در دسترس بصورت الکترونیک @ www.jscw.icrc.ac.ir

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۷، شماره ۱، (۱۳۹۶) ۲۷-۱۷

نشریه علمی ترویجی مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش

مروری بر آخرین تحقیقات درباره کاربردهای مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی، مواد خوراکی و سلول‌های خورشیدی

مژگان حسین‌نژاد[۱و۳]، کمال‌الدین قرنجیگ[۲و۳*]

۱- استادیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴.

۲- استاد، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴.

۳- قطب علمی رنگ، موسسه پژوهشی علوم و فناوری رنگ و پوشش، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵۴.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۹/۰۷ تاریخ بازبینی نهایی: ۹۶/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۳۰ در دسترس به‌صورت الکترونیک: ۹۶/۰۵/۰۱

چکیده

انواع زیادی از مواد رنگ‌دهنده مستخرج از منابع گیاهی، حیوانی و میکروبی با کاربردهای متنوع مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته‌اند. پژوهش‌های زیادی روی منابع رنگ‌دهنده طبیعی جدید همراه با فناوری‌های ارزان و سازگار با محیط زیست برای تولید و کاربرد گسترده در حوزه‌های مختلف در حال انجام است. این مقاله مروری بر آخرین پژوهش‌های انجام شده در حوزه کاربرد مواد رنگ‌دهنده طبیعی با تمرکز بر توسعه فناوری رنگرزی طبیعی منسوجات و پارچه‌ها، مواد رنگزای خوراکی و سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا است. در نهایت برخی کاربردهای جدید مواد رنگ‌دهنده طبیعی ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی

مواد رنگزای طبیعی، رنگرزی منسوجات، مواد رنگزای خوراکی، سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا.

چکیده تصویری

*نویسنده مسئول: gharanjig@icrc.ac.ir

Ministry of Science, Research and Technology
Institute for Color Science and Technology

Available online @ www.jscw.icrc.ac.ir

Journal of Studies in Color World, Vol. 7, No. 1, (2017) 17-27

نشریه علمی ترویجی
مطالعات در دنیای رنگ
Journal of Studies in Color World
www.jscw.icrc.ac.ir

Review of Recent Research into Application of Natural Dyes in Dyeing, Food and Dye-sensitized Sola Cells

Mozhgan. Hosseinnezhad[1, 3], Kamaladin. Gharanjig[2, 3*]
1)Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box. 16765-654., Tehran, Iran.
2)Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box. 16765-654., Tehran, Iran.
3) Center of Excellence for Color Science and Technology, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box. 16765-654., Tehran, Iran.

Abstract
Many types of colorants obtained from plants, animals and microbes sources have been investigated for their usage in different kinds of application. Much research into new natural colorants sources along with low cost and eco-friendly are in progress for their varied production and application in different domains. This paper present recent research performed in the area of application of natural colorants, with specific emphasis to technological development in natural textile and fabrics dyeing, food colorants and dye-sensitized solar cells. Finally, some newly discovered applications of natural colorants have been presented.

Keywords
Natural dyes, Textile dyeing, Food dyes, Dye-sensitized solar cells.

Graphical abstract

*Corresponding author: gharanjig@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

امروزه مواد رنگزای طبیعی برای کاربرد آن‌ها در رنگرزی منسوجات به ویژه پشم، ابریشم و کتان مورد توجه قرا گرفته‌اند [۱] اما با افزایش جمعیت و نگرانی‌های مربوط به ایمنی، محیط زیست و بهداشت، کاربردهای متنوعی از این ترکیبات طبیعی مورد توجه و پژوهش قرار گرفته است [۲]. استفاده از مواد رنگزای طبیعی حاصل از گیاهان (ریشه، ساقه، برگ، گل، میوه و دانه) و حشرات و صدف‌های دریایی از دوران باستان مرسوم بوده است. با تولید اولین ماده رنگزای مصنوعی در سال ۱۸۵۶ و تولید و کاربرد ساختارهای متنوعی از مواد رنگزای مصنوعی، استفاده از ترکیبات رنگ‌دهنده طبیعی محدود شد اما در دهه گذشته با افزایش توجه به ایمنی و حفظ محیط زیست، کاربرد مواد رنگزای طبیعی مورد توجه قرار گرفته‌اند [۳، ۴]. تاکنون بیش از ۱۵۰۰ ماده رنگزای طبیعی شناخته شده است که اغلب آن‌ها متعلق به طبقه کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها، فلاونویدها و آنتوسیانین‌ها هستند [۵]. مواد رنگ‌دهنده طبیعی توسط روش‌های مختلف از منابع گیاهی و حیوانی استخراج می‌شوند. این روش‌ها عبارتند از سوکسوله، استخراج به کمک امواج فراصوت، استخراج به کمک امواج ماکروویو، استخراج توسط مایعات فوق بحرانی و استخراج تسریع شده به کمک حلال‌ها [۶، ۷]. امروزه مواد رنگزای طبیعی دارای کاربردهای گسترده‌ای هستند که عبارتند از رنگرزی منسوجات [۲]، رنگ‌آمیزی مواد خوراکی و مواد آرایشی-بهداشتی [۱]، سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا [۸]، بافت‌شناسی [۹]، شناساگر pH [۱۰] و غیره (شکل ۱). در دهه گذشته گروه‌های تحقیقاتی متعددی در حال پژوهش بر روی کاربردهای نوین موادرنگزای طبیعی هستند. هدف این مقاله ارائه آخرین یافته‌های پژوهشگران درباره کاربردهای مواد رنگزای طبیعی است. از آنجا که پژوهشگران زیادی درحال تحقیق بر روی این موضوع بوده و کاربردهای جدید متنوعی برای مواد رنگزای طبیعی معرفی شده، در این مقاله تمرکز بر روی سه محور اصلی کاربرد مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی منسوجات، مواد خوراکی و سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا قرار داده شده است.

۲- استخراج مواد رنگزا

استخراج یکی از فرآیندهای انتقال توده بوده که به دو صورت مایع-مایع و جامد-مایع انجام می‌شود. در هر استخراجی باید تجهیزات، لوازم و مواد مصرفی را به گونه‌ای طراحی نمود که محصول با بالاترین کیفیت به دست آید. البته زمان نیز یک عامل اثرگذار بر کیفیت عصاره تولید شده است [۱۱]. زمان باید به گونه‌ای تنظیم شود که حداکثر عصاره با کمترین تخریب به دست آید. البته بهینه‌سازی زمان به منظور بهره‌وری انرژی باید درنظر گرفته شود. به عنوان مثال روش زمان‌بر و طولانی سوکسوله با روش‌های جدید جایگزین شود. دمای استخراج عامل مهم دیگری که باید مورد توجه قرار بگیرد. در دماهای بالا، گرانروی حلال کاهش یافته و سینتیک استخراج به دلیل افزایش نفوذ بالا می‌رود اما از طرف دیگر امکان تخریب در دماهای بالا، بیشتر است. در مجموع دمای استخراج با توجه به روش استخراج از ۵۰ °C تا ۲۲۰ °C متغیر است [۱۲]. موفقیت استخراج و روش به کار رفته وابسته به آماده‌سازی ماده اولیه است. برای این منظور اندازه ماده اولیه باید به گونه‌ای باشد که به راحتی در تماس با فاز مایع قرار بگیرد [۱۳]. استخراج مواد رنگزای طبیعی بسیار متغیر و حساس است بطوریکه ممکن است دو نمونه از یک گیاه که در دو منطقه متفاوت روئیده‌اند، دارای روش‌های استخراج متفاوت باشند [۱۴]. جدول ۱ مقایسه‌ای از روش‌های مرسوم استخراج و عوامل اثرگذار را نشان می‌دهد.

شکل ۱- کاربردهای مواد رنگزای طبیعی.

۳- رنگرزی منسوجات با استفاده از مواد رنگزای طبیعی

رنگرزی فرآیند جدایی‌ناپذیر و همواره در حال رشد صنعت نساجی است. نگرانی‌های زیست‌محیطی به دلیل توسعه پرسرعت صنعت نساجی و چرم سبب شده به مواد و فرآیندهای پاک توجه بیشتری شود [۱۵]. در ۱۵ سال گذشته تحقیقات متعددی درباره استفاده از مواد رنگزای طبیعی در فرآیند رنگرزی انجام شده است [۲]. رنگرزی طبیعی در پژوهش و صنعت به دلیل کاهش آلودگی آب، پایداری مواد خام و محصولات فرآوری شده، قابلیت تجزیه زیستی و دوستدار محیط‌زیست بودن مورد توجه قرار گرفته است [۱۶]. اغلب مطالعات بر روی روش‌های رنگرزی با استفاده از مواد رنگزای طبیعی، بهبود فرآیند استخراج، بهبود ثبات رنگ و استفاده از فناوری‌های جدید متمرکز شده است. هدف از این مطالعات دستیابی به فرآیندی با استفاده از مواد رنگزای طبیعی است که از لحاظ انرژی، هزینه‌های کلی و مواد زائد با روش‌های غیرطبیعی قابل رقابت باشد [۱۷].

جدول ۱- مقایسه روش‌های استخراج و عوامل اثرگذار [۱۲].

عوامل	سوکسوله	استخراج جامد- مایع	استخراج با امواج فراصوت	استخراج با امواج ماکروویو	استخراج با مایعات فوق‌بحرانی
کنترل‌پذیری	√	√	√	√	√
سهولت کاربرد	بسیار زیاد	بسیار زیاد	بسیار زیاد	متوسط	کم
نیروی کار	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	بسیار کم	کم
زمان آماده‌سازی نمونه					
زمان استخراج					
هزینه					
مقدار حلال آلی	بسیار زیاد	بسیار زیاد	متوسط	متوسط	کم
دوست‌دار محیط‌زیست بودن					
امکان مقیاس بالا	خیر	بله	بله	بله	بله
زمان استخراج	طولانی	طولانی	کوتاه	کوتاه	کوتاه
دما	اثرگذار	کم اثر	کم اثر	کم اثر	کم اثر

۳-۱- دندانه‌های طبیعی

معایب رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی، محدوده باریک فام و ثبات رنگی پایین آن‌ها است. یکی از راه حل‌های این نقص استفاده از دندانه‌ها می‌باشد. به‌علاوه تمایل ذاتی مواد رنگزا به لیف در حضور دندانه‌ها افزایش می‌یابد. استفاده از دندانه‌های مختلف سبب تیره یا روشن شدن فام یک ماده رنگزا بر روی لیف می‌شود. مشخصه‌های رنگی لیف رنگرزی شده وابسته به ساختار شیمیایی دندانه و توانایی تشکیل کمپلکس فلزی با ماده رنگزا بر روی لیف است [۱۸].

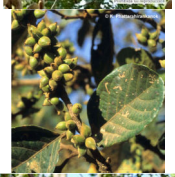
سامانتا و همکارانش در سال ۲۰۰۹ یک مطالعه جامع بر روی انواع مختلف دندانه‌ها، روش‌های مختلف دندانه دادن و اثر دندانه بر روی فرآیند رنگرزی طیف گسترده‌ای از الیاف انجام دادند. دندانه‌های مرسوم در رنگرزی طبیعی و غیرطبیعی شامل سولفات پتاسیم آلومینیم، دی‌کرومات پتاسیم، کلرید قلع، سولفات آهن و سولفات مس است. در میان این ترکیبات، سولفات آلومینیم و آهن سمیت کمتری دارند اما در مقابل استفاده از ترکیبات کرم و قلع بسیار خطرناک است. بهبود فرآیند دندانه‌دادن سنتی و معرفی ترکیبات جدید بخصوص مواد طبیعی به جای یون‌های فلزی سنگین بخش مهمی از توسعه رنگرزی طبیعی منسوجات است. [۱۹]. در سال ۲۰۱۱ ژانگ و همکارانش از نمک‌های کلرید طبیعی برای رنگرزی الیاف با مواد رنگزای طبیعی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که این ترکیبات به عنوان دندانه‌های طبیعی دوست‌دار محیط‌زیست عملکرد قابل قبولی دارند [۲۰]. برخی از دندانه‌های طبیعی با عملکرد مناسب در جدول ۲ آورده شده است. اگرچه دندانه دادن طبیعی با استفاده از ترکیبات طبیعی حاوی تانن و یا فلزات سنگین مانند مس و آلومینیم یک فرآیند جدید نیست اما مستندات تحقیقاتی دراین حوزه بسیار اندک است. تانن‌های طبیعی، ترکیبات پلی‌فنولیک محلول در آب

هستند که در قسمت‌های مختلف گیاهان مانند پوست درخت، میوه، غلاف میوه، برگ و ریشه وجود دارد. گروه هیدروکسیل فنولیک تانن‌ها سبب ایجاد پیوند بین لیف و ماده رنگزا و در نتیجه تثبیت ماده رنگزا بر روی کالا می‌گردد [۲۴]. کانینگهام و همکارانش [۲۵] بررسی دقیقی بر روی دلایل انتخاب گیاهان مختلف به عنوان دندانه در اندونزی و تاثیر آن بر روی فرهنگ و اقتصاد جامعه انجام دادند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که در انتخاب یک گیاه به عنوان دندانه علاوه بر دانش شیمی باید به فرهنگ و منابع هر منطقه توجه ویژه‌ای شود. تحقیقات گسترده برای انتخاب دندانه‌های طبیعی مناسب ادامه دارد به عنوان مثال کلروفیل استخراج شده از منابع گیاهی عملکرد مناسبی به عنوان دندانه نشان داده است [۲۷].

۳-۲- رنگرزی طبیعی

بشر، رنگرزی را قبل از ریسندگی و بافندگی یاد گرفته است. انسان‌های ماقبل تاریخ پوست و سایر لوازم خود را با مواد طبیعی و در بسیاری موارد با مواد گیاهی و حیوانی رنگ می‌کردند. شواهد نشان می‌دهد که رنگرزی برای اولین بار حدود ۲۵۰۰ سال قبل از میلاد در کشور هند شروع شده است و تا امروز ادامه دارد. رنگرزی با توجه به ساختار شیمیایی ماده رنگزای طبیعی در حمام‌های اسیدی، قلیایی و بی‌اثر انجام می‌گردد. به هرحال قبل از رنگرزی الیاف نیاز به شستشو، سفیدگری با عملیات شیمیایی دیگر است [۲۸، ۲].

جدول ۲- فهرست منابع طبیعی مورد استفاده به عنوان دندانه در رنگرزی طبیعی.

نام گیاه	دلیل استفاده به عنوان دندانه	تصویر	مرجع
اقاقیا Acacia	وجود تانن		[۲۱]
اسپیرالیس Spiralis	وجود تانن		[۲۲]
اکالیپتوس Eucalyptus	وجود تانن		[۲۳]
انار	وجود تانن		[۲۳]
سماق	وجود تانن		[۲۴]
تمرهندی	وجود تانن		[۲]
کورئوس Quercus	وجود آلومینیم		[۲۵]
پیریوس پاشیا Pyrus Pashia	وجود مس		[۲۶]

این تفکر که مواد رنگزای طبیعی دندانه‌ای هستند نادرست می‌باشد و برای رنگرزی با مواد رنگزای طبیعی از دندانه‌های طبیعی مانند اکالیپتوس، برگ چای، عصاره انار و غیره و یا دندانه‌های شیمیایی استفاده می‌شود [۲۹]. مواد رنگزای طبیعی براساس کاربرد به طبقه‌های اسیدی، بازیک، دیسپرسی و خمی تقسیم‌بندی می‌شوند [۲]. از آنجاکه رنگرزی الیاف پشم و ابریشم با مواد رنگزای طبیعی و مصنوعی به دلیل حضورگروه‌های آمینو پروتون‌دار مشابه است. الیاف پنبه دارای ساختار شیمیایی بر پایه گلوکز بوده که با مواد رنگزای راکتیو شیدهای مناسب با شفافیت بالا ایجاد می‌کنند. برای رنگرزی پنبه نیاز به مواد تعاونی ازجمله مواد سختی‌گیر و ضدشکستگی است. تمایل ذاتی پنبه به مواد رنگزای طبیعی اندک بوده بنابراین برای رنگرزی آن نیاز به دندانه‌دادن می‌باشد. برای این منظور می‌توان از دندانه‌های معدنی مانند زاج سفید، ترکیبات کرم، زاج سبز، زاج سیاه، نیکل و کبالت و یا دندانه‌های طبیعی استفاده نمود. نتایج تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که نه تنها خلوص مواد رنگزای طبیعی پایین نیست بلکه این ترکیبات می‌توانند الیاف را با همان استانداردهای مواد رنگزای مصنوعی رنگرزی کنند. برای مثال رنگرزی الیاف با حنا و روناس دارای خواص ثباتی خوبی است [۳۰]. چنانچه هدف در رنگرزی ایجاد یک فام مشخص باشد نمی‌توان با یک ماده رنگزای طبیعی به آن دست یافت اما با استفاده از مخلوط مواد رنگزای مختلف می‌توان به نتیجه دلخواه دست یافت. به عنوان مثال استادان رنگرز می‌دانند چگونه با استفاده از روناس، قرمزدانه و اسپرک فام‌های قرمز و زرد را تولید کنند [۱۱].

۴- کاربرد مواد رنگزای طبیعی در خوراکی‌ها

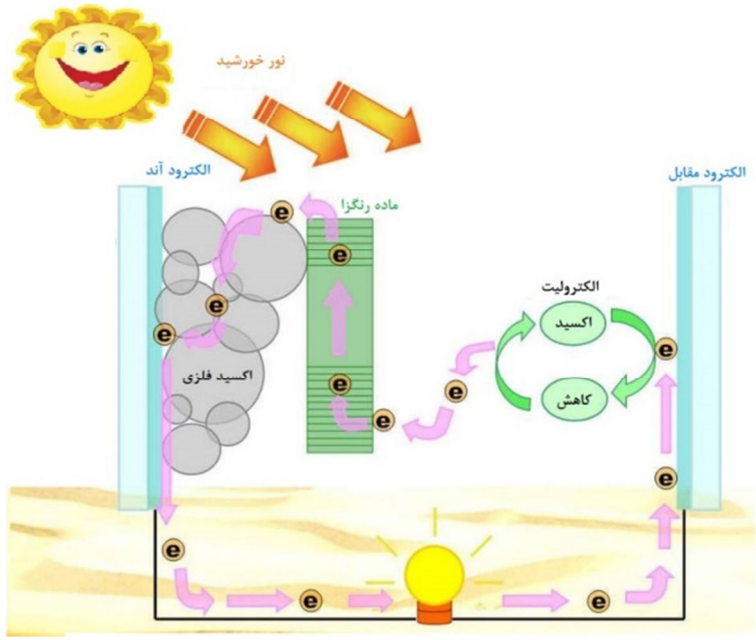
نگرانی‌های جهانی برای افزایش کیفیت و ایمنی مواد خوراکی سبب وضع قوانین و استانداردهای سختگیرانه‌ای توسط دولت و مسئولین بهداشت کشورها شده است. هر کشور دارای مقررات اختصاصی در مورد مواد افزودنی به ویژه ترکیبات رنگ دهنده به مواد خوراکی بوده و اغلب این مقررات و استانداردها از یک کشور به کشور دیگر متفاوت است. فشار این قوانین سبب شد که تولید مواد رنگ‌دهنده طبیعی به عنوان یک ضرورت در صنعت غذا و دارو برای ارتقا کیفیت سلامت جامعه مورد توجه قرار گیرد [۳۱]. استانداردهای لازم برای جمع‌آوری، استخراج، خالص‌سازی و پایدارسازی انواع مواد رنگزای طبیعی شامل آنتوسیانین‌ها، بتالین‌ها، کلروفیل‌ها، کاروتنوئیدها و تانن‌ها از سال ۲۰۰۴ آغاز و تا سال ۲۰۱۲ کامل گردید. با کاهش سالانه تعداد مواد رنگزای مصنوعی مورد قبول، محققان و صنعت‌گران به توسعه مواد رنگزای طبیعی توجه بیشتری نشان می‌دهند [۳۲]. دانهام و همکارانش [۳۳] چشم‌انداز توسعه مواد رنگزای طبیعی خوراکی را مورد بررسی قرار دادند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که رشد تولید و مصرف مواد رنگزای طبیعی خوراکی بسیار سریع‌تر از مواد رنگزای مصنوعی است و پیش‌بینی می‌شود که میزان مصرف مواد رنگزای طبیعی خوراکی در آمریکا در سال ۲۰۵۰ دوبرابر مواد رنگزای مصنوعی باشد. در حال حاضر نقص مواد رنگزای طبیعی، مهیا نمودن مواد اولیه و عدم پایداری عصاره تولید شده است. بسیاری از این ترکیبات به تغییرات pH، دما، نور و حتی اکسیژن حساس هستند. از این رو برخی مطالعات بر روی یافتن منابع جدید مواد رنگزای طبیعی خوراکی مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها و جلبک‌ها متمرکز شده است [۱۵]. اما بسیاری از تحقیقات درباره پایدارسازی مواد رنگزای طبیعی خوراکی انجام می‌شود. استفاده از مواد رنگزای خوراکی مزایای متعددی دارد. برای مثال، عصاره آنتوسیانین سبب کاهش خطر ابتلا به بیماری قلبی، سرطان و سکته مغزی می‌شود [۳۲] و کاروتنوئیدها منبع اصلی و ضروری ویتامین A است. بسیاری از مواد رنگزای طبیعی منبع مهم ترکیبات ضدسرطان است [۳۳]. بنابراین مواد رنگزای طبیعی خوراکی علاوه بر نقش اصلی خود یعنی بهبود کیفیت بصری محصولات غذایی سبب افزایش ارزش تغذیه‌ای مواد خوراکی و ارتقا سلامت عمومی می‌گردد. اگرچه بسیاری از استانداردها و فرآیندهای تولید مواد رنگزای طبیعی در سه دهه گذشته ارائه و تکمیل شده است اما هنوز تحقیقات برای معرفی نمونه‌های جدید و بهبود پایداری فیزیکی ادامه دارد [۳۴]. جدول ۳ فهرستی از مواد رنگزای طبیعی مورد قبول اتحادیه اروپا، سازمان غذا و دارو امریکا و ژاپن را ارائه می‌دهد.

۵- کاربرد مواد رنگزای طبیعی در سلول‌های خورشیدی

امروزه برای تولید انرژی از سوخت‌های فسیلی مانند زغال‌سنگ، نفت خام و گاز طبیعی و سوخت‌های هسته‌ای استفاده می‌شود. این منابع از یک طرف پایان‌پذیر و از طرف دیگر آلاینده محیط‌زیست هستند. بنابراین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر و دوستدار محیط‌زیست گزینه مناسب برای جایگزینی آن‌ها هستند [۳۵]. در میان منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، خورشید مهم‌ترین و دردسترس‌ترین بوده که با تبدیل یک ساعت انرژی خورشیدی تابیده شده به زمین، کل انرژی مورد نیاز برای یک سال فراهم می‌شود [۳۶]. فناوری سلول‌های خورشیدی که در سال ۱۹۹۱ توسط گراتزل ارائه شد یک روش ارزان قیمت و پاک برای استفاده از انرژی خورشیدی بوده که از فتوسنتز گیاهان الهام گرفته است. این افزاره‌ها در شرایط کم نور کار می‌کنند و عملکرد آن‌ها وابسته به دما نیست. سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا دارای اجزاء پیوسته‌ای بوده که عبارتند از: ۱- الکترود آند که نقش جمع‌آوری کننده الکترون را بر عهده دارد، ۲- ماده رنگزای حساس به نور که تولیدکننده الکترون با جذب نور فرودی است، ۳- الکترولیت که الکترون مورد نیاز برای بازگشت ماه رنگزا به حالت پایه را فراهم می‌کند و ۴- الکترو مقابل که برای تکمیل مدار تولید الکتریسته استفاده می‌شود.

جدول ۳- فهرست مواد رنگزای مورد قبول اتحادیه اروپا، سازمان غذا و دارو امریکا و ژاپن [۱۵].

نام در اتحادیه اروپا	نام در آمریکا و ژاپن	فام	تصویر
کارکامین Curcumin	تورمریک	زرد	
ریبوفلاوین Riboflavin	ریبوفلاوین	زرد	
کارمینیک اسید Carminic acid	کارمین	صورتی تا قرمز	
کلروفیل Chlorophyll	کلروفیل	سبز کم‌رنگ تا زیتونی	
کلروفیلین Cholorophyllin	سدیم کلروفیلین	سبز تیره	
کارامل Caramel	کارامل	قهوه‌ای	
بیکسین Bixin	آناتو	نارنجی مایل به قرمز	
لوتین Lutein	-	زرد مایل به نارنجی	
آنتوسیانین Anthocyanin	انوسیانین	گستره وسیعی از فام‌ها از صورتی تا آبی	



شکل ۲- تصویر شمایی سلول خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا [۳۶].

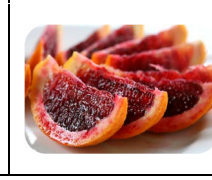
تصویر شمایی سلول خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا در شکل ۲ نشان داده شده است [۳۵]. مواد رنگزا بخش اصلی این افزاره‌ها بوده و بالاترین بازده تبدیل برای سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا با استفاده از کمپلکس‌های روتنیم[1] بدست آمده است اما محدودیت دسترسی، هزینه‌های بالا و اثرات نامطلوب محیط‌زیستی این ماده رنگزا سبب شده تا تحقیقات زیادی برای جایگزینی آن انجام شود [۳۷].

مطالعات زیادی در مورد کاربرد مواد رنگزای طبیعی مانند آنتوسیانین‌ها، تانن‌ها، کلروفیل‌ها، فلاونوئیدها و کاروتنوئیدها در سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا انجام شده است. اگرچه مواد رنگزای طبیعی عملکرد ضعیفتری نسبت به ترکیبات شیمیایی دارند اما در مقابل به راحتی دردسترس بوده و بسیار ارزان قیمت هستند [۸]. ضعف عملکرد مواد رنگزای طبیعی در سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به دلیل اتصال ضعیف آن‌ها با فیلم اکسید فلزی و در نتیجه انتقال ضعیف بار است. مواد رنگزای طبیعی فاقد گروه اسیدی هستند. در میان انواع اکسیدهای فلزی بکار رفته در این افزاره بهترین عملکرد مربوط به دی‌اکسید تیتانیم است [۳۷، ۳۸]. هرا و همکارانش عملکرد ده ماده رنگزای طبیعی را به صورت تئوری در ساختار سلول‌های خورشیدی حساس‌شده مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که مواد رنگزای طبیعی حاوی متوکساتین[2] بهترین عملکرد را دارند [۳۹]. یامازاکی و همکارانش عملکرد کاروتنوئیدهای طبیعی و کروستین‌ها[3] در سلول‌های خورشیدی مورد مطالعه قرار دارند و نتایج نشان داد که کروستین به دلیل حضور کربوکسیلیک اسید عملکرد بهتری دارد. بعلاوه دما و حلال استخراج و pH محلول نقش بسیار مهمی در تعیین کارایی و ثبات سلول خورشیدی دارد [۴۰]. منگ و همکارانش از نانو سیم دی‌اکسید تیتانیم حساس‌شده به سیانیدین طبیعی به عنوان فوتوآند[4] استفاده نمودند و بازده بالاتری نسبت به نانو ذرات کروی به دست آوردند [۴۱]. فروکاوا و همکارانش سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزای طبیعی کلم قرمز، زردچوبه، رز قرمز و مخلوط آن‌ها را تهیه و بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بازده تبدیل سلول خورشیدی تهیه شده با استفاده از مخلوط کلم قرمز و زردچوبه بالاترین بازده را نشان می‌دهد. به‌علاوه آنها نشان دادند که هزینه ساخت سلول خورشیدی حساس‌شده به ماده رنگزای به دست آمده از کلم قرمز ۵۰ مرتبه کمتر از کمپلکس روتنیم است [۴۲]. تاکنون بالاترین بازده تبدیل برای ماده رنگزای استخراج شده از ترپچه بوده که معادل ۲/۷۱٪ می‌باشد [۴۳].

عملکرد مواد رنگزای طبیعی در سلول‌های خورشیدی برای کاربردهای تجارتی پایین است اما بازده این ترکیبات تحت تاثیر شرایط استخراج و نوع اکسید فلزی می‌باشد. بنابراین تحقیقات برای بهینه‌کردن شرایط و بهبود بازده آن‌ها همچنان ادامه دارد [۴۲، ۴۴]. ویژگی‌های فوتوولتائیک برخی مواد رنگزای طبیعی در جدول ۴ آورده شده است.

[1] Ruthenium
[2] Methoxatin
[3] Crocetin
[4] Photoanode

جدول ۴- ویژگی‌های فوتوولتائیک برخی مواد رنگزای طبیعی در سلول خورشیدی.

نام	تصویر	J_{sc} (mA cm^{-2})	V_{oc} (V)	FF	η (%)	مرجع
اسفناج		۰/۳۵	۰/۴۴	۰/۴۹	۰/۰۸	[۴۵]
انار		۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۴۵	۱/۵۰	[۴۴]
زرشک		۴/۶۵	۰/۴۳	۰/۴	۰/۸۰	[۴۶]
بلوبری		۶/۲۰	۰/۴۷	۰/۳۶	۱/۰۴	[۴۴]
تمشک		۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۲۸	[۴۷]
انگور سیاه		۹/۰	۰/۵۹	۰/۵۴	۱/۵۰	[۴۴]
پرتقال خونی		۵/۲۰	۰/۵۴	۰/۴۴	۱/۲۳	[۴۴]

۶- دلایل اقتصادی استفاده از مواد رنگزای طبیعی

استفاده از مواد رنگزای طبیعی نتایج اقتصادی و اجتماعی متعددی درپی دارد که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: ۱- توسعه و احیای زمین‌های بایر و کشت گیاهانی که مصرف صنعتی دارند: ایران کشوری چهار فصل بوده که دارای طبیعت و آب و هوای مناسب برای رشد و نمو انواع گیاهان منابع طبیعی است. البته دانش استفاده از گیاهان در مصارف مختلف دارویی، خوراکی و صنعتی از دیرباز در ایران وجود داشته است. بنابراین با برنامه‌ریزی دقیق و شناخت امکانات و ظرفیت‌های موجود در کشور می‌توان بسیاری زمین‌های بایر را به صورت هدفمند زیر کشت گیاهان مناسب و سودده برد. ۲- ایجاد اشتغال: ایران جزء ۲۵ کشور جوان جهان است که دارای نیروی فراوان کاری می‌باشد. با ترویج کشت گیاهان صنعتی می‌توان بستری برای فعالیت و ایجاد اشتغال فراهم نمود. ۳- جلوگیری از آلودگی‌های ناشی از کاربرد مواد شیمیایی: کشت گیاهان صنعتی در زمین‌های بایر سبب افزایش فضای سبز و کاهش آلودگی هوا

می‌شود و از طرفی به صورت مستقیم سبب ارتقا کیفیت سلامت جامعه می‌گردد. از دیدگاه بهداشتی استفاده از مواد طبیعی سبب ایجاد حساسیت‌های پوستی و تنفسی ناشی از کاربرد مواد شیمیایی نمی‌شود و هیچگونه خطر سرطان‌زایی ندارد. ۴- صرفه‌جویی ارزی و ارزش صادراتی: مهم‌ترین کالای صادراتی کشور ما ایران بعد از نفت، فرش و سایر دستبافت‌ها است. بنابراین تولید مواد اولیه داخلی و بومی‌سازی آن‌ها علاوه بر خاص‌کردن محصول و جذب بازار جهانی مانع از خروج ارز برای تهیه مواد رنگزای مصنوعی می‌گردد [۴۸].

۷- نتیجه‌گیری

مواد رنگزای طبیعی به دلیل قیمت پایین، عدم سمیت، دردسترس بودن منابع و حداقل اثرات محیط‌زیستی توجه جامعه علمی را برای استفاده در فناوری‌های جدید و کارامد به خود جلب کرده است. اگرچه در دهه گذشته کاربرد مواد رنگزای طبیعی رشد قابل توجهی داشته است و بسیاری از جزئیات استخراج و کاربرد آن‌ها شناخته شده است اما هنوز چالش‌هایی برای تجاری‌سازی و کاربرد انبوه آن‌ها وجود دارد. مهم‌ترین چالش‌ها بهبود فرآیند استخراج و کاهش هزینه‌های آن برای تجاری سازی است. مواد رنگزای طبیعی کاربردهای گسترده‌ای در رنگرزی منسوجات، مواد خوشبوکننده، سلول‌های خورشیدی حساس‌شده به مواد رنگزا، مواد آرایشی-بهداشتی، داروها، مواد خوراکی، بافت شناسی، شناساگر pH، ضدفرابنفش کردن منسوجات و ضدمیکروبی کردن الیاف دارد. در این مقاله به کاربرد مواد رنگزای طبیعی در رنگرزی منسوجات با دندانه‌های طبیعی، مواد خوراکی و سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا پرداخته شده است. استفاده از دندانه‌ها سبب گسترده شدن فام‌های ایجاد شده بر روی کالا شده و کاربرد دندانه‌های طبیعی مانع از تولید پساب‌های سمی و ایجاد حساسیت‌های پوستی می‌گردد. کاربرد مواد رنگزای طبیعی در صنایع مواد خوراکی سبب بهبود سلامت جامعه شده و علاوه بر اینکه حساسیت‌ها و مسمومیت‌های ناشی از استفاده از ترکیبات شیمیایی را ندارد مواد مغذی مورد نیاز بدن را نیز فراهم می‌کند. کاربرد مواد رنگزای طبیعی در سلول‌های خورشیدی سبب کاهش قیمت چشمگیر این افزاره‌ها می‌گردد. بالاترین بازده تبدیل برای مواد رنگزای طبیعی در سلول خورشیدی مربوطه به تربچه و معادل ۲/۷۱٪ است.

۸- مراجع

۱. س. میرنژاد، س. صفاپور، م. صادقی کیاخانی، "مروری بر خواص و کاربردهای رنگ طبیعی قرمز دانه در صنایع مختلف"، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۴، ۴۶-۳۳، **۱۳۹۴**.

2. A. Kumar Samanta, P. Agaruval, "Application of natural dyes on textile", Indian J. Fiber Text. Res. 34, 384-399, **2009**.

3. I. Holme, "Sir William Henry Perkin: a review of his life, work and legacy", Color. Technol. 122, 235-251, **2006**.

4. M. Mirjalili, K. Nazarpoor, L. Karimi, "Eco-friendly dyeing of wool using natural dye for weld as co-partner", J. Clean. Prod. 19, 1045-1051, **2011**.

۵. م. غفارزاده، م. ادریسی، "مروری بر رنگدانه‌های طبیعی و روش استخراج آن‌ها"، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۶، ۸۲-۶۳، **۱۳۹۴**.

6. M. A. M. Al-Alwani, A. B. Mohamad, A. H. Kadhum, N. A. Ludin, "Effect of solvent on the extraction of natural pigments and adsorption on TiO_2 for dye-sensitized solar cells application", Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc. 138, 130-137, **2015**.

7. M. B. Kasiri, S. Safapour, "Exploring and exploiting plants extracts as the natural dye/antimicrobials in textiles processing", Prog. Color Colorants Coat. 8, 87-114, **2015**.

۸. م. حسین‌نژاد، ک. قرنجیگ، "مروری بر مواد رنگزای طبیعی مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی نانوساختار"، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۴، ۸۸-۸۱، **۱۳۹۳**.

9. E. Tousson, B. Al. Behbehani, "Black mulberries (Morus nigra) as a natural dye for animal tissues staining", Anim. Biol. 61, 49-58, **2011**.

10. P. K. Mishra, P. Singh, K. K. Gupta, H. Tiwari, P. Srivastava, "Extraction of natural dye from Dahlia variabilis using ultrasound", Indian J. Fiber. Text. Res. 37, 83-86, **2012**.

۱۱. د. امیری، "رنگرزی طبیعی"، انتشارات شباهنگ، تهران، **۱۳۸۶**.

12. J. Duval, V. Pecher, M. Poujol, E. Lesellier, "Research advances for the extraction, analysis and uses of anthraquinones: A review", Ind. Crops Prod. 94, 812-833, **2016**.

13. S. Genovese, F. Tammaro, L. Menghini, G. Carlucci, F. Epifano, M. Locatelli, "Comparison of three different extraction methods and HPLC determination ofthe anthraquinones aloe-emodine, emodine, rheine, chrysophanol andphyscione in the bark of Rhamnus alpinus L. (Rhamnaceae)", Phytochem. Anal. 21, 261–267, **2010**.

14. T. Bechtold, R. Mussak, "Handbook of natural colorants", Willey & Sons, New York, **2009**.

15. M. Shahid, S. Islam, F. Mohammad, "Research advances in natural dye application: A review", J. Clean. Prod. 53, 310-331, **2013**.

16. T. Bechtold, A. Mahmud-Ali, S. Komboonchoo, "Sustainable dyes from agri-food chain co-products", RSC Publishing, Cambridge, pp. 211-218, **2009**.

17. N. Nasirzadeh, H. Dehghanizadeh, M. E. Yazdanshanas, M. R. Moghadam, A. Karimi, "Optimization of wool dyeing with ruthin as natural dye by central composite design method", Ind. Crop. Prod. 40, 361-366, **2012**.

18. R. C. Tang, H. Tang, C. Yang, “Adsorption isotherms and mordant dyeing properties of tea polyphenols on wool, silk and nylon”, Ind. Eng. Chem. Res. 49, 8894-8901, **2010**.
19. A. K. Samanta, P. Agarwal, “Application of natural dyes on textiles”, Indian J. Fiber Text. Res. 34, 384-399, **2009**.
20. G. H. Zheng, H. B. Fu, G. P. Liu, “Application of rare earth as mordant for the dyeing of ramie fabrics with natural dyes”, Korean J. Chem. Eng. 28, 2148-2155, **2011**.
21. H. F. Mansour, S. Heffeman, “Environmental aspects on dyeing silk fabric with sticta coronate lichen using ultrasonic energy and mild mordants”, Clean Technol. Environ. Policy 13, 207-213, **2011**.
22. K. Sachan, V. P. Kapoor, “Optimization of extraction and dyeing conditions for traditional turmeric dye”, Indian J. Tradit Knowl. 6, 270-278, **2007**.
23. S. N. Chattopadhyay, N. C. Pan, A. K. Roy, S. Saxena, A. Khan, “Development of natural dyed jute fabric with improved colour yield and UV protection characteristic”, J. Text. Institu. 104, 808-818, **2013**.
24. S. Bruni, V. Guglielimi, F. Pozzi, A. M. Mercuri, “Surface enhanced raman spectroscopy (SERS) on silver colloids for the identification of ancient textile dyes part II: pomegranate and sumac”, J. Raman Spectrosc. 42, 465-473, **2011**.
25. A. B. Cunningham, I. M. Maduarta, J. Howe, S. Ingram, “Hanging by a thread: natural metallic mordant processes in traditional Indonesian textiles”, Econ. Bot. 65, 241-259, **2011**.
26. P. S. Vankar, R. Shanker, “Eco-friendly pretreatment of silk for dyeing with Delonix regia extract”, Color. Technol. 125, 155-160, **2009**.
27. A. Guesmi, N. B. Hamadi, N. Ladhari, F. Sakli, “Dyeing properties and color fastness of wool dyed with indicaxantin natural dye”, Ind. Crop. Prod. 37, 493-499, **2012**.
28. V. Moody, H. L. Needles, “Tufted carpet: dyes, finishes and processes”, 3th edition, United States, William Andrew Publishing, **2004**.
29. M. Yusuf, F. Mohammad, M. Shabbir, “Eco-friendly and effective dyeing of wool with anthraquinone colorants extracted from rubia cordifolia roots: optimization, colorimetric and fastness assay”, J. King Saud Univ. In Press, **2016**.
30. M. Yusuf, M. Shahid, M.I. Khan, S.A. Khan, M.A. Khan, F. Mohammad, “Dyeing studies with henna and madder: a research on effect of tin(II) chloride mordant”, J. Saud Chem. Soc. 19, 64-72, **2015**.
31. T. Dawson, “It must be green: meeting society’s environmental concerns”, Color. Tchnol. 124, 67-78, **2008**.
32. R. E. Wrolstad, “Pigment bioactivity and coloring properties”, J. Food Sci. 51, 45-61, **2014**.
33. A. Dawnham, P. Collins, “Colouring our food grade pigments”, Food Technol. Biotechnol. 44, 313-321, **2000**.
34. F. C. Stintzing, R. Carle, “Betalains emerging prospects for food scientists”, Trends Food Sci. Technol. 18, 514-525, **2007**.
۳۵. م. حسین‌نژاد، "مروری فوتوالکترودهای نانوساختار مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا"، نشریه علمی- ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۴، ۱۴-۳، **۱۳۹۴**.
36. N. S. Lewise, D. G. Nocera, “Powering the planet: chemical challenges in solar energy utilization”, Proc. Natl. Acad. 103, 15729-15735, **2006**.
37. H. Zhou, L. Wu, Y. Gao, T. Ma, “Dye-sensitized solar cells using 20 natural dyes as sensitizers”, J. Photochem. Photobiol. 219, 188-194, **2011**.
38. A. Lim, P. Ekanayake, L.B.L. Lim, J. M.R. Sarath Bandara, “Co-dominant effect of selected natural dye sensitizers in DSSCs performance”, Spectrochim Acta A, 167, 26-31, **2016**.
39. T. R. Herra, L. Vindrella, “Molecular orbital evaluation of charge flow dynamics in natural pigmrnt based photosensitizers”, J. Mol. Model. 16, 523-533, **2010**.
40. E. Yamakazi, M. Murayama, N. Nishikawa, N. Hashimoto, M. Shoyama, O. Kurita, “Utilization of natural carotenoids as photosensitizers for dye-sensitized solar cells”, Sol. Energy 81, 512-516, **2007**.
41. S. Meng, J. Ren, E. Kaxiras, “Natural dyes adsorbed on TiO_2 nanowire for photovoltaic applications: enhanced light absorption and ultrafast electron injection”, Nano Lett. 8, 3266-3272, **2008**.
42. S. Furukawa, H. Lino, T. Iwamoto, K. Kukita, S. Yamauchi, “characteristics of dye-sensitized solar cells using natural dyes”, Thin Solid Films 518, 526-529, **2009**.
43. C. Sandquist, J. L. Mcltale, “Improved efficiency of betanin bases dye-sensitized solar cells”, J. Photochem. Photobiol. A.: Chem. 221, 90-97, **2011**.
44. J. Gong, K. Sumathy, Q. Qiao, Z. Zhou, “Review on dye-sensitized solar cells (DSSCs); advanced techniques and research trends”, Renew. Sustainable Energy Rev. 68, 234-246, **2017**.
45. R. Syafinar, N. Gomesh, M. Irwanto, M. Fareq, “Chlorophyll pigments as nature based dye for dye-sensitized solar cells”, Energy proc. 79, 896-902, **2015**.
46. C. C. Pablo, R. Enrique, A. R. Jose. M. Enrique, L. Juan, N. A. Eddie, “Construction of dye-sensitized solar cells (DSSC) with natural pigment”, Adv. Function. Mater. 3, 194-200, **2016**.
47. M. Hosseinnezhad, S. Moradian, K. Gharanjig, “Natural dyes extracted from black carrot and bramble for dye-sensitized solar cells”, Prog. Color Colorants Coat. 8, 153-158, **2015**.
۴۸. و. جهانشاهی افشار، "فرآیند و روش‌های رنگرزی الیاف با مواد طبیعی"، انتشارات دانشگاه هنر، تهران،۲۳-۲۲، **۱۳۸۵**.