

ردیابی و اصالت‌سنجی زعفران؛ از مزرعه تا مصرف‌کننده با بلاکچین

Saffron Traceability and Authentication: From Farm to Consumer Using Blockchain

علی نجفی نجفی^{۱*}، مسعود نجفی نجفی^۲

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، (نگارنده مسئول)
۲. دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات و آموزش و ترویج کشاورزی، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹ -

چکیده

نجفی نجفی، ع.، نجفی نجفی، م.، ردیابی و اصالت‌سنجی زعفران؛ از مزرعه تا مصرف‌کننده با بلاکچین
نشریه ترویجی زعفران و گیاهان دارویی، دوره ۵ - شماره ۲ - پیاپی ۸ - پاییز و زمستان ۱۴۰۴ صفحه: ۴۵-۵۶

زعفران یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی و صادراتی ایران است، اما در مسیر تولید تا رسیدن به دست مصرف‌کننده با مشکلاتی مانند وجود واسطه‌های متعدد، نبود اطلاعات دقیق درباره کیفیت و منشأ محصول و نگرانی از تقلب روبه‌رو است. این مسائل باعث کاهش اعتماد خریداران و کم شدن سهم تولیدکننده از سود واقعی می‌شود. یکی از روش‌های جدید برای افزایش شفافیت و اعتماد در زنجیره تأمین زعفران، شناسنامه‌دار کردن آن با استفاده از دفتر ثبت دیجیتال مطمئن (بلاکچین) می‌باشد. در این روش، اطلاعات مهم محصول مانند محل تولید، زمان برداشت، نحوه خشک کردن، بسته‌بندی و مسیر انتقال مرحله به مرحله ثبت می‌شود و امکان دستکاری پس از ثبت به شدت کاهش می‌یابد. با قرار دادن یک کد روی بسته زعفران، خریدار می‌تواند با گوشی همراه اطلاعات محصول را مشاهده کند و از اصالت و کیفیت آن مطمئن شود. این کار به کاهش تقلب، افزایش اعتماد بازار و فروش بهتر زعفران دارای شناسنامه کمک می‌کند. همچنین زمینه‌ای برای تقویت برند، بهبود صادرات و افزایش ارزش افزوده فراهم می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اصالت‌سنجی، بلاکچین، ردیابی، زعفران، زنجیره تأمین

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: An.najafi100@gmail.com

بیان مسئله

زعفران یکی از مهم‌ترین محصولات کشاورزی و صادراتی ایران است و برای بسیاری از روستاها و مناطق زعفران‌خیز، منبع اصلی درآمد و اشتغال به‌شمار می‌رود. با وجود جایگاه بالای ایران در تولید زعفران، این محصول در مسیر تولید تا مصرف با مشکلاتی روبه‌رو است که هم به کاهش سود تولیدکننده و هم به تضعیف جایگاه زعفران ایرانی در بازار منجر می‌شود (سردار شهرکی و علی‌احمدی، ۲۰۲۴). یکی از مهم‌ترین این مشکلات، ضعف شفافیت و نبود اطلاعات قابل اعتماد درباره محصول در طول زنجیره تأمین است؛ به این معنا که مشخص نیست زعفران دقیقاً در کدام مزرعه تولید شده، چه زمانی برداشت شده، چگونه خشک شده، چگونه نگهداری و بسته‌بندی شده و از چه مسیری به بازار رسیده است. این کمبود اطلاعات باعث می‌شود بازار نتواند به آسانی بین محصول باکیفیت و محصول کم‌کیفیت یا دست‌کاری‌شده تفاوت قائل شود و در نتیجه، قیمت‌گذاری منصفانه دشوار می‌شود (خدابخشی و نعمتی، ۲۰۲۰). از سوی دیگر، به دلیل ارزش بالای زعفران، زمینه برای تقلب و دست‌کاری محصول بیشتر از بسیاری از محصولات دیگر است. برخی انواع تقلب، مانند تغییر ظاهری رشته‌ها یا عرضه محصول بی‌کیفیت به جای محصول مرغوب، تشخیص را برای خریدار و حتی بخشی از فعالان بازار دشوار می‌کند. به همین دلیل، توسعه سامانه‌هایی که بتوانند اطلاعات زعفران را مرحله‌به‌مرحله ثبت و به مصرف‌کننده ارائه کنند برای افزایش

اعتماد بازار و حمایت از تولیدکنندگان واقعی، یک ضرورت جدی برای آینده زعفران ایران است (روحانی سیستانی و همکاران، ۲۰۲۴). تجربه‌های جهانی نشان داده است که استفاده از فناوری بلاکچین و کدهای رهگیری برای شناسنامه‌دار کردن محصولات کشاورزی، تنها یک ایده نظری نیست بلکه در عمل نیز نتایج قابل توجهی داشته است. برای نمونه، در هند سامانه‌هایی مبتنی بر بلاکچین برای رهگیری گیاهان دارویی پیاده‌سازی شده که امکان ثبت اطلاعات از مرحله برداشت تا عرضه نهایی را فراهم می‌کند و باعث افزایش شفافیت و اعتماد در زنجیره تأمین شده است (یونیال و همکاران، ۲۰۲۴). در چین نیز فناوری بلاکچین در رهگیری گیاهان دارویی و محصولات سنتی به کار گرفته شده و با ثبت غیرقابل تغییر اطلاعات تولید و فرآوری، از تقلب و عرضه محصولات با منشأ نامشخص جلوگیری شده است (ژیاو و همکاران، ۲۰۲۳). در اتحادیه اروپا، رهگیری محصولات کشاورزی با استفاده از سامانه‌های دیجیتال و استانداردهای رهگیری، به عنوان یکی از ابزارهای افزایش ایمنی غذایی و مدیریت بحران مورد توجه قرار گرفته و مطالعات نشان داده است که بلاکچین می‌تواند نقش مؤثری در این زمینه ایفا کند (الوی و همکاران، ۲۰۲۳). این تجربه‌ها نشان می‌دهد که شناسنامه‌دار کردن زعفران با استفاده از فناوری‌های نوین، مسیری آزموده‌شده در سطح جهانی است و می‌تواند با بومی‌سازی مناسب، در کشور نیز به طور موفق اجرا شود.

لذا هدف این مقاله ترویجی، معرفی یک

نمی‌شود و اصالت آن قابل تأیید است (الوی و همکاران، ۲۰۲۳).

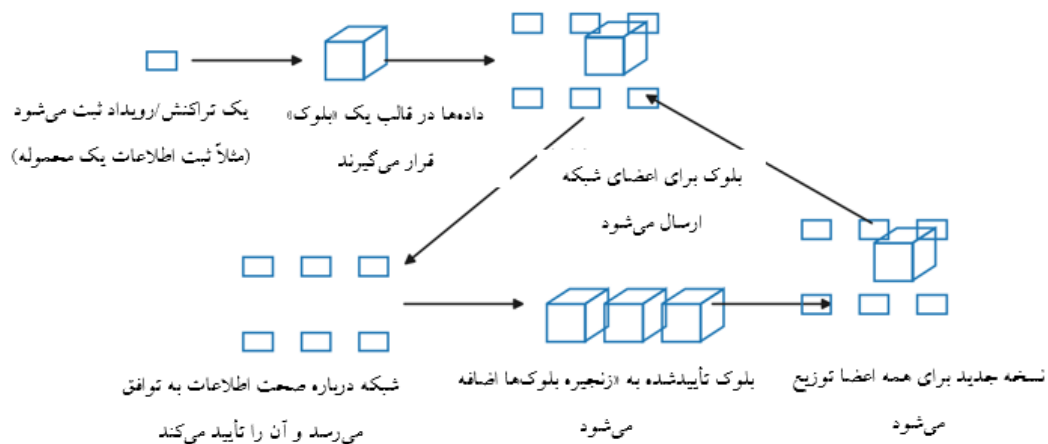
در شناسنامه زعفران، اطلاعاتی ثبت می‌شود که برای خریدار قابل فهم و برای تولیدکننده قابل ارائه باشد. مهم‌ترین این اطلاعات شامل منطقه تولید، تاریخ برداشت، روش خشک کردن، تاریخ بسته‌بندی، وزن بسته و نام یا کد واحد بسته‌بندی است. همین اطلاعات ساده، به تنهایی بخش زیادی از ابهام بازار را کاهش می‌دهد، زیرا مسیر حرکت محصول را شفاف می‌کند و نشان می‌دهد زعفران از چه مسیری به دست مصرف‌کننده رسیده است. در واقع، وقتی خریدار می‌بیند محصول دارای هویت روشن است و مراحل اصلی تولید و عرضه آن ثبت شده، احتمال اعتماد او بیشتر می‌شود و حاضر است برای محصول معتبر، قیمت واقعی پرداخت کند. از طرف دیگر، همین شفافیت باعث می‌شود عرضه‌کنندگان محصول تقلبی یا کم‌کیفیت نتوانند به آسانی وارد بازار شوند. نکته مهم در این راهکار، قابل اعتماد بودن اطلاعات ثبت شده است. اگر اطلاعات زعفران روی یک برچسب معمولی یا یک فایل ساده ثبت شود، همیشه این نگرانی وجود دارد که اطلاعات ممکن است تغییر کند یا به درستی ثبت نشده باشد. برای حل همین مسئله، در این راهکار از یک بستر ثبت اطلاعات استفاده می‌شود که امکان دست کاری پس از ثبت به شدت کاهش می‌یابد (ژیائو و همکاران، ۲۰۲۳).

این بستر همان چیزی است که در ادبیات علمی با عنوان «بلاکچین» شناخته می‌شود و می‌توان آن را به زبان ساده «دفتر ثبت دیجیتال

الگوی کاربردی برای ردیابی و اصالت‌سنجی زعفران ایران با استفاده از بلاکچین و کد QR و تشریح اجزای اجرایی آن برای ذی‌نفعان زنجیره تأمین است.

معرفی راهکار

زعفران به دلیل ارزش اقتصادی زیاد، محصولی است که همواره در معرض تقلب، اختلاط و عرضه با اطلاعات ناقص قرار دارد. به همین دلیل، یکی از مهم‌ترین نیازهای امروز زنجیره زعفران، شناسنامه‌دار کردن محصول و فراهم کردن امکان ردیابی و اصالت‌سنجی از مزرعه تا مصرف‌کننده است؛ به گونه‌ای که اطلاعات محصول قابل مشاهده، قابل اعتماد و قابل پیگیری باشد. راهکاری که در این مقاله معرفی می‌شود، یک راهکار عملی برای تولید و عرضه زعفران شناسنامه‌دار است. این راهکار با ثبت مرحله‌به‌مرحله اطلاعات محصول در طول زنجیره و ارائه آن به خریدار، شفافیت را افزایش می‌دهد و امکان تقلب و سوء استفاده را کاهش می‌دهد. در این روش، زعفران همانند یک محصول استاندارد و قابل رهگیری معرفی می‌شود؛ یعنی هر بسته زعفران، دارای یک هویت مشخص است و اطلاعات آن به صورت روشن به خریدار نمایش داده می‌شود. این کار می‌تواند به سادگی با قرار دادن یک کد روی بسته انجام شود به طوری که مصرف‌کننده با اسکن آن از طریق گوشی همراه، به اطلاعات مرتبط با محصول دسترسی پیدا کند. در این رویکرد، از توان بلاکچین استفاده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که اطلاعات دست کاری



شکل ۱- نمای کلی سامانه شناسنامه دار کردن و رهگیری زعفران از مزرعه تا مصرف کننده با استفاده از بلاکچین

مطمئن، شفاف و قابل اعتماد برای ثبت و تبادل اطلاعات ایجاد کند؛ طوری که همه افراد در زنجیره (شامل تولیدکننده، بسته‌بندی‌کننده، فروشنده و مصرف‌کننده) به یک اطلاعات مشترک و قابل اطمینان دسترسی داشته باشند (یونیال و همکاران، ۲۰۲۴). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید، سامانه شناسنامه‌دار کردن زعفران با ثبت مرحله‌به‌مرحله اطلاعات محصول از مزرعه تا مصرف‌کننده، امکان رهگیری، شفافیت و افزایش اعتماد در زنجیره تأمین را فراهم می‌کند البته باید توجه داشت که بلاکچین «درستی داده ورودی» را تضمین نمی‌کند؛ تنها «تغییرناپذیری پس از ثبت» را تقویت می‌کند.

الف) انتخاب ذی‌نفعان

برای این که یک سامانه رهگیری و شناسنامه‌دار کردن زعفران قابل اعتماد باشد، ابتدا باید مشخص شود چه کسانی می‌توانند عضو آن شوند و اطلاعات محصول را ثبت کنند.

مطمئن» نامید. در بلاکچین، اطلاعات داخل بخش‌هایی به نام بلوک قرار می‌گیرد. این بلوک‌ها مثل حلقه‌های یک زنجیر به هم وصل می‌شوند و به همین دلیل به آن زنجیره بلوک‌ها یا بلاکچین گفته می‌شود. هر بلوک علاوه بر اطلاعات جدید، یک نشانه از بلوک قبلی را هم در خود دارد؛ بنابراین اگر کسی بخواهد اطلاعات یک بخش را تغییر دهد، کل زنجیره به هم می‌ریزد و تغییرات مشخص می‌شود. یکی از دلایل مهم امنیت بلاکچین این است که اطلاعات فقط در یک جا ذخیره نمی‌شود. بلکه در چندین رایانه مختلف کپی می‌شود و همه نسخه‌ها با هم کنترل می‌شوند. به همین خاطر، هیچ فرد یا سازمانی به تنهایی نمی‌تواند اطلاعات را حذف یا دست کاری کند. امروزه بلاکچین، علاوه بر ارزشهای دیجیتال در زنجیره تأمین و رهگیری محصولات، خدمات مالی، ثبت قراردادها، اینترنت اشیا و بسیاری از زمینه‌های دیگر هم استفاده می‌شود. مزیت اصلی آن این است که می‌تواند یک روش

می‌کند و اطلاعات مزرعه و محصول مانند محل تولید، تاریخ برداشت، مقدار محصول و در صورت امکان چند عکس از زعفران (برای کنترل اولیه کیفیت) را ثبت می‌کند.

۲- خریدار یا شرکت تعاونی/بازرگانی: زعفران را از کشاورز خریداری می‌کند. با اسکن کدپاسخ سریع^۱ (QR) مربوط به محصول، اطلاعات ثبت شده در مرحله قبلی را در سامانه مشاهده می‌کند و خرید و انتقال محصول را در سیستم ثبت می‌نماید.

۳- واحد فرآوری و بسته‌بندی: زعفران را دریافت می‌کند. کد QR را اسکن می‌کند تا اطلاعات قبلی محصول را ببیند و سپس اطلاعات مربوط به فرآوری مانند روش خشک کردن، شرایط نگهداری، درجه‌بندی، نتایج کنترل کیفیت و جزئیات بسته‌بندی را ثبت می‌کند. در پایان، کد نهایی محصول روی بسته درج می‌شود.

۴- خرده‌فروش/صادرکننده: زعفران بسته‌بندی شده را تهیه می‌کند. کد QR را اسکن می‌کند و اطلاعات محصول را مشاهده می‌نماید. سپس عرضه محصول در بازار داخلی یا صادرات را در سامانه ثبت می‌کند تا مسیر محصول تا رسیدن به مصرف‌کننده قابل رهگیری باشد.

این تقسیم‌بندی باعث می‌شود هر مرحله از تولید تا عرضه، مسئول مشخصی داشته باشد و اطلاعات به شکل مرحله به مرحله ثبت شود. در نتیجه، زعفران به محصولی تبدیل می‌شود که منشأ و تاریخچه آن روشن است و مصرف‌کننده می‌تواند با اسکن کد QR به آن دسترسی پیدا کند.

به همین دلیل، در آغاز کار باید از معیارهای پذیرش استفاده شود تا کاربران و واحدهایی که وارد سامانه می‌شوند، حداقل استانداردهای لازم را داشته باشند. این ارزیابی باعث می‌شود اطلاعات ثبت شده در سامانه معتبرتر باشد و اعتماد مصرف‌کننده نیز افزایش یابد. در زنجیره زعفران، مهم‌ترین معیارهای پذیرش معمولاً شامل مواردی مانند رعایت اصول تولید سالم و بهداشتی در مزرعه، رعایت اصول برداشت و جمع‌آوری صحیح، رعایت شرایط مناسب خشک کردن و نگهداری، داشتن محل فرآوری یا بسته‌بندی بهداشتی و تعهد به ثبت دقیق اطلاعات محصول است (خدابخشی و نعمتی، ۲۰۲۰). همچنین لازم است واحدهایی که قصد دارند زعفران را با عنوان قابل رهگیری عرضه کنند، از نظر رعایت قوانین و استانداردهای محصول بررسی شوند. نقش ارزیابی و تأییدکننده این معیارها را می‌توانند نهادهایی مانند سازمان جهاد کشاورزی استان (معاونت باغبانی و مدیریت‌های جهاد شهرستان)، اداره کل استاندارد، اداره کل غذا و دارو در بخش‌های مرتبط با سلامت و ایمنی، آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت معتبر، تعاونی‌ها و همچنین تشکلهای تولیدکنندگان زعفران بر عهده گیرند. این نهادها می‌توانند به عنوان پشتوانه اجرایی و نظارتی، کمک کنند تا محصولاتی که وارد سامانه می‌شوند واقعاً دارای شرایط لازم برای شناسنامه‌دار شدن باشند.

در این سامانه رهگیری زعفران، چهار گروه اصلی به عنوان ذی‌نفعان و کاربران اصلی در نظر گرفته می‌شوند:

۱- تولیدکننده (کشاورز): در سامانه ثبت نام

^۱ Quick Response

ب) گردش کار سامانه بلاکچین زعفران

این سامانه، امکان ثبت سوابق زعفران را از مزرعه تا فروشگاه فراهم می‌کند. این سامانه برای افراد مجاز در سازمان‌های ذی‌نفع پذیرفته‌شده، حساب کاربری اختصاصی تعریف می‌کند تا بتوانند در هر مرحله اطلاعات مربوط به محصول را ثبت کنند. برای مثال، اگر یک شرکت در حلقه مزرعه عضو باشد، کارکنان اجرایی آن می‌توانند سوابق و اطلاعات جدید مربوط به زعفران و مراحل کاشت را به سامانه اضافه کنند. پس از ثبت اطلاعات، سامانه برای هر رکورد یک شناسه یکتا تولید می‌کند. همچنین سامانه به صورت خودکار یک کد QR اختصاصی مرتبط با همان رکورد تولید می‌کند. این کد QR می‌تواند دانلود و چاپ شود و روی بسته‌بندی محصول قرار گیرد؛ به گونه‌ای که مصرف‌کنندگان و سایر ذی‌نفعان بتوانند با اسکن آن به اطلاعات کامل و جزئیات محصول دسترسی پیدا کنند (الوی و همکاران، ۲۰۲۳). بنابراین، در هر حلقه از زنجیره یک کد QR جدید تولید می‌شود که تمام اطلاعات مربوطه را در خود دارد و به سوابق مرحله اول نیز متصل است. ورود اطلاعات توسط خرده‌فروش در مرحله پایانی باعث تولید کد QR نهایی می‌شود؛ کدی که در دسترس مشتریانی قرار می‌گیرد که محصول را خریداری می‌کنند. شکل ۲، کارکرد کد پاسخ سریع (QR) را در زنجیره تأمین زعفران نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص می‌شود، با اسکن کد QR درج‌شده روی بسته زعفران، اطلاعات مربوط به منشأ تولید، فرآوری، کنترل کیفیت، حمل‌ونقل

و بازار در قالب یک شناسنامه دیجیتال در اختیار ذی‌نفعان و مصرف‌کننده قرار می‌گیرد.

گردش کار سامانه بلاکچین زعفران را می‌توان به صورت زیر توضیح داد:

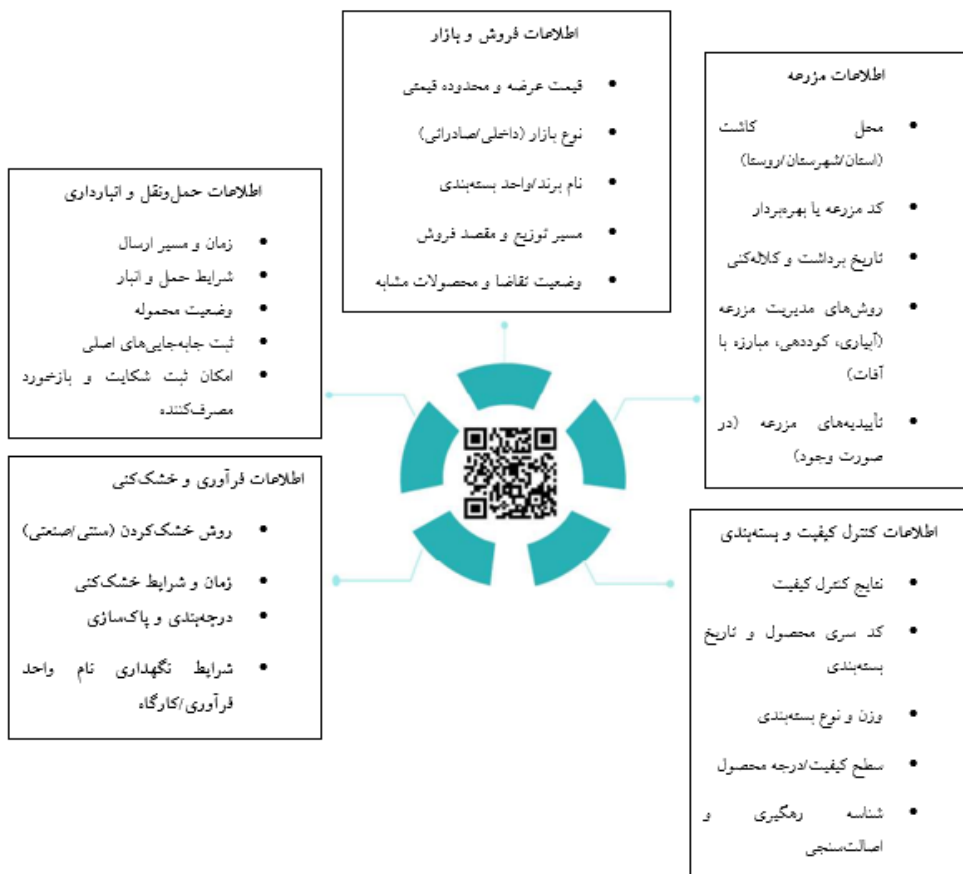
۱- ثبت اطلاعات کاشت، داشت و برداشت کارمند یا مسئول در حلقه زنجیره تأمین تولید، اطلاعات مربوط به زعفران برداشت‌شده را در سامانه بارگذاری می‌کند. سامانه یک شناسه یکتا تولید می‌کند و اطلاعات ثبت‌شده را روی بلاکچین ذخیره می‌نماید.

۲- فروش به خریدار پایگاه تولید، محصول برداشت‌شده را به یک خریدار ثبت‌شده می‌فروشد.

۳- تأیید خریدار پس از دریافت محصول برداشت‌شده، خریدار از طریق رابط کاربری شبکه، عکس‌های محصول دریافت‌شده را بارگذاری می‌کند. مدل یادگیری عمیق داخل سامانه، تصاویر را تحلیل می‌کند که آیا محصول دریافت‌شده با مشخصاتی که در حلقه پایگاه تولید ثبت شده مطابقت دارد یا خیر.

الف) مطابقت: اگر مدل یادگیری عمیق، محصول را تأیید کند، فرایند ادامه می‌یابد. سپس مسئول در حلقه خریدار، اطلاعات مربوط به این مرحله را روی بلاکچین بارگذاری می‌کند.

ب) عدم مطابقت: سامانه یک هشدار درباره احتمال شناسایی نادرست ثبت می‌کند. خریدار می‌تواند با پایگاه تولید تماس بگیرد تا موضوع روشن شود یا در صورت لزوم، محصول برداشت‌شده را رد کند.



شکل ۲- اطلاعات قابل مشاهده با اسکن کد QR روی بسته زعفران (شناسنامه دیجیتال محصول)

نهایی تولید می‌شود. مصرف‌کننده می‌تواند با اسکن این کد QR روی بسته‌بندی، به اطلاعات و تاریخچه محصول دسترسی پیدا کند. این کد به اطلاعات ثبت شده اولیه در مرحله کاشت و برداشت زعفران در بلاکچین متصل است.

ج) جزئیات پیاده‌سازی

برای این که سامانه رهگیری و شناسنامه‌دار کردن محصول قابل اعتماد باشد، لازم است اطلاعات ثبت شده هم امن باشد و هم به راحتی قابل دست کاری نباشد. در این سامانه، برای ثبت و نگهداری اطلاعات باید از یک بستر بلاکچین استفاده گردد. همان‌طور که در شکل ۳ مراحل و فرآیند ثبت اطلاعات در بلاکچین در زنجیره

۴- فروش به فرآوری‌کننده (کارگاه/کارخانه) خریدار، زعفران تأیید شده را به یک فرآوری‌کننده ثبت شده می‌فروشد.

۵- فرآیند تولید/فرآوری

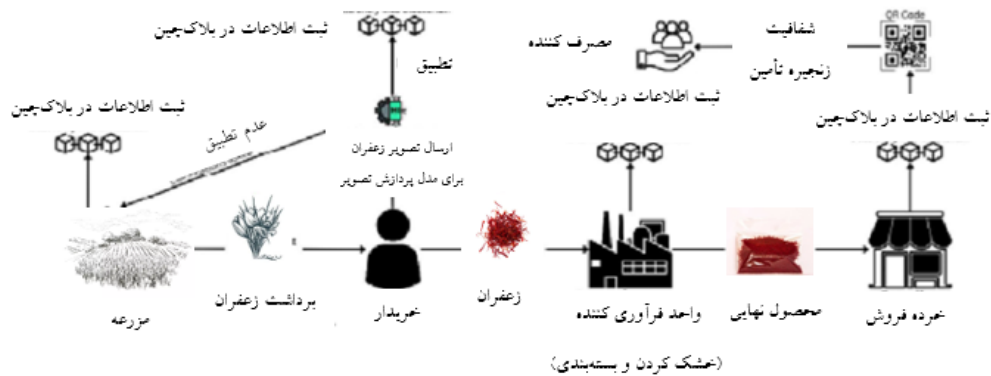
فرآوری‌کننده، جزئیات فرآوری زعفران را در سامانه ثبت می‌کند. این اطلاعات به سوابق قبلی موجود در بلاکچین متصل می‌شود.

۶- فروش به خرده‌فروش

فرآوری‌کننده، محصول نهایی را به یک خرده‌فروش ثبت شده می‌فروشد.

۷- خرده‌فروش و مصرف‌کننده

خرده‌فروش اطلاعات مرحله نهایی را به سوابق محصول اضافه می‌کند و در نهایت یک کد QR



شکل ۳- مراحل اصالت سنجی زعفران با استفاده از سامانه هوشمند و تطبیق اطلاعات ثبت شده در بلاکچین

داده نادرست نیز غیرقابل تغییر ثبت می‌شود؛ بنابراین لازم است سازوکارهای تأیید مانند ممیزی، آزمایشگاه، امضای دیجیتال یا نقش نهاد ناظر در کنار بلاکچین به کار گرفته شود. یکی دیگر از بخش‌های مهم سامانه شناسنامه‌دار کردن زعفران، استفاده از یک مدل هوشمند تشخیص تصویر است. هدف این بخش آن است که در کنار ثبت اطلاعات در بلاکچین، یک ابزار کمکی هم وجود داشته باشد تا ظاهر محصول بررسی شود و احتمال خطای انسانی یا تقلب کاهش یابد. برای آموزش این مدل، لازم است از زعفران تصاویر استاندارد و باکیفیت تهیه شود. این عکس‌ها بهتر است از نمونه‌های مختلف و در شرایط متفاوت گرفته شوند تا تنوع واقعی زعفران در بازار را پوشش دهند؛ مثل زعفران مناطق مختلف، درجه‌های متفاوت کیفیت یا حتی نمونه‌های مشکوک (برای اینکه مدل بتواند تفاوت‌ها را بهتر تشخیص دهد). پس از جمع‌آوری تصاویر، عکس‌ها قبل از آموزش مدل یکسان‌سازی می‌شوند؛ یعنی اندازه آن‌ها تنظیم می‌شود، تصاویر مشابه به شکل‌های مختلف

تأمین زعفران نمایش داده شده است، این بستر باید حجم زیادی از داده را مدیریت کند و در عین حال امنیت و پایداری بالایی داشته باشد (روحانی سیستانی و همکاران، ۲۰۲۴). ساختار این شبکه به شکل چندین رایانه یا گره است که هر کدام نقش مشخصی دارند. برخی از این گره‌ها وظیفه دارند اطلاعات ثبت شده را بررسی کنند، برخی دفتر ثبت اطلاعات را نگهداری می‌کنند و برخی هم قوانین ثبت داده‌ها را اجرا می‌کنند. چون اطلاعات در چند نقطه ذخیره و کنترل می‌شود، امکان اینکه یک نفر بتواند داده‌ها را تغییر دهد یا حذف کند بسیار کاهش می‌یابد. علاوه بر این، یک سازوکار هماهنگی در شبکه وجود دارد که باعث می‌شود همه اعضا روی صحت اطلاعات ثبت شده توافق داشته باشند؛ به همین دلیل داده‌ها همواره یکپارچه و قابل اعتماد باقی می‌ماند (الووی و همکاران، ۲۰۲۳). به عبارت دیگر، بلاکچین تضمین می‌کند سوابق پس از ثبت قابل تغییر نیست، اما اگر داده نادرست وارد سامانه شود (به دلیل خطای انسانی یا تقلب در نقطه ثبت)، همان



شکل ۴) نمونه ای از زعفران های مختلف برای ثبت در سامانه

شود. به عبارت دیگر، مدل بینایی ماشین می تواند در سطح ترویجی برای تشخیص ناخالصی های واضح، شکستگی شدید یا تفاوت های آشکار ظاهری به کار رود؛ اما تأیید نهایی اصالت و درجه کیفی باید با آزمون های استاندارد انجام شود.

در مجموع، ترکیب تشخیص تصویر با ثبت اطلاعات در بلاکچین باعث می شود شناسنامه زعفران قابل اعتمادتر باشد و محصول اصیل و باکیفیت بهتر از محصول مشکوک یا تقلبی قابل تفکیک شود. نتیجه این کار افزایش اعتماد بازار و رضایت مصرف کننده است.

نکته مهم این است که این راهکار در نهایت فقط یک ابزار فناورانه نیست، بلکه مسیری برای ارتقاء فرهنگ کیفیت و اعتماد در بازار زعفران است. وقتی اطلاعات محصول شفاف شود، رقابت از حالت ناسالم و مبتنی بر ادعا و ظاهر، به سمت رقابت مبتنی بر کیفیت واقعی و اطلاعات قابل بررسی حرکت می کند. تولیدکننده ای که محصول باکیفیت دارد، دیگر مجبور نیست با محصول بی هویت و تقلبی در یک سطح رقابت کند، زیرا می تواند محصول خود را با شناسنامه

ساخته می شود (مثل کمی روشن تر یا تیره تر، یا زاویه های متفاوت) تا مدل دقیق تر یاد بگیرد و رنگ ها تا حد امکان به شکل استاندارد تنظیم می شود. این کار باعث می شود سامانه هنگام کار در شرایط واقعی مانند نورهای مختلف یا دوربین های متفاوت عملکرد بهتری داشته باشد (شکل ۴). در مرحله بعد، از روش های یادگیری عمیق استفاده می شود تا سامانه بتواند الگوهای ظاهری زعفران را یاد بگیرد. برای مثال، مدل می تواند به ویژگی هایی مثل رنگ و یکنواختی رشته ها، شکل رشته ها، میزان شکستگی، وجود ناخالصی یا مواد غیرطبیعی و تفاوت های ظاهری بین زعفران مرغوب و زعفران دست کاری شده حساس شود. البته این مدل جای آزمایشگاه را نمی گیرد، اما می تواند به عنوان یک کنترل سریع و اولیه عمل کند. یعنی وقتی زعفران به تعاونی، واحد فرآوری یا بسته بندی تحویل داده می شود، چند عکس از محصول گرفته می شود و سامانه به صورت هوشمند بررسی می کند که آیا محصول با اطلاعات ثبت شده در شناسنامه آن مطابقت دارد یا خیر. اگر مغایرتی دیده شود، سامانه هشدار می دهد تا بررسی دقیق تر انجام

جدول ۱) مقایسه روش فعلی با راهکار پیشنهادی برای ردیابی و اصالت سنجی زعفران

ویژگی	روش فعلی	راهکار پیشنهادی
بازاریابی/ زنجیره تأمین	غیر شفاف، چند لایه	شفاف، مبتنی بر بلاکچین
دسترسی به داده ها	محدود؛ داده های قیمتی به راحتی در دسترس	اطلاعات قیمت به صورت لحظه ای برای ذی نفعان قابل دسترسی است
فرایند ارزیابی و راستی آزمایی	سوابق کاغذی؛ گزارش دهی سالانه	داده های امن و تغییر ناپذیر بر بستر بلاکچین
قابلیت اعتماد به داده ها	امکان دست کاری وجود دارد	سوابق داده ای غیر قابل دست کاری
بررسی کیفیت ظاهری	بررسی دستی؛ احتمال خطا	استفاده از مدل یادگیری عمیق برای شناسایی دقیق

رهگیری و شناسنامه دار کردن زعفران مبتنی بر بلاکچین می تواند بسیاری از چالش های موجود در زنجیره تأمین این محصول ارزشمند را برطرف کند. نتایج مقایسه نشان می دهد که این رویکرد با ایجاد شفافیت در جریان اطلاعات، جلوگیری از دست کاری داده ها و افزایش قابلیت اعتماد، زمینه بهبود مدیریت تولید، فرآوری، حمل و نقل و عرضه زعفران را فراهم می سازد. همچنین ثبت غیر قابل تغییر اطلاعات در هر مرحله از زنجیره، امکان پاسخ سریع به مشکلات کیفیت، کاهش تقلب و افزایش اطمینان مصرف کننده را فراهم می کند. براساس نتایج ارائه شده در جدول ۱، شناسنامه دار کردن زعفران نه تنها یک ابزار فنی، بلکه راهکاری عملی برای ارتقاء جایگاه زعفران در بازار داخلی و صادراتی به شمار می آید.

توصیه ترویجی

زعفران کالایی ارزشمند است و همین ارزش زیاد، زمینه را برای سوء استفاده هایی مانند اختلاط، عرضه محصول با منشأ نامشخص، تغییر کیفیت در مسیر توزیع و حتی برنندسازی های

معتبر عرضه کند و سهم بیشتری از ارزش افزوده دریافت نماید. همچنین شفافیت باعث می شود بازار نسبت به محصول بدون اطلاعات حساس تر شود و این روند می تواند احتمال تقلب را کاهش دهد و جایگاه زعفران ایرانی را در بازار داخلی و جهانی تقویت کند. لذا، شناسنامه دار کردن زعفران با تکیه بر ثبت اطلاعات مسیر تولید و عرضه، ارائه شفاف اطلاعات به مصرف کننده از طریق یک کد روی بسته، و انجام کنترل اولیه کیفیت با روش های ساده مانند عکس برداری، یک راهکار عملی و قابل فهم برای افزایش اعتماد بازار است. این دستاورد می تواند زعفران را از یک محصول صرفاً فروش محور به یک محصول هویت دار و قابل پیگیری تبدیل کند؛ محصولی که ارزش افزوده آن در داخل کشور حفظ می شود و تولید کننده واقعی از آن منتفع خواهد شد.

جدول ۱، روش فعلی و مرسوم در ارزیابی ویژگی ها در زنجیره تأمین زعفران را در مقایسه با راهکار پیشنهادی نشان می دهد. همان طور که در این جدول مشاهده می شود، به کارگیری سامانه

غیرواقعی فراهم می‌کند. در چنین شرایطی، بازار به راهکاری نیاز دارد که بتواند مسیر محصول را شفاف کند و به تولیدکننده و مصرف‌کننده نشان دهد که زعفران دقیقاً از کجا آمده و چه مسیری را طی کرده است. شبکه بلاکچین، زنجیره تأمین زعفران را به شکلی امن و شفاف مدیریت می‌کند. این سامانه با افزودن یک لایه هوشمند برای تحلیل تصویر، امکان شناسایی قابل اعتماد زعفران و ارتباط و تعامل روان با بلاکچین را فراهم می‌سازد و در نهایت به تقویت اعتماد و اصالت‌سنجی در این زنجیره تأمین کمک می‌کند. همچنین استفاده از کد QR روی بسته‌بندی، ارتباط بین محصول و شناسنامه دیجیتال آن را ساده می‌کند. مصرف‌کننده یا خریدار می‌تواند با یک اسکن ساده، تاریخچه و اطلاعات زعفران را مشاهده کند و از اصالت محصول مطمئن‌تر شود. چنین قابلیت‌های تجربه خرید را تغییر می‌دهد و باعث می‌شود اعتماد به جای ادعا در بازار شکل گیرد. این تغییر نگاه، در نهایت به نفع تولیدکننده‌ای است که کیفیت واقعی ارائه می‌دهد و به تقویت جایگاه برند زعفران ایرانی در بازارهای بین‌المللی نیز کمک می‌کند.

منابع

1. Khodabakhshi, M., & Nemati, M. (2020). Identification and prioritization of challenges facing the saffron supply chain and proposed solutions. *Andisheh-e-Amad Scientific Journal*, 19(74), 179–210.
2. Lv, G., Song, C., Xu, P., Qi, Z., Song, H., & Liu, Y. (2023). Blockchain-based traceability for agricultural products: A systematic literature review. *Agriculture*, 13(9), 1757. <https://doi.org/10.3390/agriculture13091757>
3. Rowhani Sistani, M., Gallo, P., & Timoshina, M. (2024). Integrating computer vision and blockchain for enhanced saffron evaluation: A focus on filament curvature assessment. In *Proceedings of the 6th Distributed Ledger Technologies Workshop (DLT2024)* (pp. 1–14). CEUR Workshop Proceedings, Turin, Italy.
4. Sardar Shahraki, A., & Ali Ahmadi, N. (2024). Analysis of obstacles in the supply chain of saffron in the livelihood of villagers in Qaynat County: Application of gray analysis technique (GRA). *Village and Space Sustainable Development*, 5(3), 172–193. <https://doi.org/10.22077/vssd.2024.7574.1249>
5. Uniyal, P., Singh, C., & Dinesh, G. (2024). Leveraging deep learning and blockchain for enhanced transparency and traceability in the Indian herbal product supply chain. In *Proceedings of the 2024 International Conference on Intelligent Systems for Cybersecurity (ISCS)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISCS61804.2024.10581263>
6. Xiao, F., Lai, T., Guan, Y., Hong, J., Zhang, H., Yang, G., & Wang, Z. (2023). Application of blockchain sharding technology in Chinese medicine traceability system. *Computers, Materials & Continua*. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.038937>