

سامانه‌ای خبره برای ارائه نسخه رنگرزی نخ فرش دست‌باف پشمی با استفاده از رنگزاهای طبیعی

An Expert System for Providing Dyeing Recipe of Hand-made Woolen Carpet with Natural Dyes

لطف‌الله شکری^۱، محمد خواجه مهریزی^{۲*}

۱- یزد، دانشگاه علم و هنر یزد، دانشکده فرش اردکان

۲- یزد، دانشگاه یزد، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۷

چکیده

انتخاب بهترین نسخه رنگرزی از دغدغه‌های همیشگی رنگرزه‌ها در صنعت فرش دست‌باف و نساجی بوده است. هدف از این پژوهش، تهیه سامانه خبره نرم‌افزاری برای انتخاب مناسب‌ترین نسخه رنگرزی فرش دست‌باف پشمی با رنگزای طبیعی است. دانش این سامانه از منابع علمی و تجربی معتبر نظیر کتب مرجع، مقالات و افراد خبره رنگرزی کسب شده است. پس از شکل‌گیری پایگاه دانش و بررسی نحوه عملکرد موتور استنتاج، سامانه خبره رنگرزی طبیعی (natural dyes expert system, NDES) به شکل نرم‌افزاری هوشمند تهیه شده است. این سامانه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی C#.net در محیط نرم‌افزار Visual Studio و به روش‌شناسی گرافیکی WPF & Direct X طراحی شده است. پایگاه دانش این سامانه نیز با نرم‌افزار SQL Server 2014 تهیه و نیز برای ارتباط پایگاه داده با سامانه از فناوری LINQ استفاده شد. این سامانه، همانند فردی خبره رنگرزی در نسخه ابتدایی در حوزه رنگرزی روی الیاف پشم در صنعت فرش دست‌باف مشاوره می‌دهد. از نتایج مهم این پژوهش، کمک به افراد کم‌تجربه در این صنعت، فرموله کردن دانش رنگرزی طبیعی، ارائه اطلاعات گسترده رنگزاهای طبیعی و نمایش نسخه رنگرزی به همراه خواص رنگی و ثباتی آنهاست.

مقدمه

برای ترویج رنگ‌های مصنوعی کمتر مشاهده می‌شود که در نتیجه آن، شاهد رکود صادرات و عدم توجه به فرش دست‌باف ایران همچون گذشته هستیم. خبرگان این حرفه نیز با توجه به نبود تقاضا و کهنولت سن کمتر به ادامه فعالیت در این بخش تمایل دارند. احیای دانش خبرگان رنگرزی و دانش روز می‌تواند در بازگشت دوباره به سوی استفاده مجدد از رنگزاهای طبیعی در رنگرزی الیاف در صنعت فرش دست‌باف مؤثر باشد. حوزه تخصصی رنگرزی طبیعی الیاف پشم فرش دست‌باف تاکنون در استفاده از سامانه‌های خبره بی‌پهره بوده است. سامانه‌های خبره، در واقع سیستم‌های رایانه‌ای هستند که رفتار کارشناسان برای حل مشکل در محدوده‌ای مشخص را تقلید می‌کنند. آنها

رنگرزی با رنگزاهای طبیعی روی خامه فرش (پشم و ابریشم) از ویژگی‌ها و امتیازات فرش دست‌باف ایران است. رنگرزی طبیعی و انتخاب بهترین نسخه رنگرزی از دغدغه‌های همیشگی رنگرزه‌ها و حرف‌وابسته در صنعت فرش ایران بوده است. از ضرورت‌های استفاده از رنگزاهای طبیعی برای فرش دست‌باف می‌توان به زیبایی و ارزش هنری، تنوع رنگی، عدم امکان تقلید و کپی‌برداری از فرش ایرانی، ثبات در حد ضرورت و شفافیت درازمدت، روش آسان رنگرزی خامه قالی، صرفه اقتصادی، افزایش ارزش افزوده، نداشتن آثار سوء بر محیط‌زیست و طبیعت‌گرایی فرش اشاره داشت. ولی، امروزه رنگرزی طبیعی در کارگاه‌های سنتی

کلمات کلیدی

سامانه خبره، پایگاه دانش، رنگرزی طبیعی، فرش دست‌باف

پشیمی با رنگرای طبیعی است. ارائه اطلاعات جامع و تسریع فرایند انتخاب مناسب‌ترین نسخه رنگری طبیعی در حوزه تخصصی فرش دست‌باف از دیگر اهداف این پژوهش است.

تهیه سامانه خبره NDES معماری سامانه

در این پژوهش، ارتباط بخش‌های مختلف سامانه خبره به صورت شکل ۱ است که در ادامه هر بخش به‌طور مجزا بحث می‌شود. برای تهیه سامانه، روشی منطقی از مشخص کردن دامنه، کسب دانش پایه و تهیه نسخه‌ها با توجه به دامنه سامانه و انتخاب روش ابزار مناسب اتخاذ شده است. در ادامه تهیه این سامانه، ابتدا با بخش کوچکی از دانش تخصصی مربوط، اقدام به تهیه نمونه ابتدایی کرده و پس از آزمون و اطمینان از نحوه استنتاج و پردازش هوشمند، نمونه تکمیلی با پردازش بهتر، کامل‌تر و کاربرپسندتر از نمونه اولیه تهیه شده است. مراحل تهیه سامانه NDES در شکل ۲ نشان داده شده است.

پایگاه دانش

این بخش از مهم‌ترین بخش‌های سامانه‌ای خبره است که دانش افراد خبره در آن ذخیره می‌شود. دانش این سامانه، مجموعه‌ای از آموخته‌ها، تجارب و مهارت‌های فردی یا گروهی متخصصان در حوزه تخصصی رنگری طبیعی در صنعت فرش دست‌باف است که برای فعالیت‌های خود از آن استفاده می‌کنند. دامنه این سامانه شامل ده رنگرای طبیعی قرمزخانه، روناس، ریواس، اسپرک، پوست انار (جنگلی و بومی)، جاشیر، گلرنگ، نیل، جفت و پوست گردو (منطقه خشک و منطقه مرطوب) است. بخشی از پایگاه دانش طراحی شده، یک پایگاه داده در نرم‌افزار SQL Server 2014 است. استفاده از پایگاه داده SQL و روش‌های پیشرفته ذخیره‌سازی، ویرایش و نمایش اطلاعات در برنامه، امکان تغییرات و بهینه‌سازی اطلاعات را در پایگاه فراهم کرده است. برای ارتباط پایگاه دانش با سامانه خبره از فناوری LINQ استفاده شد. پایگاه داده مدنظر با فناوری LINQ به برنامه افزوده شد و تمام اطلاعات پایگاه از جمله تصاویر و نمودارها در دسترس هستند. این پایگاه از نوع مدل رابطه‌ای است که در آن روال‌های ویرایشی و پیمایشی تعبیه شده است. روال‌های ویرایشی امکان ویرایش جدول‌های اطلاعاتی را فراهم می‌کند. در حالی که، روال‌های پیمایشی نیز قابلیت‌هایی از جمله جست‌وجو و انتخاب اطلاعات را به‌طور مستقیم فراهم می‌سازد. در این پایگاه، واقعیات متشکل از اطلاعات رنگزا، فام رنگی، خواص شیمیایی، نوع کالا (لیف)، نسخه شست‌وشو، دندان و رنگری و ثبات الیاف رنگری شده، در جدول‌های مستقل از هم ذخیره شده است و ارتباط این واقعیات به شکل قواعد درآمده است. نمایش ابتدایی نمودار پایگاه داده در شکل ۳ نشان داده شده است.

به‌طور کلی اطلاعات قرار داده شده در این سامانه را می‌توان به پنج بخش مجزا تقسیم کرد:

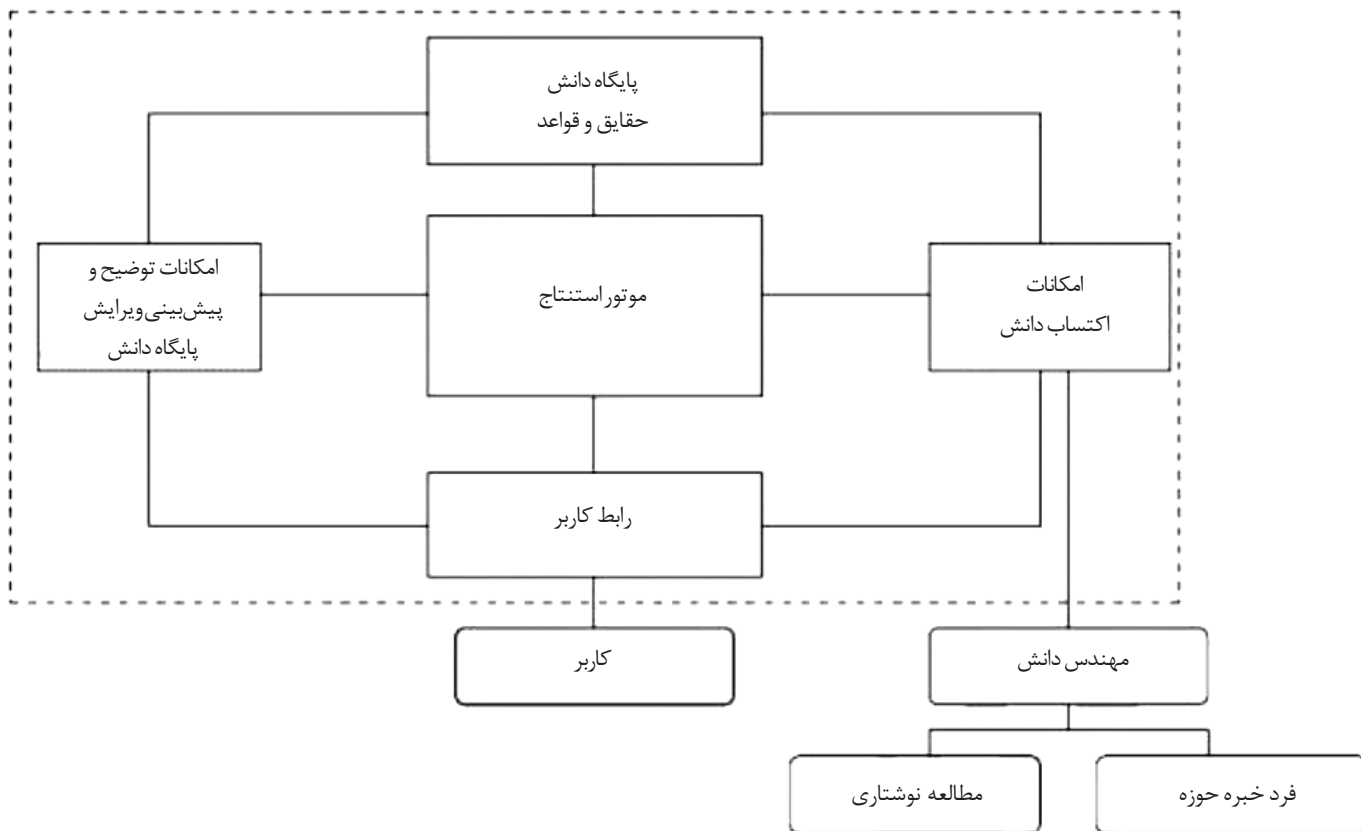
- اطلاعات پایه گیاهی و حیوانی آنها،
- ساختار و خواص شیمیایی رنگرها،
- نسخه و روش رنگری،

می‌توانند به ارتقای کیفیت، گسترش دانش خبره و مدیریت تولید فرش کمک کنند. در صنعت فرش دست‌باف، انتخاب نسخه رنگری مناسب از مؤلفه‌های اصلی در تولید فرش بوده که ضرورت شکل‌گیری سامانه خبره در این زمینه تأمل‌برانگیز است. با توجه به مناطق مختلف قالی‌بافی و پراکندگی اطلاعات؛ محدودیت‌های دریافت اطلاعات از خبرگان فرش به‌طور کلی شامل دسترسی نداشتن به این افراد به دلیل محدودیت زمانی و موقعیت مکانی، انتقال دشوار دانش و مستندسازی در این زمینه، کارایی و تکرارپذیری اطلاعات مربوط به شرایط زمانی، بازنشستگی و مرگ و میر و درنهایت هزینه زیاد آن است. ارائه سامانه‌ای خبره و هوشمند برای تعیین نسخه رنگری فرش دست‌باف پشیمی با رنگرای طبیعی، دارای نکات مثبتی از جمله، دسترسی همیشگی از نظر زمان و مکان، انتقال دانش به‌طور آسان، کارایی و تکرارپذیری تقریباً ثابت اطلاعات و به‌طور اجمالی مقرون به‌صرفه بودن است [۱].

دامنه پیشینه این سامانه درباره تعیین نسخه رنگری و فرش است. در زمینه نساجی و رنگری شیمیایی، پژوهش‌ها و سامانه‌های خبره مختلفی شکل گرفته است. سامانه خبره پیش از این، تجربه ارائه خدمات در شاخه رنگری را در نساجی داشته که البته در رنگ‌های مصنوعی و بیشتر برای تعیین نسخه، حل مشکل و عیب‌یابی در فرایند رنگری بوده است. به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۱، ۱۹۹۲، ۱۹۹۴، ۱۹۹۸، ۲۰۰۱، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ سامانه‌های خبره Calopoca, Batem, Smartmatch, Bafarex, Wooly, Recipe Decision و Recipe Optimization برای تعیین نسخه رنگری مصنوعی در نساجی ساخته شده است [۲]. پیش از این سامانه‌های خبره تعیین نسخه رنگری با رنگزاهای مصنوعی برای کالاهایی پشیمی و پشم-پلی‌آمیدی و نیز پنبه‌ای و پنبه-پلی‌استری بوده است [۲]. پژوهشگران پس از ۲۰۰۳ میلادی بیشتر به سوی توسعه سامانه‌های خبره تشخیص عیب گرایش یافته‌اند. سامانه Dexpert (حسین و همکاران) [۳] برای حل مشکلات رنگری کالای پنبه‌ای ارائه شد و سپس توسعه یافت. سامانه خبره DDES (گودرز و همکاران) [۴]، توسعه و ارزیابی سامانه رنگری منسوجات پنبه‌ای و پنبه-پلی‌استری را انجام داده و نتایج نشان داد، کاربران می‌توانند مشکلات رنگری را با این سامانه هوشمند حل کنند.

سامانه خبره دیگری را گودرز و همکاران [۵]، برای کمک به شناسایی و ارائه راه‌کار برای تشخیص و رفع عیب در رنگری پارچه پنبه‌ای عرضه کردند. سامانه مزبور، سامانه خبره مبتنی بر قاعده است که با شناسایی دلایل احتمالی عیوب ایجاد شده در رنگری پنبه با رنگینه‌های واکنش‌پذیر، راه‌حل‌های لازم را برای از بین بردن این عیوب ارائه می‌دهد.

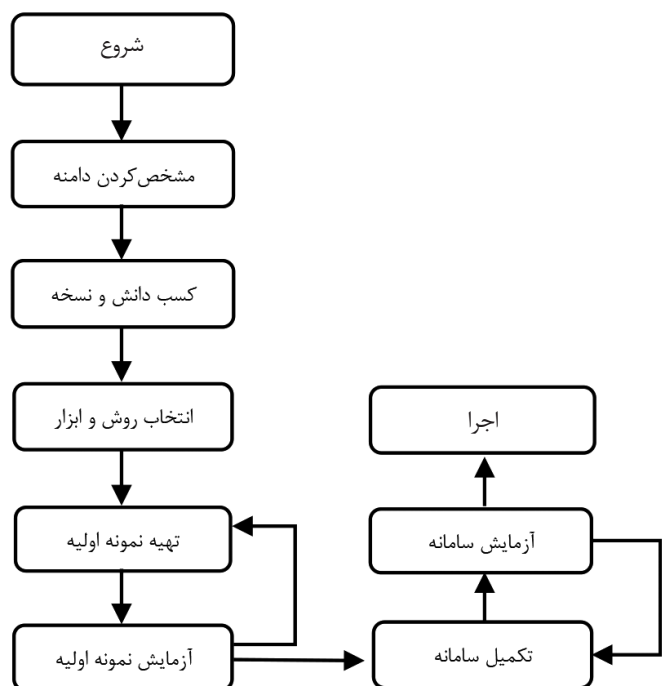
در پژوهش همتی و همکاران [۶]، برنامه رایانه‌ای براساس مفاهیم سامانه خبره برای درجه‌بندی فرش ماشینی ارائه شده است. در نتیجه طراحی این نرم‌افزار، دانش درجه‌بندی فرش ماشینی فرموله شد و از مهم‌ترین قابلیت‌های سامانه مزبور، امکان درجه‌بندی فرش براساس مجموع وزن عیوب است و تغییرات درجه‌بندی محصول نیز در زمان‌های مختلف یا توسط افراد مختلف کاهش می‌یابد. افزون بر موارد مزبور، در سال‌های اخیر نیز مطالعات زیادی به سامانه‌های مبتنی بر دانش به‌ویژه در حوزه تشخیص معطوف شده است [۷-۹]. هدف پژوهش حاضر، تهیه سامانه‌ای خبره به شکل نرم‌افزار برای تعیین نسخه رنگری فرش دست‌باف



شکل ۱- معماری سامانه خبره.

موتور استنتاج

فرایند استنتاج با استفاده از دانش موجود در پایگاه دانش، فرایند فکر کردن



شکل ۲- روش تهیه سامانه خبره.

- مؤلفه‌های رنگی و
- مؤلفه‌های ثباتی.

آنچه در پایگاه داده ارائه شده، شامل هشت جدول است که در بخش «رنگزا» که دامنه سامانه نیز است، اطلاعات پایه رنگزای گیاهی یا حیوانی با ارزش رنگی زیاد و نیز تصویر گیاه و پودر رنگزا با ذکر منطقه و شرایط آب و هوایی معرفی شده است. بخش خواص شیمیایی نیز فرمول‌ها و ساختارهای شیمیایی هر رنگزا را نشان می‌دهد.

در بخش «فام رنگی» سه تصویر از نمونه رنگ‌گری شده قرار داده شده است که دو نمونه آن شامل نمایش سطح مقطع عرضی لیف رنگ شده یا همان حالت پرز مانند در دو تراکم زیاد و کم است. تصویر دیگر سطح مقطع طولی همان پشم را نشان می‌دهد که نزدیک به بافت گلیم، جاجیم و جز اینهاست. در کنار نشان دادن تصاویر، مؤلفه رنگی هر نمونه به شکل عددی در سامانه رنگی منظم $L^*a^*b^*$ ارائه شده است. در بخش ثبات نیز ثبات هر نمونه رنگی (شست‌وشویی، نوری و مالشی) آورده شده است. در بخش «کالا» سه نوع لیف پشم، ابریشم و پنبه برای انتخاب قرار داده شده است. البته در این پژوهش، فقط روی پشم کار شده است و با انتخاب هر کالا به نسخه، مربوط به آن کالا می‌توان دست یافت. در بخش «نسخه» سه بخش شست‌وشوی کالا، دندانان و رنگ‌گری گنجانده شده است که در بخش نسخه، اطلاعاتی از قبیل نوع و غلظت رنگزا، نوع و غلظت دندانان، تنوع و غلظت مواد کمکی، pH حمام، سختی آب، $L:R$ ، تصویر گراف رنگ‌گری، دندانان و نیز توضیحات کمکی ارائه می‌شود.



شکل ۳- نمایش ابتدایی نمودار پایگاه داده سامانه خبره (NDES).

نهایی، شامل پاسخ‌های مرحله‌ای به پرسش‌های کاربر است، به طوری که کاربر با پاسخ گرفتن از سؤال‌های مرحله‌ای خود، پله پله به هدف و پرسش اصلی خود می‌رسد که پاسخ نهایی در این سامانه نسخه نهایی رنگ‌گری برای رسیدن به یک فام رنگی رنگ‌زای مدنظر کاربر است. زبان برنامه‌نویسی به کمک گردآور (Compiler) و پردازشگر (واحد محاسبه و منطق) می‌تواند نقش موتور استنتاج را اعمال کند و از داده‌های خام کاربر و استفاده از پایگاه دانش از پیش تعبیه شده، به وسیله تحلیلی که انجام می‌دهد، نتایج نهایی را به کاربر دهد.

رابط کاربری

واسط کاربر میان کاربر و سامانه خبره ارتباط برقرار می‌کند. از آنجا که هدف از ایجاد سامانه‌های خبره ارائه مشاوره به افراد و امکان پذیر کردن انجام فعالیت‌های تخصصی است، به همین دلیل چگونگی ارتباط با کاربر از اهمیت زیادی برخوردار است. در این سامانه، یک واسط کاربر مبتنی بر فرمان طراحی شد. کاربر با این فرمان‌ها، حقایق را که شامل گزارش کدهای RGB، CMYK، Hex، HSB و $CIE L^*a^*b^*$ است، با استفاده از پالت رنگی یا ورود مؤلفه عددی به سامانه گزارش می‌کند. همچنین، می‌تواند نسخه‌های رنگ‌ریزی، مؤلفه‌های ثابتی و نمایش بصری نمونه‌های رنگ‌ریزی شده را ببیند، از برنامه خارج شود، اطلاعات را ویرایش کند و غیره. تا حد امکان سعی شده است، محیط برنامه کاملاً کاربرپسند باشد. رابط کاربری این سامانه از آخرین روش‌های برنامه‌نویسی طراحی شده و از فناوری تایل (Tile) ویندوز ۸ بهره می‌برد. ابزار ویرایش دانش به راحتی در دسترس کاربر قرار دارد. با ورود به هر بخش، استفاده از ابزار ویرایش و

را شبیه‌سازی می‌کند. هنر واقعی سامانه‌ای خبره، استفاده از ظرفیت آن در جهت استنتاج است و این همان چیزی است که سامانه خبره را هوشمند می‌سازد [۵]. موتور استنتاج در سامانه خبره برنامه‌ای است که قواعد و دانش انباشته شده در پایگاه دانش را تحلیل کرده و به نتیجه‌گیری منطقی راه می‌یابد. موتور استنتاج این سامانه خبره از نوع زنجیره پیش رو است. فرایند پرسش و پاسخ در این سامانه نیز توسط کاربر و سامانه انجام می‌شود، به طوری که کاربر سؤال خود را از سامانه با دادن اطلاعاتی به سامانه به شکل انتخاب فام از طریق پالت رنگ یا با وارد کردن مقدار عددی در سامانه‌های رنگی CMYK، RGB و Lab پرسیده و در نهایت اطلاعات جدید یا پاسخ را از سامانه می‌خواهد. موتور استنتاج سامانه به اطلاعات جدید یا پاسخ که نسخه رنگ‌ریزی متناسب با فرش دست‌باف پشمی است، پی برده و آن را در اختیار کاربر قرار داده و در حافظه در حال کار خود اضافه می‌کند. برای نمونه، کاربر سؤال خود را در دو حالت کلی که لازمه رسیدن به رنگ مدنظر در رنگ‌ریزی است، از سامانه می‌پرسد: (۱) انتخاب فام رنگی و (۲) انتخاب رنگ‌زا. که در هر یک از این دو بخش کاربر می‌تواند سؤال خود را مشخص‌تر بپرسد. برای نمونه در بخش انتخاب فام رنگی کاربر می‌تواند سؤال خود را به شکل انتخاب کالای رنگ‌ریزی، انتخاب فام رنگی از طریق پالت رنگ، وارد کردن فام رنگی از راه کد رنگ و نمایش نمونه رنگ شده هر فام رنگی در دو حالت سطح مقطع عرضی الیاف (تراکم زیاد و پایین الیاف در حالت پرز گونه) و سطح مقطع طولی الیاف داشته باشد. همچنین، در بخش انتخاب رنگ‌زا کاربر می‌تواند با انتخاب یکی از رنگ‌زاهای موجود در دامنه سامانه سؤال خود را بپرسد. پاسخ سامانه با توجه به پرسش‌های متنوع کاربر از ابتدا تا رسیدن به نتیجه

موارد شامل، استفاده از درصد مشخص غلظت رنگزا، مواد کمکی و دندان، تعیین دمای حمام رنگ‌گری بر حسب درجه سانتی‌گراد، ارائه زمان رنگ‌گری بر حسب دقیقه، بهره‌گیری از واحد PPM برای نمایش سختی آب، نمایش مقدار pH، ارائه ثابت نوری بر مبنای خط‌کش آبی (۱ تا ۸)، ارائه ثابت شست‌وشویی بر مبنای خط‌کش خاکستری (۱ تا ۵)، نمایش مؤلفه‌های رنگی در قالب سامانه‌های رنگی CMYK، RGB و $CIE L^*a^*b^*$ ، نمایش سطح مقطع عرضی و طولی الیاف رنگ شده و اطلاعات هر رنگزا که شامل توضیحات رنگزا، نام‌های مختلف، روبشگاه، تکثیر و ازدیاد، پراکندگی در ایران و جهان، جزء رنگزا، خواص شیمیایی، خواص رنگی، تصویر ماده رنگزا (گیاه، حیوان و ...) و در نهایت، تصویر پودر رنگزای طبیعی بر اساس مناطق مختلف زیستی و فام‌های رنگی هر رنگزاست.

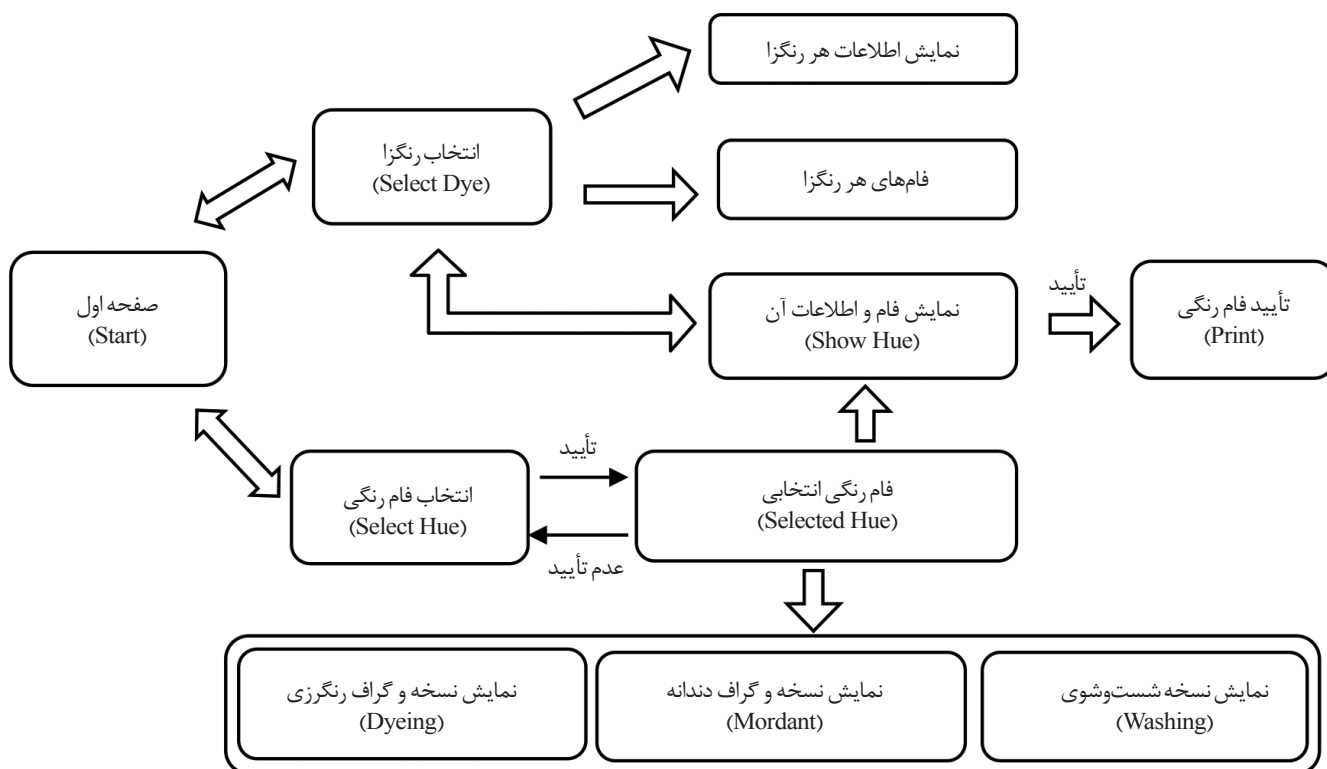
تعداد و تخصص افراد خبره در شکل‌گیری سامانه‌ای کامل نقش بسزایی دارد. در این سامانه با توجه به اینکه سعی در فرموله‌کردن و علمی‌کردن دانش خبره برای ارائه است، از سه خبره رنگ‌گری بهره برده شده است که سابقه‌های تجربی و علمی (دانشگاهی) توأم دارند.

روش استفاده از افراد خبره یا سه رنگ‌گر متخصص به صورت کارشناس اولیه و کارشناسان ثانویه است. مهندس دانش با توجه به سوابق تجربی و علمی در زمینه تولید الیاف پشم رنگ شده برای فرش دست‌باف، یکی از کارشناسان و به عنوان متخصص اولیه در نظر گرفته شده است. در حالی که از دیگر کارشناسان به عنوان کارشناسان ثانویه استفاده شده است. این تقسیم‌بندی در میان کارشناسان این سامانه به گونه‌ای بوده است که کارشناس اولیه به طور مداوم در تماس با کارشناسان ثانویه باشد. بنابراین، کارشناس اولیه دانش لازم را از منابع مختلف، جمع‌آوری

اصلاح نیز پیش‌بینی شده است. به طوری که می‌توان به سامانه، نسخه‌های جدید وارد کرد یا یک قاعده، اطلاعات، نسخه رنگ‌گری یا مؤلفه رنگی و ثباتی را ویرایش کرد.

اکتساب دانش

اکتساب دانش، گلوگاه تهیه سامانه‌ای خبره است. موفقیت سامانه‌ای متخصص، بستگی به مقدار دانش و کیفیت آن دارد. بر این اساس، کسب دانش از کارشناسان، اولین و سخت‌ترین وظیفه در تهیه سامانه خبره است. فرایند اکتساب دانش در این سامانه در دو مرحله و با کارشناسی اولیه و ثانویه توسط کارشناسان انجام شد. در مرحله اول، یک تصویر کلی از مسئله به دست آمد، بدون اینکه به جزئیات مسئله پرداخته شود. در این مرحله، سامانه خبره رنگ‌گری طبیعی که برای تعیین نسخه رنگ‌گری فرش دست‌باف پشمی با رنگزای طبیعی است، شناخته و بررسی شد. در این مرحله، دامنه سامانه که تعداد رنگزاهاست، مشخص و در این سامانه از رنگزاهای پرکاربرد بهره برده شده است. این رنگزاهای به گونه‌ای انتخاب شدند که بتوان به حداکثر فام‌های موجود در فرش دست‌باف ایران دسترسی داشت. با مشخص شدن ده رنگزای مشخص، اکتساب دانش در این سامانه ساده‌تر شده است. دامنه سامانه شامل رنگزاهای قرمزدانه، روناس، ریواس، اسپرک، پوست انار (جنگلی و بومی)، جاشیر، گلرنگ، نیل، جفت و پوست گردو (منطقه خشک و منطقه مرطوب) است. در مرحله دوم اکتساب دانش، پیاده‌سازی پایگاه دانش اولیه انجام شده، به طوری که قواعد با جزئیات بیشتری به سامانه اضافه شود. به گونه‌ای که عوامل مختلف اثرگذار در تعیین نسخه رنگ‌گری طبیعی در نظر گرفته شد. این



شکل ۴- نقشه پیمایش سامانه NDES.

به شکل نرم‌افزاری تحت ویندوز ارائه شده است که با توجه به مرتبط بودن به بحث رنگ‌رزی طبیعی، ساختارهای شیمیایی و نسخه‌های رنگ‌رزی آنها و نیز مؤلفه‌های رنگی و ثباتی رنگ‌رزی طبیعی به‌عنوان نرم‌افزار رنگ‌رزی طبیعی (natural dyes software) ارائه شده است که اختصار آن به شکل ND استفاده می‌شود.

نرم‌افزار رنگ‌رزی طبیعی، نرم‌افزاری دو زبانه است که در نسخه ابتدایی (B) بخش‌ها و فهرست (menu) به زبان انگلیسی (زبان عمومی در نرم‌افزارها) بوده و با نگه‌داشتن موس روی هر نماد تصویری (icon) یا فهرست، ترجمه فارسی آن پدیدار می‌شود. اما اطلاعات حاضر در این سامانه فقط به زبان فارسی و فقط اصطلاحات یا اعداد به دلیل شناخته‌بودن یا اشتباه نکردن در ارائه اعداد به زبان لاتین ارائه شده است. این نرم‌افزار قابلیت ویرایش، حذف و ذخیره‌سازی برای نسخه‌های رنگ‌رزی پیش‌بینی شده و خروجی گرفتن با دستور چاپ را دارد. همچنین، قابلیت نصب روی سیستم عامل‌های مایکروسافت را در نسخه‌های ویندوز 7-8-8.1 و به‌طور کلی روی رایانه شخصی، نوت بوک و تبلت دارد. افزون بر استفاده نرم‌افزار به کمک موس و صفحه کلید، قابلیت استفاده به شکل لمسی را نیز دارد.

نقشه پیمایش در نرم‌افزار

نقشه پیمایش این نرم‌افزار در شکل ۴ ارائه شده است. کاربر پس از ورود به صفحه اصلی برنامه با دو محیط مجزا روبه‌رو می‌شود. این دو محیط شامل یک محیط انتخاب فام رنگی و محیط انتخاب رنگ‌رزی است. در صفحه انتخاب فام رنگی کاربر پس از انتخاب رنگ به وسیله ابزارهای تعبیه شده وارد صفحه فام رنگی انتخاب شده می‌شود. این صفحه دارای چند بخش شامل نمایش فام، مرحله شست‌وشو، مرحله دندان و مرحله رنگ‌رزی است.

در بخش نمایش فام، کاربر افزون بر نمایش توضیحات و نمونه‌های رنگ شده فام رنگی، می‌تواند به رنگ‌ها یا رنگ‌رزی‌ها ایجادکننده فام نیز دسترسی داشته باشد. در واقع، سه بخش بعدی نسخه لازم برای تولید فام رنگی انتخابی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. اگر کاربر پس از ورود به صفحه اصلی وارد بخش انتخاب رنگ‌رزی شود، با فهرستی از رنگ‌رزی‌ها به کار رفته مواجه می‌شود. با انتخاب هر یک از رنگ‌رزی‌ها افزون بر اطلاعات مربوط به رنگ‌رزی (که به‌طور کامل ارائه شده است) فام‌های رنگی که این رنگ‌رزی در تولید آن نقش داشته نیز در یک پنل کاری در اختیار کاربر است. البته برای کاربر امکان ویرایش، حذف یا ایجاد اطلاعات در هر یک از بخش‌های

کرده و در جلسه‌ای با حضور دو خبره دیگر مستندات خود را ارائه داده و براساس مستندات علمی و تاریخی موجود از میان رنگ‌رزی‌های ارائه شده، ده رنگ‌رزی پرکاربرد که دارای ارزش رنگی خاص هستند، انتخاب شده است. در مرحله بعد نیز، نقاط ضعف و قوت پایگاه دانش شکل گرفته توسط مهندس دانش، در جلسه‌ای با حضور سایر کارشناسان، اصلاح می‌شود. درنهایت، مهندس دانش براساس پایگاه دانش تأیید شده به دنبال قواعد جزئی‌تر مانند اطلاعات و نسخه‌های رنگ‌رزی هر یک از رنگ‌رزی‌ها رفته و آنها را در جدول‌های مشخص برای کارشناسان در بازه‌های زمانی مشخص، ارسال می‌کند و نظر آنها را خواستار می‌شود. کارشناسان یکی از پاسخ‌های مثبت، منفی یا بازنگری مجدد (اصلاح) را به مهندس دانش انتقال می‌دهند. پس از تأیید اطلاعات نسخه‌ها، نسخه‌ها در آزمایشگاه برای تأیید نهایی و کسب دانش ثابت رنگی و مؤلفه رنگی دوباره رنگ‌رزی می‌شود. برای ارزیابی مطالب بیان شده، مختصات رنگی به‌دست آمده را نیز کارشناسان بررسی کردند. درنهایت، نمونه‌های تأیید شده وارد سامانه شدند. با توجه به تعداد کارشناسان این سامانه، روش مرتب‌کردن نظر خبرگان در این سامانه بدین ترتیب بوده که تمام نظرها و پاسخ‌های خبرگان چه در جلسه حضوری و چه با ایمیل در زمینه اطلاعات کسب شده به شکل مثبت، منفی و بازنگری مجدد (اصلاح) مرتب شده است.

نحوه کار با سامانه

ابزارهای ساخت سامانه خبره

سازوکارهای استفاده شده در تهیه سامانه خبره انتخاب نسخه رنگ‌رزی شامل موارد زیر است:

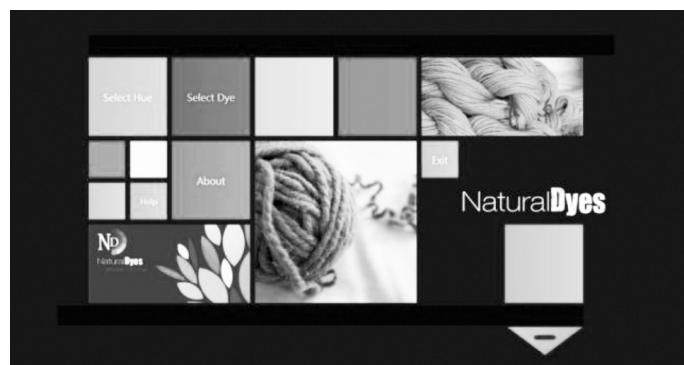
- ۱) پلت فرم Microsoft.NET Framework.
- ۲) زبان برنامه‌نویسی #C در محیط نرم‌افزار VISUAL STUDIO.
- ۳) روش‌شناسی ذخیره‌سازی برای طراحی پایگاه دانش و اطلاعات لازم در موتور استنتاج Filing و SQL Server.
- ۴) روش‌شناسی گرافیکی برای طراحی واسط کاربری Windows Presentation Foundation (WPF) & Direct X.

نرم‌افزار رنگ‌رزی طبیعی

سامانه خبره انتخاب نسخه رنگ‌رزی (natural dyes expert system, NDES)



شکل ۶- صفحه انتخاب رنگ‌رزی در نرم‌افزار.



شکل ۵- نمای کلی پنجره‌ها یا صفحه اصلی.



شکل ۸- صفحه فام رنگی انتخاب شده.



شکل ۷- صفحه انتخاب فام رنگی.

نرم‌افزار پیش‌بینی شده است که این موارد در پنل‌های ویرایش تعبیه شده است. جزئیات هر بخش از این نقشه نرم‌افزار در شکل‌های ۶ تا ۹ به‌طور مجزا ارائه شده است.

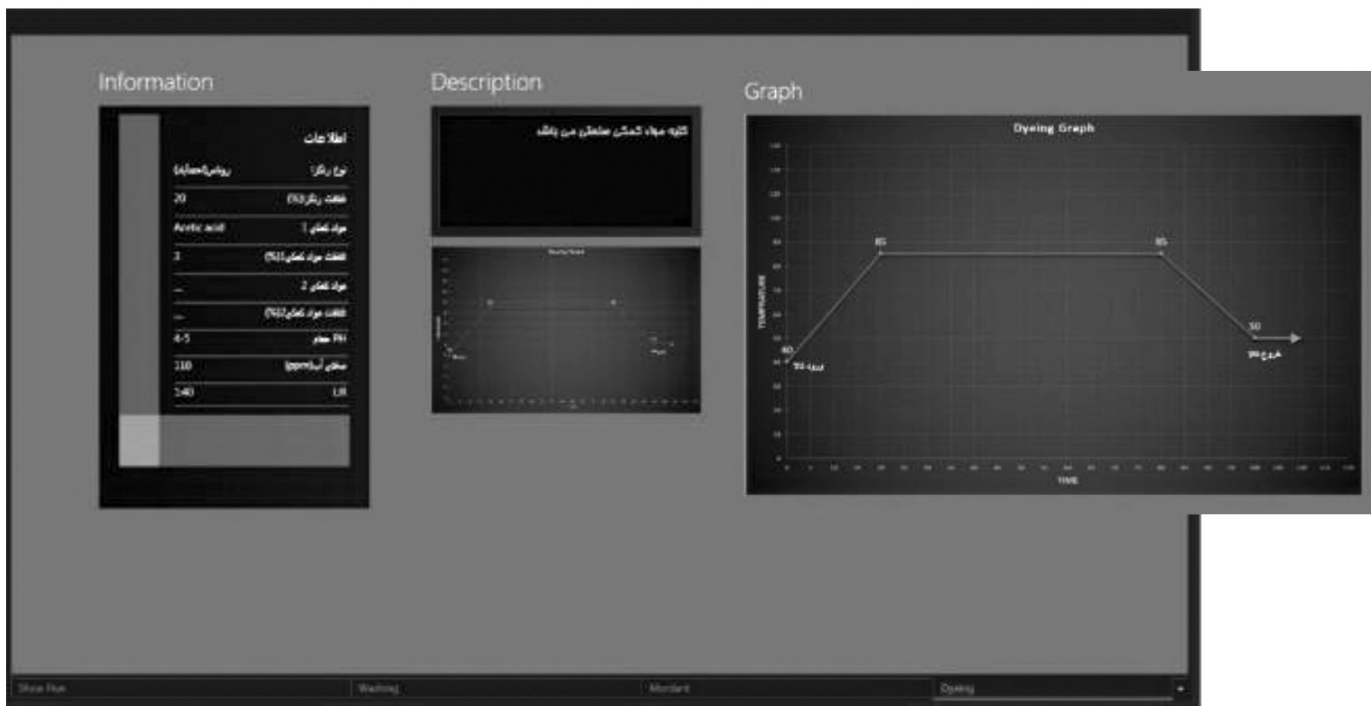
نرم‌افزار NDES، شامل چهار پنجره اصلی کاری است. هر یک از این پنجره‌ها از صفحه‌ها و پنل‌های مختلف برای نمایش و دسترسی امکانات برنامه تشکیل شده است. نمای کلی این پنجره‌ها در شکل‌های ۵ تا ۹ و نمونه چاپ نهایی در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

آزمایش سامانه

در سامانه خبره NDES، نرم‌افزار پس از طراحی و تهیه به چند متخصص عرضه شد. متخصصان پس از آگاه‌شدن از موضوع نرم‌افزار تهیه شده و چگونگی کار با آن و تصمیم‌گیری این نرم‌افزار، آن را ارزیابی و بررسی کردند. از متخصصان تقاضا شد، فام‌های درخواستی خود را که در صنعت فرش و رنگ‌گری طبیعی کاربرد دارند، به این نرم‌افزار گزارش کنند و

نتایج سامانه و نحوه رسیدن به آن را تحلیل کرده و اعتبارسنجی کنند. نرم‌افزار در نسخه ابتدایی (β) پس از ارزیابی، از لحاظ ارائه عملکرد مثبت و استفاده آسان مورد تأیید متخصصان و ناظران اکتساب دانش قرار گرفت. متخصصان با توجه به نسخه ابتدایی بودن (β) نرم‌افزار یا سامانه خبره، مطرح کردند که می‌توان فام‌ها و سایر کالاها را در نسخه‌های متنوع به آن افزود و به‌طور کلی پایگاه دانش را جامع‌تر کرد.

در اینجا مثالی واقعی که توسط دو متخصص فرش دست‌باف بررسی شده آورده شده است. تولیدکننده فرش براساس نقشه طراحی شده با نرم‌افزارهای تخصصی طراحی فرش، به الیاف رنگ شده‌ای نیاز دارد که در سیستم رایانه به شکل RGB یا CMYK انتخاب کرده است. این متخصص با وارد کردن کدهای RGB، CMYK یا Hex از سامانه می‌پرسد، که فام رنگ الیاف مدنظر در صنعت فرش دست‌باف را معرفی کند که به رنگ



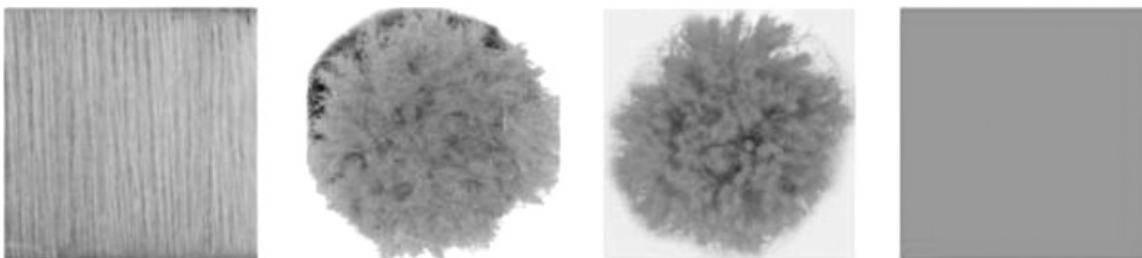
شکل ۹- شیوه نمایش نسخه شست‌وشوی کالا، دندانده و رنگ‌گری (برای نمونه نسخه رنگ‌گری).



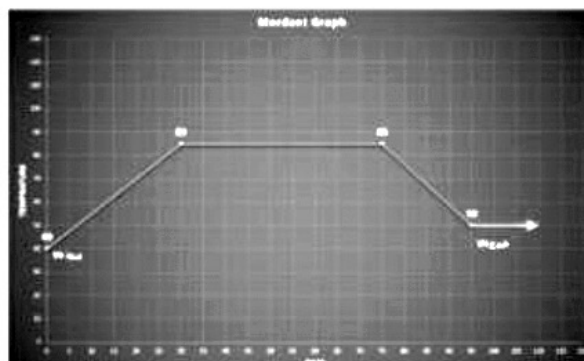
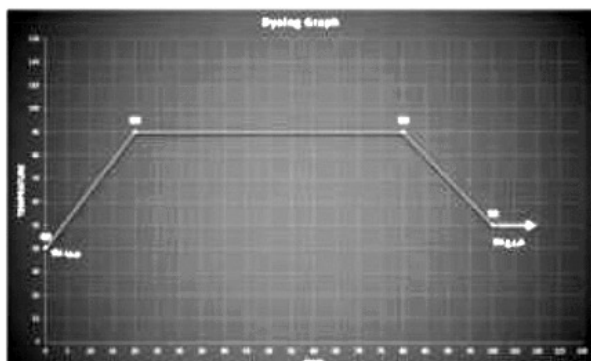
NaturalDyes
Version 1.0.2.2

ColorCode

Lab	72.66-12.64-76.6
RGB	231-166-0
CMYK	0-28-100-9
HEX	#e7a600



رنگریزی		دندان		شست‌وشو	
نوع رنگزا	اسبرک (خراسان)	دندان		نوع شوینده	
غلظت رنگزا (%)	۲۰	غلظت دندان (%)	۳	غلظت (g/L)	۲
مواد کمکی ۱	استیک اسید	مواد کمکی	استیک اسید	L:R	۱:۵۰
غلظت مواد کمکی ۱ (%)	۳	غلظت مواد کمکی (%)	۳	دما	۶۰
مواد کمکی ۲	-	pH حمام	۴-۵	زمان	۳۰
غلظت مواد کمکی ۲ (%)	-	سختی آب (ppm)	۱۱۰	سختی آب (ppm)	۱۱۰
pH حمام	۴-۵	L:R	۱:۴۰	ثبات	
سختی آب (ppm)	۱۱۰	$T_i = \text{قلع کلرید صنعتی}$		ثبات نوری	۵
L:R	۱:۴۰			ثبات مالشی	-
تمام مواد کمکی صنعتی هستند				لکه‌گذاری روی پشم	۴-۵
				لکه‌گذاری روی پنبه	۴-۵
				تغییر رنگ	۵



شکل ۱۰- نمایش نسخه رنگریزی چاپ شده.

زمان است. سرعت بخشیدن به فرایند انتخاب نسخه رنگ‌گری یکی از کاربردهای مهم این سامانه است. همچنین، در این سامانه خبره با توجه به وجود رنگ‌هایی با ارزش رنگی زیاد و روش رنگ‌ری معمول و نبود تمام نسخه‌های رنگ‌ری ترکیبی و رنگ‌هایی با ارزش رنگی کم، بهبود نسبی رنگ‌ری را شاهد هستیم. گفتنی است، ارائه سامانه‌ای خبره که داده‌های اولیه آن براساس دانش خبرگان فرش و استانداردهای ملی و بین‌المللی باشد، می‌تواند افزون بر تسریع فرایند انتخاب و تصمیم‌گیری کاربر، نسخه بهینه رنگ‌ری با توجه به نوع کالا و رنگ‌زای طبیعی را در اختیار دست‌اندرکاران فرش و کاربران سامانه خبره قرار دهد. از عمده‌ترین مباحثی که امروزه در مدیریت مطرح است، بحث مدیریت کیفیت فراگیر است [۱۰]. سامانه خبره NDES می‌تواند با فراهم‌شدن شرایط، به مدیریت کیفیت بر صنعت فرش دست‌باف کمک کند. شایان توجه است، با توجه به اینکه تا به حال نرم‌افزاری در زمینه رنگ‌های طبیعی موجود نبوده و وجود نرم‌افزار رنگ‌زای طبیعی در زمانی که عصر فناوری است، دور از انتظار نیست. هر چند استفاده از رنگ‌های طبیعی در گذشته کاربرد بیشتری داشته ولی برای احیای یک هنر یا دانش باید آن را فرزند زمان خود کرد. یعنی آن را با زبان امروزی ترجمه کرد و دوباره آن را احیا کرد. قرار گرفتن اطلاعات رنگ‌زای، نسخه‌ها، مؤلفه‌های رنگی و ثباتی براساس دانش روز در این سامانه خبره نقطه اثرگذار دیگر این سامانه در ایجاد نگاه جدید به رنگ‌زای طبیعی است.

نتیجه‌گیری

حاصل این پژوهش، سامانه‌ای خبره مبتنی بر قاعده است که به شکل نرم‌افزار Natural Dyes (N.D) با ارائه اطلاعات جامع رنگ‌زای طبیعی و شناسایی نسخه رنگ‌ری مناسب، فرایند انتخاب نسخه را آگاهانه و در کمترین زمان انجام می‌دهد. این سامانه، با هدف نهایی نسخه‌برداری از دانش رنگ‌زای و کارشناسان تجربی و علمی این حوزه تلاش دارد تا همانند فردی خبره در مسائل مربوط به حوزه تخصصی مشاوره دهد. سامانه خبره تهیه شده مبتنی بر دانش بوده که دانش آن را مهندس دانش از کتاب‌های مرجع، مقالات، مطالعات موردی، اینترنت و افراد خبره تجربی و دانشگاهی کسب کرده و به زبان قابل فهم رایانه تبدیل کرده است. به هر حال از این سامانه می‌توان برای کمک به طراحان فرش به‌عنوان نرم‌افزار یا سامانه کمکی، سفارش‌دهندگان به‌عنوان سامانه مبنایی و نشانی رنگ، در آموزش عالی به‌عنوان سامانه کمک‌آموزشی برای دانشجویان و افراد کم تجربه، دانش‌آموختگان فرش برای شروع و انگیزه کار در حوزه رنگ‌ری و تولید فرش و در نهایت کارگاه‌های رنگ‌ری به سبب بهبود بازده کاری بهره برد. همچنین می‌توان گفت، کل سامانه باعث نگرش جدید به رنگ‌زای طبیعی و به‌ویژه رنگ‌زای مصرفی در ایران می‌شود. متخصصان با توجه به ابتدایی بودن (β) نسخه نرم‌افزار یا سامانه خبره، مطرح کردند که می‌توان فام‌ها و سایر کالاها را در نسخه‌های متنوع به آن افزود و به‌طور کلی پایگاه دانش را جامع‌تر کرد. اضافه‌شدن نسخه‌های متعدد رنگ‌ری (اضافه‌شدن فام‌های متنوع و

مدنظر او نزدیک است. روند رسیدن به نتیجه به این شکل است که سامانه به‌طور هوشمند از پایگاه دانشی که توسط خبرگان تهیه شده، نزدیک‌ترین فام در فرش دست‌باف پشمی به فام مدنظر را استنتاج می‌کند. در ادامه، این متخصص فرش برای رسیدن به اطمینان از رنگ انتخابی سامانه، سطح مقطع عرضی و طولی الیاف را نیز مشاهده کرده و اگر این مرحله هم مورد تأیید بود، ثبات این فام رنگی در برابر مالش، نور و شست‌وشو و نیز نسخه و گراف رنگ‌ری پیش روی کاربر قرار می‌گیرد. پس از تأیید نهایی کاربر و نمایش آن در فهرست کاربری، سامانه در خروجی خود گراف و نسخه رنگ‌ری به همراه مؤلفه‌ها و تصاویر سطح مقطع عرضی و طولی را به کاربر ارائه می‌دهد. البته شایان ذکر است، گاهی این وظیفه طراح است که رنگ انتخابی در زمان طراحی با رنگ نهایی فام در فرش مطابقت داشته باشد که این موضوع در جلوه فرش نهایی بسیار مؤثر است.

سامانه توسط متخصص دیگر، به گونه‌ای دیگر ارزیابی و بررسی شد. زمانی که کاربر از مسیر انتخاب فام رنگی نتوانست به جواب برسد و قانع شود، کاربر در صورت تمایل پرسش خود را از سامانه، از انتخاب رنگ‌زای شروع می‌کند و با وارد کردن رنگ‌زای مدنظر از سامانه می‌پرسد که استفاده از این رنگ‌زای، قابلیت تولید چه فام‌هایی را دارد. سپس، در روند رسیدن به نتیجه با انتخاب هر یک از فام‌های استنتاج شده توسط سامانه، وارد فضایی می‌شود که همچون متخصص اول می‌تواند سطح مقطع عرضی و طولی لیف رنگ شده و ثبات و مؤلفه رنگی و نیز نسخه، گراف رنگ‌ری را مشاهده کند و پس از تأیید نهایی داده‌های مدنظر با اعمال دستور چاپ، اطلاعات گراف و نسخه رنگ‌ری را از سامانه خارج کند.

کاربردهای سامانه خبره

با توجه به کاربردهای این سامانه پیش‌بینی کاربران این سامانه شامل، کلیه دست‌اندرکاران فرش و رنگ‌ران، به‌ویژه افراد تازه وارد و کم تجربه هستند. افزون بر این، کاربران احتمالی این سامانه خبره شامل موارد زیر است:

- (۱) تولیدکنندگان فرش در مناطق مختلف فرش‌بافی ایران،
 - (۲) بخش‌های آموزشی: اطلاعات موجود در این سامانه مبنای آموزش دانشگاه‌ها و آموزش‌کننده‌های فنی و حرفه‌ای و نیز پایه و مبنایی برای پژوهشی دیگر در این زمینه است،
 - (۳) خدمات: باعث احیا و رونق رنگ‌ری طبیعی و تولید با کیفیت فرش دست‌باف و حتی گرایش جوانان و دانش‌آموختگان این رشته به این صنعت شود،
 - (۴) مدیریت حرفه‌ای: به‌طور مطمئن ارائه نرم‌افزار جامع با اطلاعات نسخه و گراف رنگ‌ری طبیعی با الیاف پشم می‌تواند به مدیریت این حرفه از نظر کیفیت و بهینه‌سازی کمک بسیار شایانی داشته باشد.
- با توجه به معیارهای متعدد برای رنگ‌ری، به‌طور مطمئن استفاده از تجربه خبرگان در بهره‌گیری از این متغیرها برای رسیدن به فام مدنظر مهم است. بررسی تمام این عوامل برای شخص کم تجربه زمان زیادی می‌برد و بازیابی اطلاعات به خاطر سپرده برای یک متخصص نیز زمان‌بر و انرژی‌بر است. بنابراین، مهم‌ترین عامل انتخاب و رسیدن به نسخه رنگ‌ری مناسب از لحاظ فام رنگی و ثبات رنگی در کمترین

ترکیبی بسته به مناطق مختلف فرش بافی)، اضافه‌شدن ویرایش پیشرفته در سامانه، بهره‌گیری از پایگاه اینترنتی برای به روز کردن سامانه خبره

یا نرم‌افزار و ارائه خدمات جانبی می‌تواند این سامانه را به ابزاری قوی در صنعت رنگریزی طبیعی تبدیل کند.

مراجع

۱. شکری ل، خواجه مهریزی م، ضرورت بهره‌گیری از سامانه‌های خبره برای بهبود کیفیت تولید و استانداردسازی در فرش دست‌باف، سومین جشنواره ملی فرش برتر، موزه فرش ایران، ۱۳۹۲.
۲. گودرز م، امانی تهران م، محمدعلی مالک ر، مظاهری ف.م، روش‌های ساخت سامانه‌های هوشمند برای حل مشکلات رنگریزی منسوجات، هشتمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران، دانشگاه یزد، ۱۳۹۱.
3. Hussain T., Wardman R.H., and Shamey R., A knowledge-based expert system for dyeing of cotton. Part 1: Design and development, *Colour. Technol.*, 121, 53-58, 2005.
4. Goodarz M., Malek R. M.A., Amani Tehran M., and Mazaheri F.M., DDES: Dyeing diagnostic expert system for the textile coloration, *J. Text. Polym.*, 2, 7-14, 2014.
۵. گودرز م، محمد علی مالک ر، امانی تهران م، مظاهری ف.م، تهیه سامانه خبره تشخیص عیب برای فرایند رنگریزی پنبه، امیرکبیر، ۸۰-۷۱، بهار و تابستان ۱۳۸۸.
۶. همتی ن، امانی تهران م، صادقی ع.ج، سامانه خبره برای درجه‌بندی فرش ماشینی، امیرکبیر، ۹۷-۱۰۵، بهار و تابستان ۱۳۸۸.
7. Shamey R., Shim W.S., and Joines J.A., *Development of a diagnostic expert system for coloration of polyester materials*, PhD Thesis, North Carolina State University, 2009.
8. Majumdar A. and Ghosh A., Yarn strength modeling using fuzzy expert system, *J. Eng. Fibers Fabr.*, 3, 61-68, 2008.
9. Dlodlo N., Hunter L., Cele C., Botha A.F., and Metelerkamp R., A distributed systems approach to knowledge-based systems for the utilization of south African wool, *Autex Res. J.*, 9, 47-53, 2009.
۱۰. حبیبی پیرکوهی آ، شائمی برزکی ع، سیستم‌های خبره و کاربرد آن در مدیریت، سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت، تهران، ۱۳۸۴.

An Expert System for Providing Dyeing Recipe of Hand-made Woolen Carpet with Natural Dyes

Lotfollah Shokri¹ and Mohammad Khajeh Mehrizi^{*2}

1. Ardakan Carpet Department, Yazd University of Science and Art, Yazd, Iran
2. Department of Textile Engineering, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran

Received 3 March 2015; Accepted 7 May 2015

Abstract

Selection of the best dyeing recipe for yarn dyeing is one of the major concerns for the dyers in handmade carpet and textile industries. The purpose of this work is to develop expert system software for selection of the most appropriate dyeing recipe for handmade woolen carpet with natural dyes. Knowledge based data in this expert system is collected from different sources such as reference books, papers and experienced dyers. After forming the corresponding data-base and surveying the inference engine, Natural Dyes Expert System (NDES) was developed as artificial intelligent software. The system was designed using C # .net programming software in the Visual Studio platform and graphical methodology of WPF & Direct X. Knowledge data base of the system was created using SQL Server 2014 and also, LINQ technology was employed for connecting the system to the data-base. The system can advise users to choose the best initial dyeing recipe for dyeing wool fibers with natural dyes. The outcomes of the present research can be listed as helping inexperienced dyers, providing extensive information of natural dyes and also presentation of the dyeing recipe alongside with their final expected color fastness and properties.

Keywords

expert system,
knowledge base,
natural dyeing,
hand-made carpet

(*) Address Correspondence to M. Khajeh Mehrizi, Email: mkhajeh@yazd.ac.ir