارد. کـاربرد ایـن فناوری‌هـا می‌تواننـد در نظارت‌هـا و تصـمیم‌گیری‌های مـدیریتی بـرای تضـمین کیفیـت و ورود مناسـب زعفـران ایرانـی بـه بازارهـای خـارجی بـا برنـد داخلی موثر باشد.

یکی از فناوری‌های پیشرفته که می‌تواند به منظور کیفیت‌سنجی محصول به‌کار گرفته شود، روش طیف‌سنجی جرمی-واکنش انتقال پروتون[1] (PTR-MS) است. این فناوری روشی سریع و برخط کروماتوگرافی گازی (GC) و متصل به طیف‌سنج جرمی[2] (MS) است. طیف‌سنجی جرمی-واکنش انتقال پروتون روشی است تحلیلی برای تشخیص اجزای شیمیایی با مقدار خیلی کم در مواد فرار ارگانیک[3] (VOCs). این روش در مقایسه با کروماتوگرافی گازی (GC) غیرمخرب و سریع‌تر است، برای تحلیل نیاز به نمونهٔ کوچک‌تر دارد، و حساسیت آن بیشتر است (کیانی، ۱۳۹۶). این روش برای نخستین بار در سال ۲۰۱۶ در کنترل کیفیت زعفران و طبقه‌بندی آن بر پایه مواد فرار و منشأ جغرافیایی محصول استفاده شد (Nenadis *et al.*, 2016). برای غربالگری سریع و شناسایی زعفران دارای کیفیت پایین می‌توان از این فناوری در ترکیب با روش‌های شیمی‌سنجی[4] استفاده کرد. شیمی‌سنجی استفاده از روش‌های ریاضی و آماری برای بهبود درک اطلاعات شیمیایی و ارتباط پارامترهای کیفی و خصوصیات فیزیکی نمونه با داده‌های ابزار تحلیلی است (جمشیدی، ۱۳۹۱). فناوری طیف‌سنجی جرمی-واکنش انتقال پروتون می‌تواند به عنوان مکمل روش‌های پیشرفتهٔ تحلیلی برای ارزیابی کیفیت و اصالت زعفران استفاده شود. با این حال، گران بودن تجهیزات و نیاز به نیروی متخصص برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از محدودیت‌های کاربرد این روش است.

طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته[5] (NMR) فناوری غیرمخرب دیگری است که تاکنون برای ارزیابی کیفی محصولات کشاورزی به‌کار گرفته شده است.

1- Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry
2- Mass Spectrometer
3- Volatile Organic Compounds
4- Chemometrics
5- Nuclear Magnetic Resonance

این فناوری، مطالعهٔ جذب تابش فرکانس رادیویی توسط هسته است. در این روش، نمونه در میدان مغناطیسی شدید قرار می‌گیرد و بر خلاف جذب در ناحیه‌های فرابنفش، مرئی و فروسرخ، هسته اتم‌ها به جای الکترون‌های بیرونی در فرایند جذب درگیر می‌شوند. از این فناوری برای مطالعه و تعیین ساختار ترکیبات مواد یا تجزیهٔ شیمیایی استفاده می‌شود. این فناوری در ترکیب با روش‌های شیمی‌سنجی برای شناسایی زعفران اصل از زعفران تقلبی استفاده و نتایج پذیرفته شده است (Petrakis *et al*., 2015; Dowlatabadi *et al*., 2017). با این حال، به دلیل گران بودن تجهیزات و بالابودن هزینه‌های تجزیه و تحلیل متداول و برای طراحی سامانه‌های قابل حمل، کاربرد این روش مناسب نیست.

از دیگر فناوری‌های غیرمخرب که می‌تواند برای کنترل کیفیت و ارزیابی ایمنی محصول استفاده شود، روش‌های مبتنی بر طیف‌سنجی نوری[1] است. این روش‌ها بر پایهٔ اندازه‌گیری‌های بازتاب یا عبور نور در ناحیهٔ طول موجی خاص از طیف الکترومغناطیس و تحلیل و تفسیر طیف‌های جذبی و نشری به مطالعه تجربی برهم‌کنش نور و ماده می‌پردازد. این فناوری نیز در ترکیب با روش‌های شیمی‌سنجی توانایی نمایش جزئیات ترکیبی مواد و اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی مواد بیولوژیک را به صورت سریع و غیرمخرب دارد (جمشیدی، ۱۳۹۸).

روش‌های مبتنی بر طیف‌سنجی نوری سریع، دقیق، بدون نیاز به آماده‌سازی یا با نیاز کمتر به آماده‌سازی نمونه هستند. طیف‌سنجی فرابنفش/مرئی[2] (UV/Vis)، طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک[3] (NIR) و طیف‌سنجی تبدیل فوریه–

1- Optical Spectroscopy
2- Ultraviolet/ Visible Spectroscopy
3- Near-infrared Spectroscopy

فروسرخ میانه[1] (FT-MIR) از جمله روش‌های مبتنی بر طیف‌سنجی نوری هستند که تاکنون برای ارزیابی کیفی محصول زعفران و تشخیص تقلب از آنها استفاده شده است (Ordoudi *et al*., 2014; Masoum *et al*., 2015; Shawky *et al*., 2020). از بین این روش‌ها، به نظر می‌رسد طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR) به دلیل مزایایی مانند سازگاری با محیط زیست و ناآلایندگی، امکان به‌کارگیری فیبرهای نوری[2] برای انتقال نور و استفاده در شرایط سخت، امکان به‌کارگیری در خطوط کنترل فرایند و برخط شدن، سهولت کاربرد و نداشتن پیچیدگی به منظور طراحی سامانه‌های قابل حمل، بیشتر مورد توجه قرار گیرد. ناحیهٔ طیفی کامل در این روش، ۷۸۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر از طیف الکترومغناطیس است (Jamhidi *et al*., 2016). طیف‌سنج‌های فروسرخ نزدیک (NIR) بسته به نوع آشکارساز قادر به طیف‌گیری در بخشی از این ناحیه هستند. معمول‌ترین و کم‌هزینه‌ترین نوع این طیف‌سنج‌ها نواحی ابتدایی تابش فروسرخ نزدیک (تا ۱۱۰۰ نانومتر) را به همراه ناحیه مرئی پوشش می‌دهد.

فناوری طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR) (در ناحیهٔ طول موجی ۱۱۰۰ تا ۲۵۰۰ نانومتر) در ترکیب با روش‌های شیمی‌سنجی قادر به تشخیص سریع و دقیق اصالت زعفران، شناسایی و تعیین تقلب‌های گیاهی متداول در زعفران است. تقلب‌های شناسایی‌شده با این روش شامل افزودن پرچم‌های زعفران، کلاله‌های زعفران کاملاً استخراج‌شده، چای ترش، پاپریکا، گل همیشه بهار، گلرنگ، زردچوبه، و پودر پوست میوه انار به کلاله‌هاست (Shawky *et al*., 2020). این روش را می‌توان به عنوان ابزاری مفید برای ارزیابی کیفیت زعفران و شناسایی تقلب در آن معرفی کرد.

1- Fourier-transform Mid-infrared Spectroscopy
2- Fiber Optics

شکل ۶، نمونه‌هایی از دستگاه طیف‌سنج فروسرخ نزدیک (NIR) مجهز به آشکارساز آرایه فتودیود از نوع ایندیم-گالیم-ارسناید (In-Ga-As) را با قابلیت طیف‌گیری در ناحیهٔ طول موجی ۹۰۰ تا ۲۳۰۰ نانومتر و ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر نشان می‌دهد. این طیف‌سنج‌ها سبک، قابل حمل و قابل اتصال به فیبر نوری هستند. فیبرهای نوری مورد استفاده در این طیف‌سنج‌ها باید قابلیت انتقال نور را در ناحیهٔ مرئی و فروسرخ نزدیک داشته باشند. شکل ۷ نمونه‌ای از این فیبرهای نوری را نشان می‌دهد.

شکل ٦- نمونهٔ دستگاه طیف‌سنج فروسرخ نزدیک (NIR). (الف): با محدودهٔ طول موجی ۹۰۰ تا ۲۳۰۰ نانومتر، و (ب): با محدودهٔ طول موجی ۹۰۰ تا ۱۷۰۰ نانومتر

شکل ۷- نمونه فیبر نوری

بینایی ماشین[1] فناوری غیر مخرب دیگری برای ارزیابی کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی بر پایهٔ روش‌های پردازش تصویر[2] است. سامانهٔ بینایی ماشین شامل تجهیزات تصویربرداری (مجموعه نورپردازی و دوربین) و الگوریتم‌های پردازش تصویر برای استخراج اطلاعات مفید از تصویر هست. تصویربرداری مرئی رایج‌ترین نوع تصویربرداری در این روش است که می‌تواند برای کیفیت‌سنجی نمونه بر مبنای ویژگی‌های ظاهری مانند رنگ، شکل و بافت استفاده شود. با توجه به اینکه تقلب‌های مختلف در زعفران، به ویژه رنگ کردن افزودنی‌ها با رنگ‌های مصنوعی، سبب تغییر در ویژگی‌های ظاهری محصول می‌شود، این فناوری قابلیت شناسایی زعفران اصل از تقلبی را خواهد داشت.

تاکنون از فناوری بینایی ماشین برای شناسایی تقلب زعفران شامل افزودن گلرنگ و خامه (رنگ شده با رنگ‌های مصنوعی) به طور موفق استفاده شده‌است (Kiani *et al*., 2017).

1- Machine Vision
2- Image Processing

تصویربرداری طیفی[1] فناوری غیرمخرب دیگری است که در سال‌های اخیر کاربرد گسترده‌ای به منظور ارزیابی و کنترل کیفیت محصولات کشاورزی و غذایی پیدا کرده است. این روش ترکیبی از فناوری طیف‌سنجی نوری با بینایی ماشین است. در این روش ترکیبی، هم‌زمان اطلاعات شیمیایی و ویژگی‌های ظاهری نمونه به ترتیب از تجزیه و تحلیل‌های طیفی و مکانی تصویرها دریافت و برای تشخیص استفاده می‌شود (جمشیدی، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸). این فناوری در تلفیق با روش‌های شیمی‌سنجی می‌تواند برای شناسایی زعفران مرغوب از نامرغوب و تشخیص تقلب نمونه‌ها به‌کار رود. تصویربرداری ابرطیفی[2] از روش‌های تصویربرداری طیفی و یکی از فناوری‌هایی است که تاکنون به طور موفق برای شناسایی اصالت، کیفیت و منشأ زعفران به‌کار گرفته شده است (Lu *et al.*, 2020). با این حال، به دلیل گران بودن تجهیزات تصویربرداری ابرطیفی، حجم بالای اطلاعات و لزوم پردازش‌های سنگین در این روش، کاربرد این فناوری بیشتر جنبهٔ پژوهشی دارد و برای طراحی سامانه‌های قابل حمل مناسب نیست (جمشیدی، ۱۳۹۷).

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در توسعهٔ طیف‌سنج‌های نوری، روش‌های شیمی‌سنجی و هوش مصنوعی[3] امکان ایجاد سامانه‌های دستی[4] و هوشمند مبتنی بر اطلاعات طیفی نمونه‌ها نیز به منظور کیفیت‌سنجی و شناسایی ترکیبات شیمیایی آنها فراهم شده است.

افزون بر توسعهٔ سامانه‌های طیف‌سنجی و بینایی ماشین، به دلیل پیشرفت‌های اخیر در زمینهٔ حسگرها، ابزارهایی بر پایهٔ حس‌های مصنوعی نیز

1- Spectral Imaging
2- Hyperspectral Imaging
3- Artificial Intelligence
4- Handheld

توسعه یافته است. از جمله این ابزار، سامانه‌های زبان الکترونیک[1] و بینی الکترونیک[2] هستند که تاکنون از آنها به منظور کیفیت‌سنجی برخی محصولات کشاورزی استفاده شده است.

سامانه بینی الکترونیک یا بویایی ماشین۳ با شبیه‌سازی حس بویایی انسان، بوهای پیچیده را به کمک آرایه‌هایی از حسگرهای شیمیایی و الکترونیکی تشخیص می‌دهد و درک می‌کند.

این سامانه شامل مجموعه‌ای از حسگرهای به‌هم پیوسته است که برای تشخیص تغییرات در شدت یا غلظت بو در مکانی مشخص به‌کار می‌رود.

به عبارت دیگر، نمونه‌هایی از هوای محیط نمونهٔ مورد نظر دریافت و غلظت بوبا حسگرهای بویایی به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود.

از این سیگنال الکتریکی برای تشخیص ترکیبات فرار بو استفاده می‌شود.

حسگرها ترکیبی از الکترودهای اکسید فلزی یا پلیمرها هستند. خواص رسانایی پلیمر در تماس با گاز یا ترکیب گازی تغییر می‌کند و این تغییرات توسط حسگر، به سیگنال‌هایی از نوع مقاومت تبدیل، جمع‌آوری، بررسی و تحلیل می‌شود (کیانی و مینایی، ۱۳۹۴).

در سامانهٔ زبان الکترونیک یا چشایی ماشین[4]، از آرایه‌ای از الکترودها و روش‌های الکتروشیمیایی شامل پتانسیومتری[5]، آمپرومتری[6]، ولتامتری چرخه‌ای[7] و اندازه‌گیری امپدانس[8] استفاده می‌شود. در این سامانه، پاسخ الکتریکی و رفتار الکتروشیمیایی این

1- Electronic Tongue
2- Electronic Nose
3- Machine Olfaction
4- Machine Taste
5- Potentiometry
6- Amperometry
7- Cyclic Voltammetry
8- Impedance Measurement

حسگرها در تلفیق با روش‌های شیمی‌سنجی بررسی و تحلیل می‌شود (حیدربیگی و همکاران، ۱۳۹۴).

سامانهٔ زبان الکترونیک یا زبان مصنوعی، به دلیل استفاده از حسگرهای تماسی، نیاز به آماده‌سازی اولیهٔ نمونه دارد ولی سامانهٔ بینی الکترونیک به آماده‌سازی کمتر نیاز دارد و می‌تواند مجموعه داده‌های بیشتری را در زمانی کوتاه ارائه کند. بر این اساس، این سامانه قابلیت استفاده به صورت غیرمخرب، سریع و برخط را دارد. با این حال، پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده ترکیبی از این سامانه‌ها می‌تواند اطلاعات بیشتری در مورد جنبه‌های مختلف کیفی محصولِ مورد بررسی ارائه کند (کیانی، ۱۳۹۶). به عبارت دیگر، کاربرد سامانه‌های ترکیبی مانند بینایی ماشین-طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک؛ بینی الکترونیک-طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک؛ بینی الکترونیک-زبان الکترونیک-طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک؛ بینایی ماشین-بینی الکترونیک؛ بینی الکترونیک-زبان الکترونیک؛ و بینایی ماشین-بینی الکترونیک-زبان الکترونیک نسبت به کاربرد هر یک از این سامانه‌ها به صورت منفرد، قادر به ارائه اطلاعات دقیق‌تر خواهد بود.

در خصوص کیفیت‌سنجی زعفران تاکنون سامانه‌هایی مبتنی بر زبان الکترونیک و ترکیب بینایی ماشین-بینی الکترونیک در کشور طراحی و ساخته شده است ولی هیچ‌یک به مرحله تجاری نرسیده‌است (حیدربیگی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کیانی، ۱۳۹۶؛ Heidarbeigi et al., 2015؛ Kiani et al., 2017).

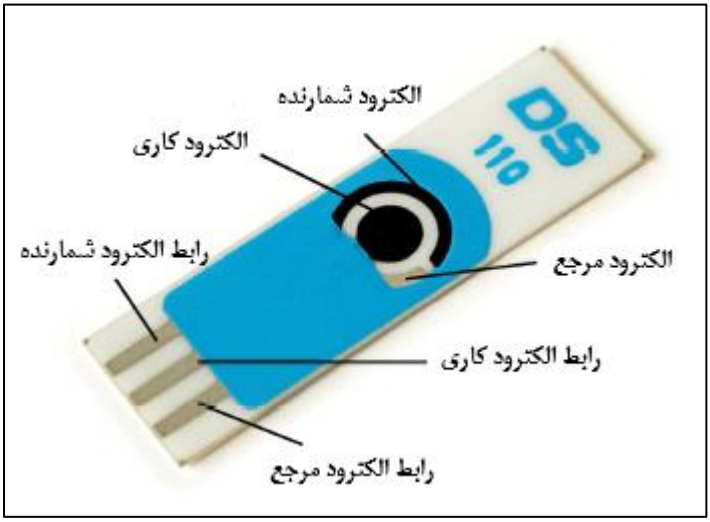
سامانهٔ زبان الکترونیک که برای تشخیص تقلب در زعفران طراحی شده است آرایه‌ای از حسگرهای ولتامتری بر پایهٔ الکترودهای صفحه چاپی[1] (SPE) دارد (شکل ۸). الکترودهای صفحه چاپی ارزان و یک‌بار مصرف‌اند، قابلیت تولید مجدد را دارند، استفاده از آنها آسان است و قابل حمل هستند. در این سامانه،

1- Screen-printed Electrodes

الکترودهای صفحه چاپی دربرگیرندهٔ یک پیکربندی سه الکترودی سنتی است که روی نواری مشابه چاپ شده‌اند.

الکترودها شامل الکترود کاری[1]، الکترود شمارنده[2] و الکترود مرجع[3] هستند. سیم الکترودها از طریق رله به دستگاه پتانسیواستات[4] برای آزمون‌های الکتروشیمیایی و ولتامتری متصل می‌شود. پتانسیواستات دستگاهی است که ولتاژ بین الکترود کاری و الکترود مرجع را در مقداری ثابت نگه می‌دارد. پاسخ الکتریکی و رفتار الکتروشیمیایی این حسگرها در تلفیق با روش‌های تشخیص الگو[5] بررسی و تحلیل می‌شود. این سامانه، قابل حمل است و می‌تواند تقلب ناشی از مخلوط کردن زعفران اصلی با خامهٔ زعفران، گلرنگ، کلالهٔ رنگ‌شدهٔ ذرت، و رنگ‌های شیمیایی تارترازین و متیل اورنج را تشخیص دهد. این سامانه، همچنین نسبت به روش‌های متداول تشخیص تقلب زعفران، سریع‌تر، مقرون‌به‌صرفه‌تر، و ساده‌تر است. با این حال، نیاز به آماده‌سازی نمونه (تهیهٔ محلول زعفران) دارد (حیدربیگی و همکاران، ۱۳۹۴) و روشی غیرمخرب محسوب نمی‌شود.

1- Working Electrode
2- Counter Electrode
3- Reference Electrode
4- Potentiostat
5- Pattern Recognition



شکل ۸- نمونه‌ای از الکترود صفحه چاپی (SPE)

شکل ۹ سامانهٔ ترکیبی بینایی ماشین-بینی الکترونیک طراحی‌شده برای کیفیت‌سنجی و تشخیص تقلب زعفران را نشان می‌دهد. در این سامانهٔ ترکیبی، واحد بینایی ماشین شامل محفظهٔ مجهز به مجموعه نورپردازی، فیلتر نوری مناسب و دوربین تصویربرداری (CCD[1]) است. واحد بینی الکترونیک نیز شامل محفظهٔ نمونه، مجموعه گردش هوای درون محفظه، مدارهای الکترونیکی واسط و حسگرهای گازی نیمه‌هادی اکسیدِ فلزی[2] (MOS) است. به صورت مشترک برای هر دو واحد، روش‌های تحلیل داده‌ها و الگوریتم‌های شناسایی و تشخیص الگو به‌کار گرفته می‌شود.

1- Charge-coupled Device
2- Metal Oxide Semiconductor

شکل ۹- سامانهٔ بینایی ماشین-بینی الکترونیک برای تشخیص تقلب زعفران (کیانی، ۱۳۹۶)

در سامانهٔ ترکیبی بینایی ماشین-بینی الکترونیک (شکل ۹)، دو محل قرارگیری برای نمونهٔ زعفران وجود دارد. به محض شروع کار، سامانه درخواست می‌کند که نمونه در محل اول یا محفظهٔ تصویربرداری قرار گیرد. پس از دریافت تصویر و تایید آن، مجدداً سامانه درخواست می‌کند که نمونه در مکان دوم یا محفظهٔ حسگرها قرار داده شود. در این زمان، مسیر هوای تازه به محفظهٔ حسگرها قطع و گردش هوای درون محفظه آغاز می‌شود. هوای محبوس درون محفظه شروع به گردش می‌کند و مواد فرار نمونه را به طور دائم به اطراف حسگرها انتقال می‌دهد. در این مرحله، پاسخ حسگرها دنبال می‌شود تا به حالت

مانا برسد. زمان پاسخ حسگرها به نمونهٔ یک گرمی زعفران بین ۳۵۰ تا ۴۰۰ ثانیه است. پس از ۴۰۰ ثانیه توقف نمونه‌ها درون محفظهٔ حسگرها، زمان پاک‌سازی حسگرهاست (کیانی، ۱۳۹۶). مرحلهٔ پاک‌سازی با گردش هوای تازه در محفظه برای رساندن پاسخ حسگرها به خط مبنا و آماده‌سازی سامانه برای آزمایش‌های بعدی، اجرا می‌شود.

این سامانه، افزون بر اینکه قادر به کیفیت‌سنجی رنگی و بویایی نمونه‌های مختلف زعفران است، می‌تواند درصدهای تقلب ناشی از وجود مواد گیاهی حجم‌دهنده شامل گلرنگ و خامهٔ رنگ‌شده با عصاره رنگی زعفران را نیز تشخیص دهد. بنابراین، سامانهٔ ترکیبی بینایی ماشین–بینی الکترونیک قادر است شاخص قدرت رنگی و بویایی نمونه‌های زعفران را بر اساس استانداردهای ایزو (ISO3632-2 , ISO3632-1) و ملی (۱–۲۵۹ و ۲۵۹–۲)، با دقت قابل قبول و به صورت سریع و غیرمخرب برآورد کند. این شاخص‌ها بیانگر کیفیت رنگی و بویایی زعفران هستند و با بهره‌گیری از آنها می‌توان درجهٔ کیفی زعفران و وجود تقلب در آن را شناسایی کرد (کیانی، ۱۳۹۶).

٦- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تشخیص زعفران اصل از زعفران تقلبی با هدف تضمین کیفیت، ایمنی و سلامت محصول با اهمیت است. در حال حاضر، از روش‌های تجزیهٔ دستگاهی در آزمایشگاه برای تشخیص تقلب زعفران استفاده می‌شود. این روش‌ها، وقت‌گیر، پرهزینه و نیازمند تجهیزات آزمایشگاهی و نیروی انسانی متخصص هستند؛ ضمن اینکه سبب تخریب نمونهٔ مورد بررسی نیز می‌شوند. معرفی روش‌های نوین و پیشرفته که قابلیت کاربرد برای تشخیص سریع و غیرمخرب ترکیبات شیمیایی و کیفیت زعفران و به تبع آن شناسایی زعفران اصل از زعفران

تقلبی را داشته باشند، نقش مهمی در توسعه و کاربرد این فناوری‌ها دارد. در این زمینه، کاربرد فناوری‌های طیف‌سنجی نوری (به‌ویژه طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک (NIR))، بینایی ماشین و بینی الکترونیک با توجه به قابلیت‌ها و مزایا برای تشخیص سریع و غیرمخرب زعفران تقلبی پیشنهاد می‌شود.

با توجه به اینکه استفاده ترکیبی از این فناوری‌ها برای طراحی سامانه‌های تشخیص کیفیت زعفران یا تقلب‌سنجی می‌توانند اطلاعات بیشتری در مورد جنبه‌های مختلف کیفی محصول ارائه کند، پیشنهاد می‌شود توسعهٔ سامانه‌های هوشمند بر پایهٔ ترکیبی از این فناوری‌ها و با توجه به کاربرد موردنیاز به منظور کیفیت‌سنجی زعفران و تشخیص تقلب در آن مورد توجه سازندگان و صنعتگران این حوزه قرار گیرد. آشنایی این بهره‌برداران با سامانه‌های نوین و ترکیبی تشخیص سریع و غیر مخرب کیفیت زعفران می‌تواند در توسعه و تسریع فرایند تجاری‌سازی آنها بسیار موثر باشد. در این زمینه پیشنهاد می‌شود:

- چنانچه هدف کیفیت‌سنجی و اندازه‌گیری پارامترهای کیفی زعفران به صورت غیرمخرب باشد ولی ضرورتی بر قابل حمل‌بودن سامانه نباشد، از ترکیب فناوری‌های بینایی ماشین–طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک–بینی الکترونیک، بینی الکترونیک–طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک، یا بینایی ماشین–بینی الکترونیک استفاده شود.
- چنانچه سرعت تشخیص و قابل حمل‌بودن سامانه مهم‌تر باشد، ترکیب فناوری‌های بینایی ماشین–طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک پیشنهاد می‌شود که امکان طراحی سامانه‌های دستی و هوشمند را نیز فراهم می‌کند.

با این حال، مناسب‌ترین فناوری یا سامانه برای شناسایی زعفران تقلبی باید بر پایهٔ معیارهای مقایسه یا عوامل تأثیرگذار انتخاب شود. پیشنهاد می‌شود معیارها

شامل این موارد باشد: "سرعت تشخیص"، "دقت تشخیص"، "راحتی کاربرد"، "قابل حمل‌بودن"، "قابلیت تشخیص در چنددسته"، "چندکاره‌بودن" (امکان پرداختن به عملیات دیگری مانند اندازه‌گیری یا تخمین پارامترهای کیفی محصول)، "میزان غیرمخرب‌بودن"، "تلفات کمّی" (درصد تلفات)، "تعداد اپراتور و سطح سواد"، "قیمت"، "توان"، و "هزینهٔ تعمیر و نگهداری" (جمشیدی، ۱۳۹۹). به عبارت دیگر، این سامانه‌ها باید از نظر فنی و اقتصادی ارزیابی شوند. همچنین، زیرساخت‌ها و حمایت‌های دولت برای تجاری‌سازی و توسعه و بهبود فضای کسب و کار مناسب‌ترین فناوری‌ها در کشور فراهم شود. برگزاری دوره‌های آموزشی برای آشنایی با فناوری‌های نوین و پیشرفتهٔ تشخیص زعفران اصل از زعفران تقلبی، تدوین استانداردها و دستورالعمل‌های فنی مرتبط می‌تواند به توسعه آموزش و ترویج کاربرد این فناوری‌ها و سامانه‌های مبتنی بر آنها کمک کند.

فهرست منابع

جمشیدی، ب. ۱۳۹۱. تشخیص و تفکیک غیرمخرب مزه پرتقال با اسپکتروسکوپی مرئی/فروسرخ نزدیک (Vis/NIR). رساله دکتری تخصصی مکانیک ماشین‌های کشاورزی (مهندسی بیوسیستم)، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۶۲ ص.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۷. شناسایی سریع محصول آلوده به سم آفت‌کش با روش‌های نوین فناوری آزمون غیرمخرب. فناوری آزمون‌های غیرمخرب. دوره ۲، شماره ۲. صفحات ۶۵-۵۸.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۸. نقش طیف‌سنجی به عنوان یک فناوری غیرمخرب اپتیکی در توسعه کشاورزی هوشمند. فناوری آزمون‌های غیرمخرب. دوره ۲، شماره ۵. صفحات ۹۲-۸۳.

جمشیدی، ب. ۱۳۹۹. شناسایی و معرفی فناوری‌های مناسب و پیشرفته سورتینگ و درجه‌بندی زعفران بر پایه کیفیت، ایمنی و سلامت. گزارش پژوهشی نهایی. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ثبت: ۵۸۸۵۱. ۷۶ ص.

حیدربیگی، ک.، محتسبی، س.س.، رفیعی، ش.، قاسمی‌ورنامخواستی، م.، رضایی، ک. و لوز رودریگوز-مندز، م. ۱۳۹۴. پیاده‌سازی و ساخت سامانه زبان الکترونیک به منظور تشخیص تقلب در زعفران. مهندسی بیوسیستم ایران. دوره ۴۶، شماره ۴. صفحات ۴۱۳-۴۰۵.

ذبیحی، ح. ر. ۱۳۹۶. مدیریت تغذیه گیاه در زعفران. نشریه فنی شماره ۵۵۵. چاپ اول. موسسه تحقیقات خاک و آب، شماره ثبت ۵۲۹۴۵. ۱۷ ص.

سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۱الف. زعفران-ویژگی‌ها. استاندارد ملی ایران ۱-۲۵۹. تجدیدنظر پنجم. ۱۰ ص.

سازمان ملی استاندارد، ۱۳۹۱ب. زعفران-روش‌های آزمون. استاندارد ملی ایران ۲-۲۵۹. تجدیدنظر پنجم. ۷۳ ص.

عبادزاده، ح.، احمدی، ک.، محمدنیا افروزی، ش.، عباس‌طالقانی، ر.، عباسی، م. و یاری، ش. ۱۳۹۸. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۷. وزارت جهاد کشاورزی، جلد دوم. ۴۲۵ ص.

کیانی، س. ۱۳۹۶. توسعه و ارزیابی سامانه هوشمند ترکیبی بر پایه ماشین بینایی و ماشین بویایی به منظور بررسی کیفیت و تعیین مواد موثره زعفران. رساله

دکتری تخصصی مکانیک ماشین‌های کشاورزی (مهندسی بیوسیستم)، دانشگاه تربیت مدرس. ۱۱۱ ص.

کیانی، س. و مینایی، س. ۱۳۹۴. امکان‌سنجی استفاده از سامانه‌ای هوشمند بر پایه ماشین بویایی و ماشین بینایی به منظور بررسی کیفیت و تعیین مواد موثره فرآورده‌های گیاهان داروئی (مطالعه موردی زعفران). همایش ملی گیاهان دارویی و داروهای گیاهی. ۷ خرداد. دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

Dowlatabadi, R., Farshidfar, F., Zare, Z., Pirali, M., Rabiei, M., Khoshayand, M.R. and Vogel, H.J. 2017. Detection of adulteration in Iranian saffron samples by 1H NMR spectroscopy and multivariate data analysis techniques. Metabolomics. 2, 13-19.

Heidarbeigi, H., Mohtasebi, S.S., Foroughirad, A., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Rafiee, SH. and Rezaei, K. 2015. Detection of adulteration in saffron samples using electronic nose. Int. J. Food Properties. 18(7), 1391-1401.

ISO 3632-1. 2011. Spices -Saffron (*Crocus sativus* L.)- Part 1: Specification. Geneva: Switzerland: International Organization for Standardization.8pp.

ISO 3632-2. 2010. Spices - Saffron (*Crocus sativus* L.) - Part 2: Test methods. Geneva: Switzerland: International Organization for Standardization. 36pp.

Jamshid, B., Mohajerani, E. and Jamshidi, J. 2016. Developing a Vis/NIR spectroscopic system for fast and non-destructive pesticide residue monitoring in agricultural product. Measur. 89, 1-6.

Kiani, S., Minaee, S. and Ghasemi-Varnamkhasti, M. 2017. Integration of computer vision and electronic nose as non-destructive systems for saffron adulteration detection. Comput. Electron. Agric. 141, 46-53.

Koocheki, A. and Khajeh-Hosseini, B. 2020. Saffron: Science, Technology and Health. 1st Edition. Woodhead Publishing, 580pp.

Lu, X., Xia, Z., Qu, F., Zhu, Z. and Li, S. 2020. Identification of authenticity, quality and origin of saffron using hyperspectral imaging and multivariate spectral analysis. Spectroscopy Letters. 53 (2), 76-85.

Masoum, S., Gholami, A., Hemmesi, M. and Abbasi, S. 2015. Quality assessment of the saffron samples using second-order spectrophotometric data assisted by three-way chemometric methods via quantitative analysis of synthetic colorants in adulterated saffron. Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.148, 389-395.

Nenadis, N., Heenan, S., Tsimidou, M.Z. and Van Ruth, S. 2016. Applicability of PTR-MS in the quality control of saffron. Food Chem. 196, 961-967.

Ordoudi, S.A., de los Mozos Pascual, M. and Tsimidou, M.Z. 2014. On the quality control of traded saffron by means of transmission Fourier-transform mid-infrared (FT-MIR) spectroscopy and chemometrics. Food Chem. 150, 414-421.

Petrakis, E.A., Cagliani, L.R., Polissiou, M.G. and Consonni, R. 2015. Evaluation of Saffron (Crocus sativus L.) adulteration with plant adulterants by 1H NMR metabolite fingerprinting. Food Chem. 173, 890-896.

Shahnoushi, N., Abolhassani, L., Kavakebi, V., Reed, M. and Saghaian, S. 2020. Economic analysis of saffron production. In: Koocheki, A. and Khajeh-Hosseini, B. (Eds.), Saffron: Science, Technology and Health. 1st Edition. Woodhead Publishing, pp. 335-356.

Shawky, E., Abu El-Khair, R.M. and Selim, D.A. 2020. NIR spectroscopy-multivariate analysis for rapid authentication,

detection and quantification of common plant adulterants in saffron (Crocus sativus L.) stigmas. LWT - Food Sci. Technol. 122, 109032.

Stock, R. and Rice, C. B. F. 1974. Chromatographic Methods. 1st Edition. Springer US, 383pp.

UNIDO, 2016. Saffron industry value chain development. Available on: https://open.unido.org/projects/IR/projects