

ساختار مو و مکانیسم های رنگ کردن: از اصول علمی تا کاربرد

یاسین رامین، موسی صادقی کیاخانی، فرهاد عامری

مقاله پژوهشی

JSCW-2504-1229

تاریخ دریافت: ۱۳۰۳-۱۴۰۴

تاریخ اصلاح: ۰۵-۱۴۰۴-۲۶

تاریخ پذیرش: ۰۶-۱۴۰۴-۱۴

خواهشمند است این مقاله به صورت زیر در مراجع قید شود:

ی. رامین، م. صادقی کیاخانی، ف. عامری، " ساختار مو و مکانیسم های رنگ کردن: از اصول علمی تا کاربرد"، نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ JSCW-2504-1240، 1404. این فایل PDF مقاله ویرایش نشده است که برای چاپ پذیرفته شده است. ماکت مقاله توسط دفتر نشریه مطالعات در دنیای رنگ تهیه شده و قبل از چاپ ویرایش نهایی به نویسنده مسئول مقاله ارسال می شود.

ساختار مو و مکانیسم‌های رنگ کردن: از اصول علمی تا کاربرد

یاسین رامین^۱، موسی صادقی کیاخانی^{۲*}، فرهاد عامری^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵، ایران.

۲- دانشیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

۳- دانشیار، گروه پژوهشی دوباره تولید و کنترل رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

* Sadeghi-mo@icrc.ac.ir; fameri@icrc.ac.ir

چکیده:

با وجود سابقه ۱۵۰ ساله استفاده از رنگ‌موهای صنعتی در جهان، دانش فنی و تحقیقات علمی در این حوزه در ایران بسیار محدود است. متأسفانه تاکنون پژوهش‌های منسجم و کاربردی بر روی فرمولاسیون و ترکیبات رنگ‌مو در کشور انجام نشده و تولیدکنندگان عمدتاً به تکثیر فرمول‌های آماده بسنده کرده‌اند. در حالی که صنعت جهانی با سرعت بالا در حال تحول است و به سمت تولید طیف‌های رنگی نوین و فناوری‌های دوست‌دار محیط زیست حرکت می‌کند، در ایران همچنان تمرکز اصلی بر فام‌های پایه مانند مشکی، قهوه‌ای و قرمز باقی مانده است. این مقاله در دو بخش اصلی تحلیل ساختار مو به عنوان بستر اصلی فرآیند رنگ کردن، بررسی مکانیسم‌های مختلف رنگ‌موها و شیوه عملکرد آنها به بررسی علمی این صنعت می‌پردازد. با درک دقیق این مبانی، می‌توان به روش‌های بهینه اعمال رنگ و توسعه فرمولاسیون‌های جدید دست یافت. تأکید این مقاله بر لزوم توسعه دانش بومی و فناوری‌های نوین در صنعت رنگ‌مو است تا ایران نیز بتواند همگام با پیشرفت‌های جهانی به تولید محصولات متنوع، ایمن و باکیفیت دست یابد.

واژه‌های کلیدی: رنگ مو، رنگ موقت، رنگ نیمه دائمی، رنگ دائمی.

Hair Structure and Coloring Mechanisms: From Scientific Principles to Application

Yasin Ramin¹, Mousa Sadeghi-Kiakhani^{1*}, Farhad Ameri^{3*}

1- Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, Tehran, Iran

2- Department of Color Physics, Institute for Color, Science and Technology, Tehran, Iran

* sadeghi-mo@icrc.ac.ir; fameri@icrc.ac.ir.

Abstract

Despite 150 years of industrial hair dye use worldwide, technical expertise and scientific research in this field remain highly limited in Iran. Unfortunately, no comprehensive or applied studies have been conducted on the formulation and composition of hair dyes in the country, and manufacturers primarily rely on replicating ready-made formulas. While the global industry is rapidly evolving-advancing toward innovative color spectrums and cutting-edge technologies-Iran's focus remains confined to basic hues such as black, brown, and red. This article scientifically examines the industry in two main sections:

1. Analyzing hair structure as the foundational substrate for dye absorption.
2. Investigating the mechanisms of various hair dyes and their modes of action.

A precise understanding of these fundamentals can lead to optimized dye application methods and the development of novel formulations. The paper emphasizes the need for domestic knowledge development and advanced technologies in the hair dye industry, enabling Iran to keep pace with global advancements and produce diverse, safe, and high-quality products.

Keywords: Hair Colorant, Temporary Color, Semi-Permanent Color, Permanent Color.

۱- مقدمه

رنگ کردن مو یکی از موثرترین تغییرات ظاهری در دنیای آرایش و زیبایی می-باشد و به گونه ای است که با تغییر رنگ مو، اثر شگرفی، هم بر روی مو، حتی رنگ پوست پیشانی و صورت ایجاد می-گردد. انسان از نمایش چهره خود که رو به پیری می رود، بیزار است و تمام هم و غم آن ابتدا حفظ و بازگشت موهای خود است و در مرحله بعدی با تغییر رنگ آن هم جوانتر شود و هم ظاهری متمایز داشته باشد. مو از مهمترین عامل های جذابیت انسان است. بنابراین، به آن به عنوان عامل حیاتی زیبایی و کم سن نشان دادن خود تمرکز دارد. از سوی دیگر، مو در فرهنگ های مختلف نمادهای متفاوتی دارد، از جمله در قدرت یا هویت دینی؛ تحلیل سلامت و بیماری ها، تشخیص قرار گرفتن در معرض مواد سمی و تجزیه و تحلیل DNA مورد استفاده می شود.

این مقاله با رویکردی علمی و نظام مند به بررسی ساختار مو و مکانیسم های رنگ پذیری آن می پردازد که پیش از این در ادبیات پژوهشی داخلی به صورت جامع مورد مطالعه قرار نگرفته بود. نوآوری اصلی این تحقیق، تدوین یک چارچوب تحلیلی یکپارچه است که دانش پایه در مورد مو را با فناوری های نوین رنگ مو ترکیب می کند. این رویکرد نه تنها شکاف دانشی موجود در حوزه علوم آرایشی-بهداشتی ایران را پر می کند، بلکه با ارائه مبانی علمی قابل اعتماد، به استفاده کنندگان (از مصرف کنندگان تا تولیدکنندگان) کمک می کند تا تصمیم های آگاهانه تری در انتخاب و به کارگیری رنگ موها اتخاذ نمایند. این پژوهش می تواند زمینه ساز توسعه فرمولاسیون های بومی و کاهش وابستگی به فناوری های وارداتی باشد.

۲- فیزیولوژی، ساختار و رویش مو

۲-۱ معرفی مو

یکی از ویژگی های بارز پستانداران داشتن مو است که نقش های متعددی از جمله محافظت، تنظیم دما، و زیبایی شناسی را ایفا می کند. مو یک ساختار فیلامانی پیچیده است که از پروتئین های کراتینی تشکیل شده و به طور مداوم در چرخه های رشد و ریزش بازسازی می شود. این ساختار نه تنها از نظر بیولوژیکی اهمیت دارد، بلکه از دیدگاه فرهنگی و اجتماعی نیز جایگاه ویژه ای در جوامع مختلف دارد. در این بخش، به معرفی کلی مو، اجزای ساختاری و اهمیت آن پرداخته می شود (۱ و ۲).

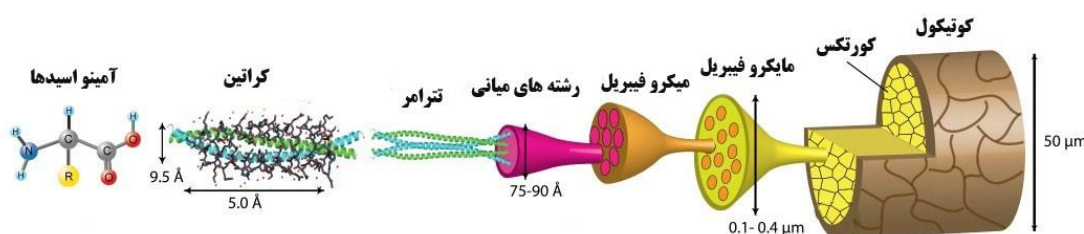
۲-۲ تعریف و نقش مو

مو یک ساختار فرعی یا ضمیمه پوستی است که از فولیکول های مو در لایه درم پوست رشد می کند. موها در انسان و سایر پستانداران وظایف متعددی دارند که عبارتند از:

- **محافظت:** موهای سر از پوست در برابر اشعه UV، آسیب های مکانیکی و تغییرات دمایی محافظت می کنند.
- **تنظیم دما:** در حیوانات، مو به عنوان عایق حرارتی عمل می کند، اما در انسان این نقش کمتر برجسته است.
- **حس لامسه:** فولیکول های مو با اعصاب حسی مرتبط هستند و به تشخیص تغییرات محیطی کمک می کنند.
- **زیبایی و هویت:** مو در انسان نقش مهمی در ابراز هویت، فرهنگ و مد دارد و از طریق رنگ، مدل و بافت، تنوع گسترده ای را نشان می دهد (۳ و ۴).

۲-۳ ساختمان مو

ساختمان مو شامل بخش های مدولا، کورتکس، کوتیکول و مقداری پروتئین یا پلی پپتید می باشد (شکل ۱).



شکل ۱. ساختمان مو

Figure 1. Hair structure

کوتیکول: لایه خارجی ساقه مو، نازک و بی رنگ است. این، به عنوان محافظت از مو عمل می کند.
کورتکس: لایه میانی ساقه مو که استحکام، رنگ و بافت الیاف مو را تامین می کند. نزدیک به ۹۰ درصد وزن کل مو را تشکیل می دهد. ساختار سلولی کشیده ای دارد که توسط یک ماده فیبری به یکدیگر متصل شده و به استحکام و حالت ارتجاعی مو کمک می کند. این لایه، همچنین حاوی رنگدانه (ملانین) است که به موها رنگ طبیعی می دهد.

مقاله پذیرفته شده

مدولا: عمیق ترین لایه ساقه مو، فقط در موهای بزرگ و ضخیم دیده می شود. به آن مغز مو نیز گفته می شود. این لایه از سلول های گرد تشکیل شده است. موهای طبیعی بلوند و باریک عموماً مدولا ندارند. مغز مو از هر نوع اقدام آرایشی و مراقبتی بر روی مو در امان است. مطابق شکل ۱ ساختار مو از کوچک ترین اجزا یعنی آمینو اسیدها شروع می شود. این آمینو اسیدها واحدهای سازنده ای هستند که با پیوند به یکدیگر، زنجیره های پپتیدی را تشکیل می دهند. زنجیره های پپتیدی در نهایت ساختارهای پروتئینی به نام کراتین را می سازند؛ کراتین همان پروتئین اصلی موجود در مو است که به صورت مارپیچ های دو رشته ای آرایش می یابد. این ساختار مارپیچی به کراتین قدرت کشسانی و مقاومت اولیه می دهد و سبب می شود مو خمیده و کشیده شود بدون اینکه به راحتی پاره یا شکسته شود (۴-۶).

در گام بعد، این ساختارهای مارپیچی کراتین در کنار هم قرار می گیرند و تترامرها را ایجاد می کنند. هر تترامر حاصل تجمع چهار رشته کراتینی است و این تترامرها به صورت منظم در کنار یکدیگر قرار می گیرند تا رشته های میانی را بسازند. قطر این رشته ها به حدود ۷۵ تا ۹۰ آنگستروم می رسد و آن ها نقش مهمی در حفظ یکپارچگی و استحکام ساختاری مو دارند (۷ و ۸).

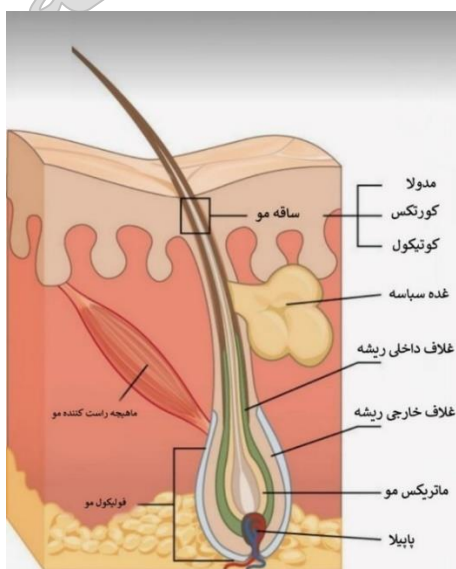
سپس، این رشته های میانی با تجمع خود میکروفیبریل ها را تشکیل می دهند؛ این واحدها از نظر اندازه کمی بزرگ تر بوده و با جمع شدن چندین میکروفیبریل، ماکروفیبریل ها به وجود می آیند. ماکروفیبریل ها آخرین واحدهای سازمان یافته در مقیاس میکرومتری هستند که ساختار بخش اصلی و بارز مو را به وجود می آورند و ضخامت آن ها در محدوده ۰.۱ تا ۰.۴ میکرومتر است. این ساختار ویژه باعث می شود مو علاوه بر استحکام و کشسانی، ظرافت و انعطاف قابل توجهی هم داشته باشد (۹).

در نهایت، تمامی ماکروفیبریل ها در یک مجموعه بزرگ تر کنار هم قرار می گیرند و استوانه اصلی مو را تشکیل می دهند که قطر آن به حدود ۵۰ میکرومتر می رسد. این ساختار پیچیده و چندلایه به مو خصوصیات فیزیکی منحصربه فردی از جمله مقاومت بالا در برابر آسیب های محیطی، کشش و استرس مکانیکی می دهد و باعث می شود موها علاوه بر ظاهر زیبایی که دارند، کارایی و دوام بالایی ساختاری نیز داشته باشند (۱۰ و ۱۱).

۲-۴ تشریح ساختار مو

در بالا به قسمت های مختلف مو پرداخته شد، حال عملکرد هر کدام تشریح می گردد (۱۲-۱۴):

محققین نشان دادند که چگونه هر فولیکول مو از برهمکنش بین لایه های اپیدرمی و درمی پوست، سرچشمه می گیرد. فولیکول مو، غلافی از سلول های اپیدرمی و بافت همبند بوده که ریشه مو را در بر می گیرد (شکل ۲). سلول های خاصی که در سطح درم وجود داشته، تکثیر و افزایش یافته و به سمت جلو رشد نموده تا یک پایه را تشکیل دهند. در زیر این قسمت، فیبرو بلاست های اختصاصی قرار گرفته است که به زائد درمی تبدیل می شوند.



شکل ۲. ساختار کامل مو به همراه پوست
Figure 2. Complete structure of hair with skin

سلول های اپیدرمی مجاور زائده درمی، تکثیر یافته و ستونی از سلول های کراتینه شده، ساقه مو را ایجاد می نماید. همانطور که این سلول های کراتینی طول می کشند، سلول های پایه مو به سمت پایین حرکت نموده و فولیکول مو را که به صورت ستونی متورم و برجسته می باشد را تشکیل می دهد. این قسمت محل حضور غدد سباسه و ماهیچه راست کننده تارمو می باشد. فولیکول مو، یکی از بخش هایی در بدن انسان بوده که سرعت تقسیم سلولی بالایی داشته و برای چنین رشدی نیاز به انرژی زیادی دارد (۱۷-۱۵).

بیرونی ترین لایه مو کوتیکول بوده که بخش قشری را احاطه نموده و از سلول های مسطح و تخت تشکیل شده است. هر سلول دارای یک غشای خارجی بوده و در داخل غشا سه لایه مجزا وجود داشته که شامل لایه بیرونی اپی کوتیکول، لایه میانی اگزوکوتیکول و لایه داخلی اندوکوتیکول می باشد. بخش عمده ناحیه قشری یا کورتکس، از توده الیافی متشکل از سلول های کراتینه بلند تشکیل شده است که با مواد بین سلولی به یکدیگر متصل شده اند (شکل ۲). طول سلول ها، بین ۵ تا ۵۰ میکرومتر می باشد. بخش قشری، در واقع از دو ناحیه به وجود آمده است. پاراکورتکس که بخش غالب بوده و ارتوکورتکس که جزء کمتر را اختصاص داده است. سلول پاراکورتکس، در یک ماتریکس غنی از گوگرد با اتصالات عرضی شیمیایی قرار گرفته است، در حالیکه سلول های ارتوکورتکس این پوشش محافظتی را ندارد (۲۰-۱۸).

ملانین (رنگدانه های طبیعی)، در قشر مو قرار گرفته که شروع سنتز آن از اسید آمینه تیروزین گرفته شده است و به دو نوع یوملانین و فائوملانین تقسیم می شود. این رنگدانه ها، توسط سلول های ملانوسیت واقع در بخش رنگدانه ای پیاز مو و غلاف بیرونی فولیکول مو، ساخته می شوند. یوملانین، رنگ قهوه ای مایل به مشکی و فائوملانین، رنگ قهوه ای مایل به رنگ قرمز را تشکیل می دهد (۲۴-۲۱).

۲-۵ رویش مو

تقریباً تمام فولیکول های مو فعالیت رشد چرخه ای را تجربه می کنند (شکل ۳). یک مرحله فعال به نام آنژن که در آن مو تولید می شود، به صورت متناوب با دوره استراحتی به نام تلوزن جایگزین می شود (۲۶-۲۵). در انتهای مرحله تلوزن، فولیکول با رشد رو به پایین جوانه ثانویه به منظور بازسازی پاپیلای پوستی، مجدداً فعال می شود؛ به این ترتیب، ماتریکس دوباره شکل گرفته و موی جدید شروع به شکل گیری می کند. سرعت رشد معمول برای موی انسان ۰.۳-۰.۵ میلیمتر در روز می باشد و تعداد فولیکول مو بین صد هزار تا صدوپنجاه هزار تخمین زده می شود (۲۷ و ۲۸).



چرخه رشد مو

شکل ۳. رویش مو

Figure 3. Hair growth

۲-۶ ساختار شیمیایی مو

تار مو تقریباً از ۸۵ درصد پروتئین پیچیده ای بنام کراتین و حدود ۷ درصد آب تشکیل شده است. از دیگر ترکیبات اصلی، لیپید به مقدار ۳ درصد و رنگدانه ۲ درصد می باشد. آخرین جزء، ملانین بوده که در فرآیند سنتز زیستی، از اسید آمینه تیروزین بدست می آید. همچنین مقادیر ناچیزی از یون فلزاتی، مانند آلومینیم، کروم، کلسیم، مس، آهن، منگنز، منیزیم و روی وجود داشته که مقدار یون روی حدود ۲۲ میلی گرم در هر ۱۰۰ گرم مو وجود دارد. ترکیب فسفر نیز در ساختار مو به فراوانی یافت شده (۸۰ میلی گرم در هر ۱۰۰ گرم مو) که عمدتاً از تخریب هسته سلول های قشری، مشتق شده اند. مهمترین ماده، کراتین بوده که به صورت زیست-شیمیایی از حضور حدود ۱۸ نوع اسید آمینه به وجود آمده است. پیوندهای کووالانسی، از قبیل پیوندهای پپتیدی بین اسیدهای آمینه سازنده پروتئین ها؛ پیوندهای دی سولفیدی که اتصالات عرضی درون و بین مولکولی را در داخل و بین پروتئین های ساختاری تشکیل می دهند (۲۹ و ۳۰). در جدول ۱ انواع پیوندهای شیمیایی که در ساختار مو وجود دارد به همراه نقش آنها آورده شده است (۲۹ و ۳۰).

جدول ۱. انواع پیوندهای شیمیایی در ساختار مو

Table 1. Types of chemical bonds in the hair structure

نوع پیوند	قابلیت شکست	نقش اصلی	محل اتفاق
پیوند پپتیدی	-	تشکیل ساختار اصلی پروتئین	بین اسیدهای آمینه
پیوند دی سولفیدی	با عوامل کاهنده	ایجاد استحکام و ثبات	بین رشته های کراتین
پیوند هیدروژنی	با آب/حرارت	ثبات ساختار داخلی	بین زنجیره ها

۳ - واکنش های مهم در مو

مهمترین واکنش هایی که در مو اتفاق می افتد به شرح ذیل است (۳۱ و ۳۲):

۳-۱ واکنش با آب و بخار

ساده‌ترین روش برای نرم کردن مو، استفاده از آب است. آب به پیوندهای هیدروژنی مو نفوذ کرده و انعطاف‌پذیری آن را افزایش می‌دهد. این حالت پس از خشک شدن مو حفظ خواهد شد (۳۳).

۳-۲ واکنش‌های پیوند دی‌سولفید

حالت دائم مو (مانند فر دائمی) به دلیل پیوندهای دی‌سولفید است، پیوندهای دی‌سولفید نقش کلیدی در حفظ ساختار و استحکام مو دارند. کاهش این پیوندها (شکستن موقت آن‌ها) امکان تغییر ساختار مو و تنظیم مجدد آن را فراهم می‌کند (۳۴).

۳-۳ سولفیت‌ها

واکنش سولفیت‌ها با سیستمین موجود در کراتین، معمولاً به عنوان کاهنده پیوند دی‌سولفید شناخته می‌شود. واکنش سولفیت‌ها با پیوندهای دی‌سولفید، به دلیل برگشت‌پذیری و حساسیت بالای آن در محدوده pH بین ۳-۶ رخ می‌دهد. این واکنش شکست، حداقل تا حدی با شستشوی ساده مو با آب در pH اندکی بالاتر، برگشت‌پذیر می‌باشد. هنگامی که این واکنش برای فر دائمی یا صاف کردن مو مورد استفاده قرار می‌گیرد، بدین منظور لازم است از عوامل اکسید کننده ضعیف استفاده شود تا از وقوع اکسیداسیون در مرحله دی‌سولفید ممانعت به عمل آید (۳۴-۳۶).

۳-۴ تیول‌ها

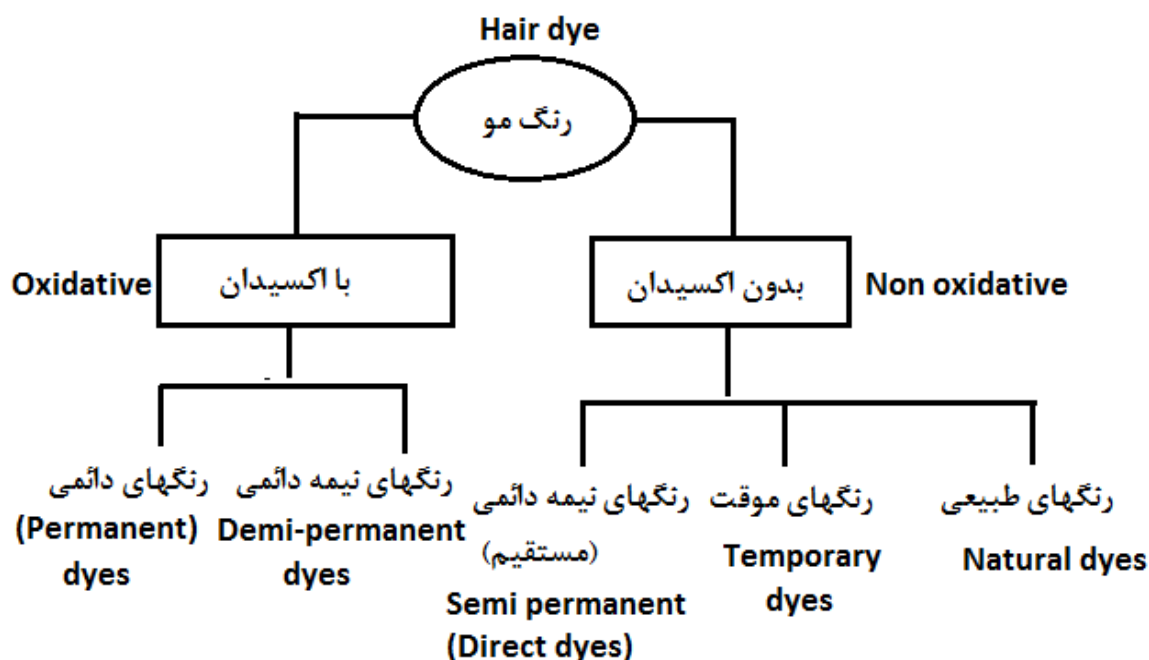
مؤثرترین روش برای شکستن پیوندهای دی‌سولفید در مو، استفاده از یک تیول می‌باشد. فراریت و بوی نامطبوع اغلب تیول‌ها، دامنه انتخاب آن‌ها را به شدت محدود می‌سازد و تیوگلیکولیک اسید، یا یکی از نمک‌های آن، نقشی غالب در فرآیند فر دائمی مو ایفا می‌نماید (37-39).

۳-۵ اکسیداسیون

هدف اصلی از سفید کردن موی انسان، روشن کردن مو است و توسط اکسیداسیون انجام می‌شود. با این حال، به دلیل واکنش شدید شرایط لازم برای تخریب گروه‌های کروموفوریک رنگدانه‌های مو، واکنش‌های جانبی با پروتئین‌های مو به طور همزمان رخ می‌دهد. مو حاوی درصد زیادی از گروه‌های قابل اکسید شدن است. به عنوان مثال مو حاوی پیوندهای تیواستر در سطح و بین سلول‌های کوتیکول است و از سوی دیگر ملانین رنگدانه‌ای است که به مو رنگ می‌دهد. در فرآیند سفید کردن مو، اکسیداسیون عمدتاً به پیوندهای درون این مولکول‌ها حمله می‌کند که باعث تجزیه و تغییر در ساختار آنها می‌شود و رنگ مو را روشن‌تر یا بی‌رنگ می‌کند. پراکسید هیدروژن با ایجاد رادیکال‌های آزاد، این پیوندها را هدف قرار می‌دهد و مولکول‌ها را تجزیه می‌کند (۲۴ و ۲۵). پیوندهای دی‌سولفیدی که پیوندهای کلیدی در ساختار و استحکام پروتئین کراتین که ماده اصلی تشکیل دهنده مو دارند. هرچند هدف اصلی فرآیند اکسیداسیون تجزیه ملانین است، اما پراکسید هیدروژن می‌تواند به پیوندهای دی‌سولفیدی نیز حمله کند و آنها را به اسید سولفونیک یا سایر مشتقات تبدیل کند. اگر پیوندهای دی‌سولفیدی تحت تأثیر قرار بگیرند، ممکن است مو ضعیف، شکننده و آسیب‌پذیر شود، چرا که این پیوندها به استحکام و انسجام ساختار مو کمک می‌کنند (۴۰-۴۲).

۴-انواع رنگ مو

یکی از رایج‌ترین دسته‌بندی‌هایی که در ارتباط با رنگ مو وجود دارد در شکل ۴ آورده شده است و در ادامه به توضیح هر یک از آنها پرداخته می‌شود (۱ و ۲):



شکل ۴. طبقه بندی رنگ مو
Figure 4. Hair color classification

۱-۴ رنگهای بدون اکسیدان

رنگ‌های بدون اکسیدان محصولاتی هستند که بدون ترکیب با مواد اکسیدکننده عمل می‌کنند و رنگدانه‌های آن‌ها به ساختار داخلی مو یا کوتیکول نفوذ نمی‌کنند. این رنگ‌ها تنها روی سطح مو قرار می‌گیرند و پیوند شیمیایی عمیقی در مو ایجاد نمی‌کنند، به همین دلیل تأثیر آن‌ها موقتی یا نیمه‌دائمی است و با چند بار شستشو به تدریج از بین می‌رود. عدم نفوذ به کوتیکول باعث می‌شود که این رنگ‌ها به مو آسیب نرسانند و گزینه‌ای مناسب برای تغییرات سطحی و سریع در رنگ مو باشند (۴۳-۴۵).

۱-۱-۴ رنگهای طبیعی

استفاده از رنگ موی طبیعی از ۱۲۰۰ سال قبل میلاد آغاز شده است و از اولین رنگ و مواد طبیعی که سرمه و حنا بوده بعدها رنگهای دیگری همچون گردو، شنبلیله، دارچین، میخک و چغندر نیز مورد استفاده قرار گرفت. تفاوت اساسی این نوع رنگ مو با سایر انواع رنگ مو این است که رنگ به کوتیکول متصل می‌شود و به هیچ عنوان وارد مو و ساقه آن نمی‌شود. فام‌هایی که این مواد طبیعی ایجاد می‌کنند عبارتند از (۳۵-۳۹ و ۴۷-۴۶):

- حناء: فام قهوه‌ای مایل به قرمز است و دارای خواص نرم‌کنندگی.
- ایندیگو: برای فام‌های آبی و سیاه استفاده می‌شود.
- قهوه و چای: برای تیره کردن مو و افزایش درخشش.
- چغندر: ایجاد فام‌های قرمز زنده.
- پوست گردو: برای فام‌های قهوه‌ای تیره تا سیاه.
- شنبلیله: فام قهوه ای مایل به قرمز
- میخک و دارچین: فام قهوه ای مایل به قرمز

از مزایای این رنگ موها می‌توان به سلامت مو، آسیب کمتر، عدم آلرژی به رنگ مو و عدم تأثیر زیست محیطی نام برد. مهمترین دلیلی که این مواد رنگی مورد استقبال آنچنان قرار نگرفته اند به دلایل زیر می‌باشد (۴۷-۵۲):

- محدودیت فام رنگ‌های که ایجاد می‌کند
- بعد از چند هفته (کمتر از یک ماه) از بین می‌رود
- زمان زیادی برای اعمال آن روی مو باید وقت گذاشت.

نحوه استفاده از آنها بدین گونه است که مواد فوق را باتوجه به نوع رنگی که می‌خواهد ایجاد شود آسیاب کرده و با روغن‌های آرگان، نارگیل و جوجو جهت تهیه یک خمیر رنگ ترکیب می‌کنند و پس از تهیه خمیر از بازار می‌بایست با آب گرم مخلوط کرده و سپس باتوجه به نوع رنگ ۳۰ دقیقه (برای رنگ ملایم) و تا ۲ ساعت (برای رنگ عمیق‌تر) روی سر گذاشته شود و بعد موها شسته می‌شود (۵۳-۵۵).

۲-۱-۴ رنگهای موقت

مقاله پذیرفته شده

رنگ‌های موقت، رنگ‌های غیراکسیدانی می‌باشند که دوام کمی بر روی مو داشته و همچنین بیشترین حلالیت در آب دارند و پس از اولین شستشو با شامپو از بین می‌روند. رنگهای موقت جهت اهداف خاصی مانند دستیابی به رنگهای فانتزی و شاد مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اشکال فومی، استیکی، کرمی، مایع، پودری، اسپری، گچی، ژله‌ای و ماسک مو در بازار عرضه می‌شود. این رنگ موها در قسمت خارجی موها رسوب کرده و به داخل ساقه مو راه پیدا نمی‌کنند به عبارتی در رنگهای موقت، مولکول ماده رنگزا، با کوتیکول تماس برقرار می‌کند؛ این مواد رنگزا با خاصیت اسیدی، معمولاً وزن مولکولی بالایی دارند و روی سطح مو بدون نفوذ به کورتکس باقی می‌مانند. سازوکار چسبیدن رنگدانه‌ها به سطح کوتیکول در محصولاتی که تحت عنوان رنگ موهای موقتی طبقه بندی می‌گردد (۵۸-۵۶).

۴-۱-۳ نیمه دائمی (رنگهای مستقیم)

رنگ موهایی هستند که می‌توانند بدون رنگزایی و به دلیل جرم مولی کمی که دارند داخل کوتیکول نشسته و بر اساس پیوندهای ضعیف و اندروالسی با مو پیوند برقرار می‌کنند و حداکثر پس از ۴-۶ شستشو با شامپو از بین می‌روند. سیستم‌های رنگ‌های نیمه‌دائمی شامل حلال‌های آلی، اسیدهای چرب، آمیدها، غلظت دهنده‌ها، سطح فعال‌ها و عطر هستند و معمولاً برای بهینه‌سازی فرآیند رنگ کردن مو pH بین ۹ تا ۱۰ می‌باشد. در فرمولاسیون این محصولات، کلاس‌های مختلفی از رنگ‌ها که هر کدام طیفی خاص ایجاد می‌کند قابل استفاده می‌باشد (۶۲-۵۹).

رنگ‌های نیمه‌دائمی معمولاً از مولکول‌های رنگی تشکیل شده‌اند که اندازه‌ای متوسط دارند. این مولکول‌ها اغلب از نوع نیتروآمین‌ها (مانند نیتروفنیل‌دی‌آمین‌ها)، آزوها یا آنتراکینون‌ها هستند. این ترکیبات به دلیل اندازه و ساختار شیمیایی خود، توانایی نفوذ جزئی به لایه‌های مو را دارند، اما برخلاف رنگ‌های دائمی، در داخل کورتکس (لایه میانی مو) واکنش شیمیایی پایداری ایجاد نمی‌کنند که منجر به تشکیل مولکول‌های بزرگ‌تر و غیرقابل شستشو شود (۶۵-۶۳).

رنگ‌های نیمه‌دائمی در ابتدا به سطح کوتیکول مو متصل می‌شوند. کوتیکول به دلیل وجود گروه‌های کربوکسیل در پروتئین‌های کراتین دارای بار منفی است و بسیاری از مولکول‌های رنگ نیمه‌دائمی دارای بار مثبت یا خاصیت کاتیونی هستند که باعث جذب الکترواستاتیکی بین رنگ و سطح مو می‌شود. این اتصال سطحی به دلیل نیروهای واندروالسی و پیوندهای هیدروژنی نیز تقویت می‌شود. با این حال، این نوع اتصال نسبتاً ضعیف است و به همین دلیل رنگ‌های نیمه‌دائمی به راحتی با شستشو جدا می‌شوند (۶۸-۶۶).

برخلاف رنگ‌های موقت که فقط روی سطح کوتیکول باقی می‌مانند، رنگ‌های نیمه‌دائمی می‌توانند به طور جزئی به لایه‌های داخلی‌تر کوتیکول و حتی بخش‌های بیرونی کورتکس نفوذ کنند. این نفوذ به دلیل اندازه متوسط مولکول‌های رنگ و گاهی استفاده از محیط قلیایی ملایم مانند آمونیاک یا اتانول آمین با pH ۸-۹ است که باعث تورم موقت کوتیکول و باز شدن منافذ آن می‌شود (۶۹-۷۲). با این حال، این مولکول‌ها در کورتکس واکنش شیمیایی پایداری انجام نمی‌دهند و به صورت مولکول‌های جداگانه باقی می‌مانند. به همین دلیل، با شستشوی مکرر، از ساختار مو خارج می‌شوند. ترکیبات آمینو نیتروفنیل، نیتروفنول‌ها، آزوئیک و آنتراکینون‌ها، مواد رنگزای اسیدی، مواد رنگزای مستقیم و بازیک از مهمترین دسته مواد رنگزای مورد استفاده در این نوع رنگ مو می‌باشد (۷۵-۷۳).

۴-۲ رنگهای اکسیدانی

رنگ‌های اکسیداسیونی نوعی از رنگ مو هستند که برای فعال شدن، به ترکیب با مواد اکسیدکننده، مانند پراکسید هیدروژن نیاز دارند. این رنگ‌ها به کمک مواد اکسیدکننده به عمق ساختار مو نفوذ کرده و از کوتیکول عبور می‌کنند تا بتوانند رنگدانه‌ها را در لایه‌های داخلی مو (کورتکس) جایگزین کنند. فرآیند اکسیداسیون نه تنها امکان تغییر دائمی رنگ مو را فراهم می‌کند، بلکه پوشش کامل سفیدی مو و ایجاد رنگ‌های بادوام را ممکن می‌سازد. این نوع رنگ مو معمولاً تأثیر طولانی‌مدت دارد و در برابر شستشو مقاوم‌تر است، اما به دلیل نفوذ به ساختار داخلی مو، ممکن است همراه با آسیب به کوتیکول باشد (۷۸-۷۶).

۴-۲-۱ دائمی و نیمه دائمی: عامل قلیایی

از فرآیند اکسیداسیون برای تغییر رنگ مو در رنگ موهای دائمی و نیمه دائمی استفاده می‌شود، اما تفاوت‌های اساسی در ترکیبات شیمیایی، عملکرد، ماندگاری و تأثیر بر مو وجود دارد. رنگ‌های دائمی معمولاً حاوی آمونیاک یا مونو اتانول آمین بین ۶ تا ۱۲ درصد هستند. این ترکیبات به عنوان عوامل قلیایی عمل می‌کنند و باعث افزایش pH مو می‌شوند. این افزایش pH باعث باز شدن کوتیکول (لایه خارجی مو) و فراهم کردن شرایط لازم برای نفوذ رنگ به داخل مو می‌شود. آمونیاک، به دلیل داشتن قدرت قلیایی، باعث شکسته شدن پیوندهای سولفید هیدروژن در داخل ساقه مو می‌شود که این امر به رنگ‌دانه‌ها اجازه می‌دهد به عمق ساقه مو نفوذ کنند. علاوه بر آمونیاک، پراکسید هیدروژن (H_2O_2) نیز به عنوان اکسیدکننده به کار می‌رود که به فرآیند روشن‌کنندگی مو کمک می‌کند (۷۹).

در رنگ‌های نیمه دائمی معمولاً از مونو اتانول آمین به عنوان ماده قلیایی بین ۳ تا ۶ درصد استفاده می‌شود که قدرت کمتری نسبت به آمونیاک دارد. این ماده نیز pH را افزایش می‌دهد، اما به دلیل قدرت کمتر خود نسبت به آمونیاک، نفوذ رنگ به داخل ساقه مو محدودتر است. رنگ‌های نیمه دائمی همچنین ممکن است از پراکسید هیدروژن در غلظت‌های پایین‌تر نسبت به رنگ‌های دائمی استفاده کنند. این بدین معناست که قدرت روشن‌کنندگی و عمق نفوذ رنگ در این نوع رنگ‌ها کمتر است (۸۰).

مقاله پذیرفته شده

رنگ‌های دائمی به دلیل نفوذ عمیق‌تر و تغییرات قابل توجه در ساختار مو، معمولاً دارای ماندگاری بالاتری هستند. این رنگ‌ها با گذشت زمان و با رشد مو از بین می‌روند، اما اثرشان بر ساقه مو باقی می‌ماند. ماندگاری این رنگ‌ها برای مدت طولانی‌تری است و معمولاً به ترمیم مجدد در فواصل زمانی طولانی‌تری نیاز دارند (۸۱).

رنگ‌های نیمه دائمی به طور طبیعی دارای ماندگاری کمتری هستند و معمولاً برای ۴ تا ۶ هفته دوام دارند. این رنگ‌ها به تدریج با شستشوی مو از بین می‌روند. این رنگ‌ها بیشتر برای افرادی مناسب‌اند که به دنبال تغییرات موقت و غیر دائمی هستند. مثلاً برای مردان که موی خیلی کمتری نسبت به زنان دارند، مطلوب است پس از رنگ کردن آسیب کمتری به مو وارد شود (۸۵-۸۲).

۳-۴ مکانیزم ایجاد رنگ مو

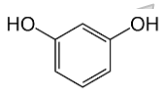
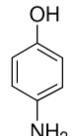
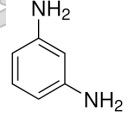
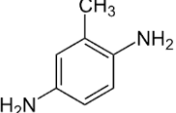
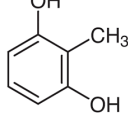
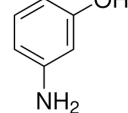
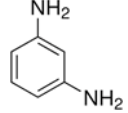
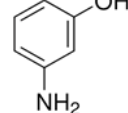
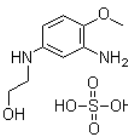
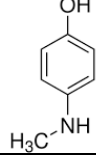
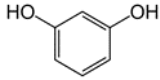
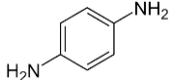
جهت ایجاد رنگ روی مو نیاز به ۳ عامل اصلی می‌باشد: الف- پیش ماده اولیه، ب- جفت M یا پیش ماده ثانویه، ج- پر اکسید هیدروژن (۳-۱، ۸۶ و ۸۷).

الف- پیش ماده اولیه: پارا آمینوفنول‌ها و پارا فنیلن دی آمین‌ها الکترون دهنده‌های قوی هستند که باعث افزایش حداکثر جذب رنگ ایندویی می‌شوند. این ویژگی باعث می‌شود که آمینوفنول‌ها در واکنش‌های الکتروفیلی و اکسیداسیون پایداری بالایی داشته باشند. بنابراین، آن‌ها به عنوان پیش ماده‌های اصلی در تولید رنگ‌های ایندیگو مورد استفاده قرار گیرد و این رنگ‌ها به واسطه واکنش آمینوفنول‌ها با کوپلرهای خاصی که در ترکیب رنگ‌ها وجود دارند، ایجاد می‌شوند (۹۱-۸۸).

ب- جفت M یا پیش ماده ثانویه: در جفت شونده‌ها، هرچه گروه قرار گرفته در استخلاف موقعیت متا، الکترون دهنده‌تر باشد، حداکثر طول موج جذب رنگ ایندویی افزایش می‌یابد. این پدیده به دلیل انتقال الکترون‌ها در ساختار حلقه آروماتیک است که می‌تواند اثر چشم‌گیری بر رنگ نهایی داشته باشد. برخی از پیش ماده‌های اولیه و ثانویه با اهمیت و اثر آنها بر روی رنگ ایجاد شده در جدول ۲ آورده شده است (۹۴-۹۲).

جدول ۲. اثر برخی از پیش ماده‌های اولیه و ثانویه بر روی رنگ ایجاد شده

Table 2. Effect of some primary and secondary precursors on the produced color

رنگ ایجاد شده (تقریبی)	جفت M یا پیش ماده ثانویه	پیش ماده اولیه
بلوند طلایی، قهوه‌ای روشن	 Resorcinol	 p-Aminophenol
قهوه ای تیره، سیاه	 m-Phenylenediamine	 Toluene-2,5-Diamine
قرمز مایل به قهوه‌ای	 2-Methylresorcinol	 m-Aminophenol
قهوه ای زیتونی، خاکستری	 m-Phenylenediamine	 m-Aminophenol
بلوند دودی، نقره‌ای	 2-Amino-4-Hydroxyethylanisole	 p-Methylaminophenol
قهوه ای تیره	 Resorcinol	 p-Phenylenediamine

در شکل ۵، نمونه‌ای از کالیته رنگ جهت انتخاب مشتری به نمایش درآمده است که بر اساس مواد ذکر شده در جدول بالا می‌باشد (۹۵ و ۹۶).

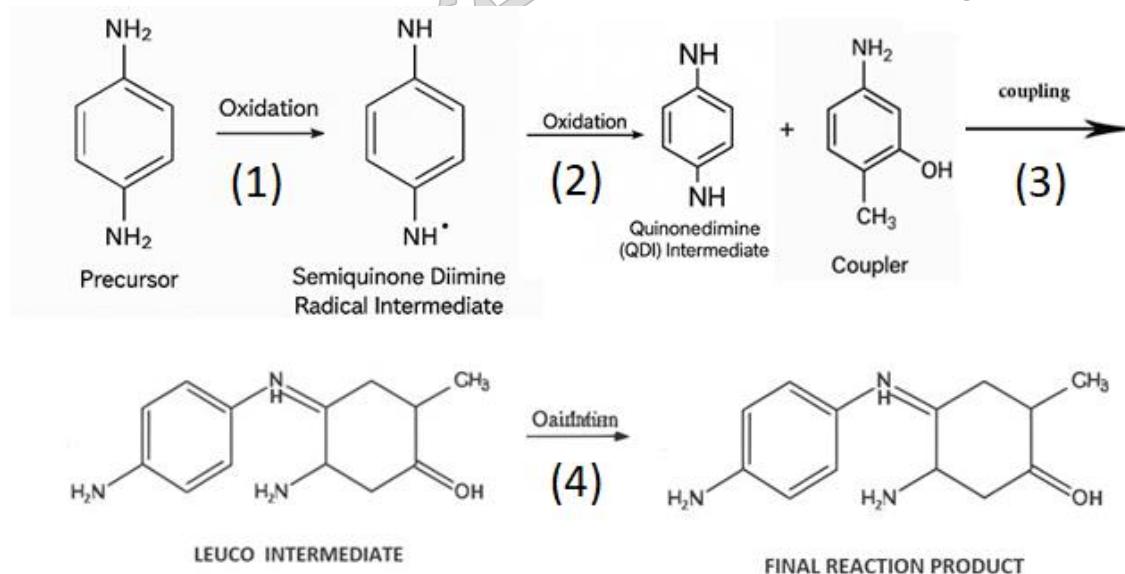
مقاله پذیرفته شده



شکل ۵. نمونه کالیته رنگ که انواع رنگها را جهت انتخاب مشتری به نمایش می گذارند
Figure 5. Example of color quality that displays a variety of colors for customer selection.

۴-۴- مکانیزم واکنش

مراحل تشکیل رنگ از یک واسطه اولیه تا جفت شدن با واسطه ثانویه و تشکیل رنگ در شکل ۶ آورده شده است. مکانیزم واکنش ایجاد رنگ مطابق مراحل ذیل می باشد (۹۷ و ۹۸):



شکل ۶. مراحل تشکیل رنگ از یک واسطه اولیه تا جفت شدن با واسطه ثانویه و تشکیل رنگ

Figure 6. The steps of dye formation from a primary intermediate to coupling with a secondary intermediate and dye formation.

مرحله اول: در محیط اکسیداسیون پیش ماده اولیه که در اینجا PPD یا پارا فنیلن دی آمین می باشد و تبدیل به یک واسطه شیمیایی به نام رادیکال شبه کینون ایمین می گردد.

مرحله دوم: در این مرحله، اکسیداسیون مجدد واسطه تولیدشده در مرحله اول انجام می شود و رادیکال شبه کینون دی ایمین در این فرآیند به یک ترکیب پایدارتر به نام کوئینون دی ایمین تبدیل می شود و آماده جفت شدن می گردد.

مرحله سوم: در این مرحله، واسطه کوئینون دی ایمین (QDI) با یک جفت شونده (مثلا ۲-آمینو-۴-متیل فنول) واکنش می دهد. نتیجه این واکنش، تولید یک رنگ بدون رنگ یا به اصطلاح لکو است.

مرحله چهارم: رنگ لکو که در مرحله قبل تولید شده است، در طول این فرآیند تحت اکسیداسیون قرار می گیرد. اکسیداسیون باعث تبدیل لکو به محصول نهایی رنگ که قهوه ای تیره است، می شود (۹۹ و ۱۰۰).

۵- ارتباط بین ساختار مو و انواع رنگ مو

در موهای سالم، اندازه و ساختار مولکول رنگ بر سرعت، عمق و میزان نفوذ آن به داخل مو تأثیر می‌گذارد. در واقع، مولکول‌های کوچک‌تر به راحتی و با سرعت بیشتری از مولکول‌های بزرگ‌تر وارد مو می‌شوند. این امر به دلیل مقاومت طبیعی کوتیکول در برابر ورود مواد به داخل مو است. در موهای آسیب‌دیده، ساختار کوتیکول تغییر کرده و به دلیل افزایش بار منفی و افزایش نفوذپذیری، مقاومت کمتری در برابر جذب مواد به وجود می‌آید. در pH قلیایی، مو به حالت متورم درمی‌آید. این تورم باعث افزایش پتانسیل نفوذ رنگ به داخل ساختار مو می‌شود و از سوی دیگر فرمولاتورها (افرادی که محصولات رنگ مو را توسعه می‌دهند) باید تفاوت‌ها در ویژگی‌های ساختاری و مقاومت مو در برابر جذب مواد را در نظر بگیرند. این ملاحظات می‌تواند در فرمولاسیون رنگ‌های مو تأثیرگذار باشد و به آن‌ها کمک کند تا رنگ‌های مو با ویژگی‌های خاصی مانند پایداری بیشتر یا نفوذ بهتر ایجاد کنند (۴-۱۰ و ۹۸-۱۰۰). در جدول ۳، عوامل مؤثر بر نفوذ رنگ به همراه تأثیر آنها در فرآیند رنگ کردن اشاره شده است.

جدول ۳. عوامل مؤثر بر نفوذ رنگ

Table 3. Factors affecting dye penetration

عامل	تأثیر
اندازه مولکول رنگ	مولکول‌های کوچک‌تر به راحتی وارد مو می‌شوند.
بار الکتریکی رنگ	مولکول‌های کاتیونی به دلیل وجود بار منفی در کوتیکول، جذب بیشتری دارند.
pH محیط	محیط قلیایی باعث تورم کوتیکول و افزایش نفوذ رنگ می‌شود.
حالت فیزیکی مو	مو آسیب‌دیده دارای کوتیکول شل‌تر و در نتیجه جذب رنگ بیشتر است.

با توجه به توضیحات ارائه شده مربوط به انواع مختلف رنگ موها، میزانی که هر مدل رنگ مو، کوتیکول و کورتکس را درگیر می‌کند، نحوه جذب، ماندگاری و شرایط مناسب برای جذب آنها بر روی مو در جدول ۴ آورده شده است (۴-۱۰ و ۹۸-۱۰۰).

جدول ۴. نحوه جذب انواع مختلف رنگ بر لایه‌های داخلی مو

Table 4. Different types of dye absorbed into the inner layers of hair

نوع رنگ مو	کوتیکول	کورتکس	pH مناسب	ماندگاری	واکنش شیمیایی
طبیعی	سطحی/خیلی کم	ندارد	۵/۴-۵/۵	۲-۴ شستشو	-
موقت	سطحی/خیلی کم	ندارد	۶/۵-۰/۰	۱-۲ شستشو	-
نیمه دائمی (رنگ‌های مستقیم)	سطحی/کم	سطحی/خیلی کم	۷/۶-۰/۰	۴-۶ شستشو	-
نیمه دائمی	کمی باز می‌شود	نفوذ کم	۸/۷-۰/۰	۴-۸ هفته	اکسیداسیون سطحی ^۱
دائمی	کاملاً باز می‌شود	نفوذ زیاد	۱۰/۹-۰/۰	بلندمدت	اکسیداسیون کامل ^۲

۶- نسل‌های مختلف و انتخاب رنگ موی آن‌ها (۱۰۲)

استفاده از رنگ‌های طبیعی یا مصنوعی یکی از عواملی است که به درک ترجیحات فرهنگی و زیبایی‌شناختی نسل‌های مختلف کمک می‌کند. بر اساس اطلاعات استخراج‌شده از مقالات، منبع ترجیحات رنگ مو میان نسل‌های مختلف و روندهای تاریخی آنها در ذیل اشاره شده است و بطور مختصر در جدول ۵ ترجیحات رنگ مو بین نسل‌های مختلف مقایسه شده است (۱۰۲).

• **نسل‌های جوان‌تر.** این نسل‌ها به رنگ‌های روشن و غیرمتعارف علاقه‌مند هستند. محبوب‌ترین رنگ‌های انتخابی آن‌ها شامل دو گروه است:

- رنگ‌های پاستلی مانند صورتی روشن، آبی یخی و بنفش ملایم.
- رنگ‌های پررنگ و جسورانه مانند آبی، سبز فسفری و قرمز.

این نسل تمایل زیادی به رنگ‌های موقت و نیمه‌دائمی دارند تا بتوانند سریعتر رنگ موهایشان را تغییر دهند و تعهد طولانی به یک رنگ خاص نداشته باشند. استفاده از رنگ مو در این نسل بیشتر جهت بیان تفاوت و هویت فردی است.

• **نسل میانسال (نسل X).** افراد این گروه بیشتر به رنگ‌های طبیعی و ملایم علاقه نشان می‌دهند. انتخاب‌های رایج این گروه به بخش‌های ذیل تقسیم بندی می‌شود:

- انواع فام‌های قهوه‌ای و بلوند طبیعی.

^۱ اکسیداسیون سطحی فرآیندی است که در آن فقط لایه‌های بیرونی یا سطح یک ماده با اکسیژن یا عوامل اکسیدکننده واکنش داده و دچار تغییر شیمیایی می‌شود، بدون اینکه ساختار داخلی ماده به طور قابل توجهی دگرگون گردد.

^۲ اکسیداسیون کامل فرآیندی است که در آن یک ماده به طور کامل با اکسیژن یا عامل اکسیدکننده واکنش داده و به محصولات کاملاً اکسید شده تبدیل می‌شود.

مقاله پذیرفته شده

- هایلایت‌های ملایم برای روشن‌تر کردن مو.
- اولویت این گروه بیشتر بر پوشش موهای خاکستری و حفظ ظاهری طبیعی و آراسته است. بسیاری از افراد این نسل از رنگ‌های دائمی استفاده می‌کنند که ماندگاری طولانی‌تری دارند.
- نسل‌های مسن‌تر. ترجیح این گروه به رنگ‌های سنتی و طبیعی معطوف است که نزدیک‌ترین رنگ به موی اصلی آن‌ها باشد و هدف اصلی استفاده از رنگ مو در این گروه معمولاً پوشاندن موهای خاکستری یا سفید است. این نسل کمتر به رنگ‌های جسورانه یا غیرطبیعی علاقه‌مند است و تمایل بیشتری به ظاهر کلاسیک دارند. جهت مقایسه بهتر بین نسل‌ها و هدف از رنگ کردن مو توسط آن‌ها در جدول شماره ۵ ذکر شده است (۵۸ و ۵۹).

جدول ۵. مقایسه ترجیحات رنگ مو بین نسل‌ها

Table 5. Comparison of hair colorant preferences between generations

نسل	هدف اصلی	نوع رنگ	رنگ‌های محبوب
Gen Z (جوان‌تر)	بیان خلاقیت	موقت / نیمه دائمی	پاستلی، فانتزی
Gen X (میانسال)	پوشش سفیدی + جوان‌سازی	دائمی	طبیعی، چندلایه
Silent (تر) (مسن‌تر)	ظاهر آرام + سلامت	دائمی / طبیعی	مشابه طبیعی

۷- برندهای برتر رنگ مو در دنیا

بهترین برندهای رنگ موی حرفه‌ای دنیا بر اساس مجله Byrdie که در زمینه رنگ مو معروف می‌باشد، بررسی شده است و توسط آرایشگران و متخصصان سالن‌های زیبایی برای دستیابی به نتیجه‌ی مطلوب، رنگ طبیعی و ماندگار استفاده می‌شوند. انتخاب بهترین برندها بر اساس کیفیت، پوشش‌دهی، ماندگاری، شفافیت رنگ، رایحه ملایم و کمترین آسیب به مو انجام می‌شود. در جدول ۶ به برندهای مختلف رنگ مو از نظر کیفیت و کاربرد آورده شده است (۱۰۱). همچنین نشان تجاری برندهای مختلف در شکل ۷ ذکر شده است.

جدول ۶. مقایسه برندهای رنگ مو از نظر کیفیت و کاربرد (۱۰۱).

Table 6. Comparison of hair dye brands in terms of quality and application(101)

نام برند	کاربرد اصلی	ویژگی‌های اصلی	نوع رنگ
Wella Professionals	تمامی انواع مو	پوشش کامل سفیدی، ثبات بالا	دائمی / کرمی
Matrix	مصرف‌کنندگان خانگی	قیمت مناسب، بدون آمونیاک	دائمی / نیمه دائمی
Redken	موی خشک و شکننده	درخشش بالا، ثبات مناسب	دائمی
L'Oréal Professionnel	تمامی سنین و انواع مو	طیف گسترده، مرطوب‌کنندگی	دائمی / نیمه دائمی
Schwarzkopf Professional	سالن‌های زیبایی	دوام بالا، فرمول حرفه‌ای	دائمی
Pravana	جوانان و استایل‌های مدرن	رنگ‌های غیرمعمول، ماندگاری بالا	دائمی / فانتزی
Goldwell	موی رنگی و آسیب‌دیده	براقیت، ثبات عالی	دائمی
Joico	موی ضعیف و آسیب‌دیده	ضدخشکی، تقویت الیاف مو	دائمی / تقویتی



شکل ۷. برندهای برتر رنگ مو

Figure 7. Top hair dye brands

۸- ارزیابی جهانی و چشم انداز آینده رنگ مو (بر پایه گزارش Technavio)

بازار جهانی رنگ مو یکی از پویاترین بخش‌های صنعت آرایشی و بهداشتی است. این بازار تحت تأثیر عوامل گوناگونی مانند تغییر سبک زندگی، افزایش دغدغه زیبایی، نوآوری‌های محصول و تأثیر رسانه‌های اجتماعی قرار دارد و بر اساس گزارش Technavio در سال‌های پیش‌رو نیز رشد چشمگیری را تجربه خواهد کرد. طبق پیش‌بینی Technavio، ارزش بازار جهانی رنگ مو تا سال ۲۰۲۸ به درجات بالایی خواهد رسید و انتظار می‌رود نرخ رشد سالانه مرکب این بازار حدود ۶ تا ۷ درصد است. این رشد بیشتر ناشی از افزایش تقاضا برای تغییر ظاهر، پوشاندن موهای سفید، گرایش به محصولات طبیعی‌تر و گسترش توزیع اینترنتی است. از عوامل کلیدی رشد بازار می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود (۱۰۱):

- افزایش دغدغه زیبایی و جوانی. همزمان با فراگیر شدن شبکه‌های اجتماعی و افزایش نقش افراد مشهور و تأثیرگذار در معرفی روندهای زیبایی، تغییر رنگ مو به یکی از راه‌های سریع و کم‌هزینه ابراز هویت، جوان‌سازی چهره و به‌روزرسانی استایل بدل شده است. علاقه به ظاهر جدید و منحصر به فرد، استفاده از رنگ‌های متنوع و جسورانه را نیز افزایش داده است.
- نوآوری و توسعه محصول. شرکت‌های مطرح جهانی در سال‌های اخیر محصولات متنوع و نوآورانه‌ای عرضه کرده‌اند؛ مانند: رنگ موهای بدون آمونیاک و ارگانیک؛ سازگار با پوست و مو؛ مناسب افراد با حساسیت یا نگرانی از آسیب شیمیایی. رنگ‌های نیمه‌دائمی، شامپو رنگ و رنگ‌های موقت؛ مناسب تغییر سریع استایل و کاهش نگرانی از آسیب مو. فرمولاسیون ویژه برای انواع مو (آسیایی، آفریقایی، اروپایی): پاسخ به نیازهای خاص انواع مختلف تار مو.
- رشد سهم فروش آنلاین. فروشگاه‌های اینترنتی آرایشی و بهداشتی با ارائه خدمات مشاوره آنلاین، مقایسه سریع قیمت و تنوع بالا، باعث رشد سهم فروش غیرحضوری رنگ مو شده‌اند. این موضوع به خصوص در دوره کرونا رونق بیشتری گرفت و مشتریان زیادی را به خرید اینترنتی عادت داد.
- توجه فزاینده به سلامت و محیط زیست. افزایش آگاهی از اثرات مضر مواد شیمیایی و ترجیح به انتخاب محصولات طبیعی، گیاهی و کم‌ضرر، شرکت‌ها را مجبور به توسعه رنگ‌های فاقد ترکیبات آلرژی‌زا (مانند آمونیاک) و بسته‌بندی‌های سازگار با محیط زیست کرده است.

بازار رنگ مو از جنبه‌های مختلف قابل تقسیم‌بندی است و هر بخش ویژگی‌ها و روندهای خاص خود را دارد. از نظر نوع محصول، رنگ‌های دائمی بیشترین سهم بازار را به خود اختصاص داده‌اند، چرا که این محصولات برای پوشش کامل موهای سفید و ایجاد تغییر طولانی‌مدت در رنگ مو بسیار مناسب هستند. در مقابل، رنگ‌های نیمه‌دائمی و موقت به دلیل سهولت استفاده و امکان تغییر مکرر رنگ، به‌ویژه میان افراد جوان محبوبیت بیشتری یافته‌اند و سهم این بخش از بازار در حال افزایش است. همچنین، رنگ‌های طبیعی و گیاهی با وجود داشتن سهم کوچک‌تر، به دلیل رشد آگاهی افراد نسبت به سلامت پوست و مو و عدم آسیب‌رسانی، توجه مشتریانی وفادار و حساس به سلامتی را جلب کرده و در حال رشد هستند (۱۰۱).

از نظر محل مصرف، بازار به دو بخش مصرف خانگی و سالن‌های زیبایی تقسیم می‌شود. رنگ موهای مصرف خانگی با رشد چشمگیری مواجه بوده‌اند، چرا که بسته‌بندی‌های قابل شناسایی و انتخاب برای غیر حرفه‌ای‌ها، قیمت مناسب و روش استفاده آسان، آن‌ها را برای استفاده شخصی ایده‌آل کرده است. در عین حال، سالن‌های زیبایی و حرفه‌ای همچنان یک بخش بزرگ از بازار را به خود اختصاص داده‌اند، چرا که این محیط‌ها خدمات حرفه‌ای و تجربه تغییرات پیچیده‌تر را ارائه می‌دهند و برای مشتریانی خاص، مورد ترجیح هستند.

از جنبه جغرافیایی، آسیا-اقیانوسیه به دلیل جمعیت زیاد، افزایش سطح درآمد و رشد آگاهی عمومی، سریع‌ترین رشد را در بازار رنگ مو تجربه می‌کند. بازارهای اروپا و آمریکای شمالی با وجود رقابت شدید میان برندها، جزو بازارهای بالغ محسوب می‌شوند و مشتریان سخت‌گیری دارند که حساسیت بیشتری نسبت به کیفیت و ایمنی محصولات نشان می‌دهند. در بازارهای نوظهور مانند آمریکای جنوبی، آفریقا و خاورمیانه نیز پتانسیل رشد قابل توجهی وجود دارد، چرا که این مناطق علاقه‌مند به محصولات جدید و دسترسی به خدمات متنوع در این حوزه هستند (۱۰۱).

این صنعت، علاوه بر فرصت‌ها، با چالش‌هایی نیز روبرو است. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، نگرانی مصرف‌کنندگان درباره آسیب‌های شیمیایی محصولات به مو و پوست است. علاوه بر این، مقررات سخت‌گیرانه بهداشتی و زیست‌محیطی در بسیاری از مناطق دنیا، تولید و استفاده برخی از محصولات را محدود کرده است. همچنین، رقابت قیمتی با برندهای محلی و کوچک‌تر در بازارهای در حال توسعه، فشارهای زیادی را بر برندهای بزرگ‌تر وارد آورده است. با این حال، فرصت‌های متعددی در این بازار وجود دارد که شامل گسترش محصولات طبیعی، ارگانیک و بدون آسیب است (جدول ۷) (۱۰۱). همچنین، کشورهای در حال توسعه با افزایش دسترسی به اینترنت، امکان جذب مشتریان جدید و گسترش فروش آنلاین را فراهم آورده‌اند. از سوی دیگر، تولید محصولات سفارشی‌شده و برندسازی شخصی، به عنوان یکی از روندهای برجسته و پرتقاضا در میان مشتریان به‌ویژه نسل جوان، یکی دیگر از فرصت‌های مهم برای رشد صنعت رنگ مو به شمار می‌رود (۱۰۱).

جدول ۷. چالش‌ها و فرصت‌های بازار رنگ مو

Table 7. Challenges and opportunities in the hair dye market

چکیده	نگرانی مصرف کنندگان: از آسیب های شیمیایی به مو و پوست
	مقررات سخت بهداشتی و زیست محیطی در کشورهای توسعه یافته
	رقابت قیمتی با برندهای محلی در بازارهای نوظهور با برندهای ارزان و غیراستاندارد
نتیجه گیری	گسترش رنگ های طبیعی و ارگانیک بدون آسیب، بدون بوی تند، با ماندگاری مناسب
	توسعه بازارهای نوظهور در کشورهای در حال توسعه با افزایش درآمد و دسترسی به اینترنت
	رنگ های سفارشی و شخصی سازی شده با استفاده از هوش مصنوعی و تکنولوژی

۹- نتیجه گیری

این مقاله با نگاهی علمی و جامع به ساختار مو، شامل لایه های کوتیکول، کورتکس و مدولا و همچنین ترکیب شیمیایی آن از جمله پروتئین کراتین و انواع پیوندهای مؤثر (پپتیدی، دی سولفیدی، هیدروژنی)، پایه و اساس درک فرآیندهای رنگ کردن مو را فراهم نموده و به تشریح چرخه رشد مو و عوامل شیمیایی اثرگذار بر آن پرداخته است. در ادامه، با دسته بندی انواع رنگ مو و معرفی رنگ های بدون اکسیدان نظیر رنگ های طبیعی، موقت و نیمه دائمی، سازوکار اثرگذاری آن ها بر سطح مو (کوتیکول) و عدم نفوذ به بخش کورتکس مورد بررسی قرار گرفت. عدم نفوذ دلیل اصلی موقتی یا نیمه دائمی بودن و آسیب کمتر این نوع رنگ ها به مو است. بعلاوه، انواع رنگ مو و حتی برندهای برتر رنگ مو، نگاه جامعه و تولیدکنندگان بر اساس نسل مصرف کننده و نوع رنگی که تمایل دارند استفاده کنند، معرفی شد. به طور کلی، در این مقاله بر اهمیت درک عمیق از خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مو برای توسعه و بهبود فناوری های رنگ کردن تأکید شد. شناخت اصول علمی نه تنها به نوآوری در ایجاد طیف های رنگی جدید کمک می کند، بلکه امکان تولید محصولات را فراهم می سازد که ضمن اثربخشی، حداقل آسیب را به ساختار مو وارد کرده و سلامت آن را حفظ کنند. این دانش برای متخصصان، تولیدکنندگان و حتی مصرف کنندگان در انتخاب و استفاده آگاهانه از محصولات رنگ مو حیاتی است.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

۱۰- مراجع

- Bulter, H.P. Poucher's Perfumes, Cosmetics and Soaps. 10th ed. Berlin: Springer; 2000.
- Fei-Chi Yang, Zhang, Y., Rheinstadter, M.C. The structure of people's hair. PeerJ. 2014; DOI: 10.7717/peerj.619.
- Rosen, M.R. Harry's Cosmetology. 9th ed. New York: Chemical Publishing Co.; 2015.
- Matamá, T., Costa, C., Fernandes, B., Cavaco-Paulo, A. Changing human hair fibre colour and shape from the follicle. JARE. 2023 Nov; DOI: 10.1016/j.jare.2023.11.013.
- Lakhanova, K.M., Kedelbaev, B., Yeleugaliyeva, N., Korazbekova, K. Study of melanin distribution in the hair cells of Karakul lambs of different colours. Small Ruminant Research. 20Apr; DOI: 10.1016/j.smallrumres.2022.106693.
- Barrera-Ochoa, C.A., Pepe, F. Fundamentals of Hair and Follicles. Plastic and Reconstructive Surgery Fundamentals. 2024 Nov; DOI: 10.1007/978-3-031-61894-9_20.
- Vaughn, M. Blonde hair colour: classification, characterisation and genetic associations for use in forensic science. 2010 Jan.
- Shimomura, Y., Christiano, A.M. Biology and genetics of hair. Annual Review of Genomics and Human Genetics. 2010; 11:109-132.
- Robbins, R. Chemical and Physical Behavior of Human Hair. 5th ed. Berlin: Springer; 2021.
- Popat, R.R., Zanke, A.A. A review on the natural resources use as hair colour and hair dye. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2020 May; 9(5):270-277. DOI: 10.20959/wjpps20205-16016.
- Dhamne, S.R., Shinde, P.S., Agrawal, S.A., Sanap, D.P. Formulation and Evaluation of Herbal Hair Colour. 2025 Mar; DOI: 10.53879/id.62.02.14584.
- Del Marmol, V., White, J.M. Diseases of Hair and Nails. Plastic and Reconstructive Surgery Fundamentals. 2025 May; DOI: 10.1007/978-3-031-78491-0_15.
- Rogers, G.E. Hair follicle differentiation and regulation. International Journal of Developmental Biology. 2004; 48:163-170.
- Morel, O.J.X., Christie, R.M. Current trends in the chemistry of permanent hair dyeing. Chem. Rev. 2011; 111:2537-2561.
- Wenninger, J.A., Canterbery, R.C., McEwen, G.N.J. International Cosmetic Ingredient Dictionary and Handbook. 8th ed. Washington, DC: Cosmetic, Toiletry and Fragrance Association; 2000.

16. Carvalho Leite Júnior, A. Hair Intellectualism: The New Era of Personalization in Hair Care. Ademir Carvalho Leite Júnior's Lab. 2025 Mar; DOI: 10.62742/2965-7911.2025.2.bjhh25.
17. Nath, S., Kalidas, S.S. Hair colour formulation/kit involving silver nanoparticles. Patent: 1599/CHE/2014. 2016 Aug.
18. Kato, Y., Cheung, V., Kitaguchi, S. Cultural preferences for hair colour. International Colour Association (AIC) Conference; 2006 Jan.
19. Maletic, A., Dumic-Cule, I., Zic, R., Milosevic, M. Impact of Hair Transplantation on Quality of Life. Aesthetic Plastic Surgery. 2023 Dec; DOI: 10.1007/s00266-023-03781-6.
20. Malinauskyte, E., Cornwell, P.A. Effect of equilibrium pH on the structure and properties of bleach-damaged human hair fibers. Biopolymers. DOI: 10.1002/bip.23401.
21. Nikouei Z. Identification of the structure of human hair and methods of hair care and maintenance. Scientific Quarterly Journal and New Approaches in Health Studies. Autumn 2021; 8. [In Persian]
22. Ito, S., Miyake, S., Maruyama, S., Suzuki, I., Commo, S., Nakanishi, Y., Wakamatsu, K. Acid hydrolysis reveals a low but constant level of pheomelanin in human black to brown hair. Pigment Cell & Melanoma Research. 2018; 31(3):393-403.
23. Queen, D., Avram, M.R. Hair Transplantation: State of the Art. Dermatologic Surgery. 2025 May; DOI: 10.1097/DSS.0000000000004675.
24. Ahn, H.J., Lee, W.S. An ultrastructural study of hair fiber damage and restoration following treatment with permanent hair dye. Int. J. Dermatol. 2002; 2:88-92.
25. da França Stefoni, S., Dario, M., Esteves, V.B., Baby, A.R. Types of Hair Dye and Their Mechanisms of Action. Cosmetics. 2015; 2:110-126. DOI:10.3390/cosmetics2020110.
26. Harrison, S., Sinclair, R. Hair coloring, permanent styling and hair structure. J. Cosmet. Dermatol. 2004; 2:180-185.
27. Dr Rajendra Gode College of Pharmacy, Shri Sant Gajanan Maharaj. A Review of the Natural Resources Used to Hair Color and Hair Care Products. World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences. 2020; College of Pharmacy Buldhana.
28. Hedberg, Y., Uter, W., Banerjee, P. Non-oxidative hair dye products on the European market: What do they contain? Contact Dermatitis. 2018 Jul; DOI: 10.1111/cod.13074.
29. Schwan-Jonczyk, A., Sendelbach, G., Flohr, A., Rust, R.C. Permanent Hair Waving. Cosmetic Dermatology. 2015 Oct; DOI: 10.1002/9781118655566.ch29.
30. Nutt, K.M., Thorstenson, C.A., Yorzinski, J. Gray hair influences perceived age and social perceptions. Frontiers in Psychology. 2025 May; DOI: 10.3389/fpsyg.2025.1541836.
31. Draelos, Z.D. A Clinical Evaluation of a Permanent Hair Dye Designed to Reduce Allergic Contact Dermatitis and Hair Damage. Journal of Cosmetic Dermatology. DOI: 10.1111/jocd.15212.
32. Chang, K., Wu, Y., Liu, Z. Hair perming via thiol-Michael click reaction: A strategy to avoid oxidative damage. International Journal of Cosmetic Science. 2025 Apr; DOI: 10.1111/ics.13063.
33. Petzel-Witt, S., Pogoda, W., Wunder, C. Influence of bleaching and coloring on ethyl glucuronide content in human hair. DOI: 10.1002/dta.2206.
34. Schlatter, H., Long, T., Gray, J. An overview of hair dye safety. Journal of Cosmetic Dermatology. 2017; 6:32-36.
35. Sadeghi-Kiakhani M, Tehrani-Bagha AR, Safapour S, Etezzad SM. Ultrasound-assisted extraction of natural dyes from Hawthorn fruits for dyeing polyamide fabric and study its fastness, antimicrobial, and antioxidant properties. Environment, Development and Sustainability. 2021; 23(4). DOI: 10.1007/s10668-020-01017-0
36. Sadeghi-Kiakhani M, Tehrani-Bagha AR, Gharanjig K, Hashemi E. Use of Pomegranate peels and Walnut Green husks as the green antimicrobial agents to reduce the consumption of inorganic nanoparticles on wool yarns. Journal of Cleaner Production. 2019; 231(5). DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.05.283
37. Safapour S, Sadeghi-Kiakhani M, Es'haghloo-Galougahi S. Extraction, dyeing, and antibacterial properties of Crataegus Elbursensis fruit natural dye on wool yarn. Fibers and Polymers. 2018; 19(7):1428-1434. DOI: 10.1007/s12221-018-7643-z
38. Sadeghi-Kiakhani M, Safapour S, Mirnezhad S. Thermodynamic and kinetic studies of the adsorption behaviour of the natural dye cochineal on polyamide 66. Review of Progress in Coloration and Related Topics. 2018; 134(4). DOI: 10.1111/cote.12342
39. Sadeghi-Kiakhani M, Safapour S, Sabzi F, Tehrani-Bagha AR. Effect of Ultra Violet (UV) Irradiation as an Environmentally Friendly Pre-Treatment on Dyeing Characteristic and Colorimetric Analysis of Wool. Fibers and Polymers. 2020; 21(1):179-187. DOI: 10.1007/s12221-020-9154-y
40. Sadeghi-Kiakhani M, Tehrani-Bagha AR, Miri FS, Safi M. Eco-Friendly Procedure for Rendering the Antibacterial and Antioxidant of Cotton Fabrics via Phyto-Synthesized AgNPs With Malva sylvestris (MS) Natural Colorant. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 2022; 9. DOI: 10.3389/fbioe.2021.814374
41. Mirnezhad S, Sadeghi-Kiakhani M, Hashemi E. Wool dyeing using Ziziphus bark extract as a natural dye: studies on the dyeing, antibacterial, and antioxidant characteristics. Environmental Science and Pollution Research. 2023; 30(18):1-14. DOI: 10.1007/s11356-023-25682-6

42. Sadeghi-Kiakhani M, Tehrani-Bagha AR, Miri FS, Safi M. Application of *Achillea millefolium* extract as a reducing agent for synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) on the cotton: antibacterial, antioxidant and dyeing studies. *BioMetals*. 2022; 35(2). DOI: 10.1007/s10534-022-00366-9
43. Sadeghi-Kiakhani M, Hashemi E, Miri FS, Etezzad SM. Dyeing of Nylon Fabric with Two Natural Dyes, Saffron (*Crocus sativus* L.) and Weld (*Reseda luteola* L.), and Study Their Dyeing, Antioxidant, and Antibacterial Properties. *Fibers and Polymers*. 2023; 24(1):1-10. DOI: 10.1007/s12221-023-00040-y
44. Cai Y, Xiao L, Ehsan MN. Green penetration dyeing of wool yarn with natural dye mixtures in D5 medium. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023; 25. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.07.081
45. Ariansab F, Salimi H, Benazadeh A. Permanent hair dyes, their formulation, mode of action and substitution reactions. *Journal of Studies in Color World*. 2013; 3:55-68. [In Persian]
46. Towns, A. A review of developments in industrial hair colorant actives for oxidative dyes. *Coloration Technology*. 2021; 137:301–335.
47. Sun, Y., Wang, C., Sun, M., Fan, Z. Bioinspired polymeric pigments to mimic natural hair coloring. *RSC Advances*. 2021; 11:1694-1699.
48. Iwata, H., Shimada, K. *Formulas, Ingredients and Production of Cosmetics: Technology of Skin- and Hair-Care Products in Japan*. Tokyo: Springer; 2013.
49. Jayaganesh, S., Jainendra, M., Rawat, B.S., Venkataramana, A.P. Influence of gamma radiation on microbial and viscosity parameters of henna-based hair colour. *International Journal of New Technology and Research*. 2016; 2:11-15.
50. Rowe, R.C., Sheskey, P.J., Owen, S.C. *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. 5th ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers; 2006.
51. Flick, E.W., Anderow, W. *Cosmetology: Global Media*. 1st ed. New Delhi: GLOBAL MEDIA; 2007. ISBN-10: 8189940457.
52. Flick, E.W. *Cosmetic & Toiletry Formulation*. 1st ed. 1999.
53. Christie, R.M., Morel, O.J.X. The Coloration of Human Hair. In: *The Coloration of Wool and Other Keratin Fibres*. 2013 Jun; DOI: 10.1002/9781118625118.ch11.
54. Yildirim, A., Demir, B., Izgi, B.A.K. The Chemistry Mechanism of Hair Dyes. *Middle East Journal of Science*. 2022; 8(2):173-193. e-ISSN:2618-613.
55. Liu, Y., Fang, Y., Lu, X., Wei, Z., Li, X. Hydrogenation of nitrobenzene to p-aminophenol using Pt/C catalyst and carbon-based solid acid. *Chemical Engineering Journal*. 2013; 229:105-110. DOI:10.1016/j.cej.2013.05.114.
56. Hudari, F.F., Almeida, L.C., Silva, B.F., Zanoni, M.V.B. Voltammetric sensor for simultaneous determination of p-phenylenediamine and resorcinol in permanent hair dyeing and tap water by composite carbon nanotubes/chitosan modified electrode. *Microchemical Journal*. 2014; 116:261–268.
57. *Ann Dermatol*. P-Phenylenediamine Hair Dye Allergy and Its Clinical Characteristics. *Annals of Dermatology*. 2018; 30(3):pISSN 1013-9087 • eISSN 2005-3894.
58. Kojima, T., Yamada, H., Yamamoto, T., Matsushita, Y., Fukushima, K. Dyeing regions of oxidative hair dyes in human hair investigated by nanoscale secondary ion mass spectrometry. *Colloid Surf. B*. 2013; 106:140–144.
59. Ghoroi, C., Shah, J. *Process Design and Economics of Production of p-AminoPhenol*. Indian Institute of Technology; 2021.
60. Rode, C.V., Vaidya, M.J., Jaganathan, R., Chaudhari, R.V. Hydrogenation of nitrobenzene to p-aminophenol in a four-phase reactor: reaction kinetics and mass transfer effects. *Chemical Engineering Science*. 2001; 56(4):1299-1304.
61. Christie, R.M. *Colour Chemistry*. 2nd ed. London: Royal Society of Chemistry; 2015.
62. Ghoroi, C., Shah, J. Para-aminophenol (PAP) Market 2021: Emerging Opportunities, Key Trends, Sales Growth, Market Value-Chain and Forecast to 2026 with Top Countries Data. *Market Watch*; 2021.
63. Bobale SS, Mathpati SS, Kore RD. Formulation and Evaluation of Herbal Hair Dye. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*. 2025. DOI: 10.48175/-24476
64. Correia M, Lopes J, Lopes D. Nanotechnology-based techniques for hair follicle regeneration. *Biomaterials*. 2023; 302(2). DOI: 10.1016/j.biomaterials.2023.122348
65. Fileto MB, Pinto CASO, Dario MF, BabyAR, Seawater's contribution to hair damage: the interactions with bleaching and dyeing processes. *Brazilian Journal of Hair Health*. 2025; 2(1): bjhh30. DOI: 10.62742/2965-7911.2025.2.bjhh30
66. Jusuf NK, Subramaniam Y. The Relationship between Types of Hair Coloring with Hair Damages and Scalp Problems in Medical Students of University Sumatera Utara, Indonesia. *International Archives of Medicine*. 2016; 9. DOI: 10.3823/1940
67. Khalse M, Patel K, Pawar V, Effectiveness of luliconazole vs ketoconazole topical formulation in reversing damaged hair cuticle. *Indian Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 2024; 11(1): 50-55. DOI: 10.18231/j.ijpp.2024.009
68. Jung SB, Jang JY. Surface Color and Dyeing Amount of Natural Hair Dyeing Using Cochineal. *Journal of the Korean Society of Cosmetology*. 2024; 30(6): 1503-1511. DOI: 10.52660/JKSC.2024.30.6.1503

69. Ma X, Zhu X, Lv S, Chen H, et al. 3D bioprinting of prefabricated artificial skin with multicomponent hydrogel for skin and hair follicle regeneration. *Theranostics*. 2025; 15(7): 2933-2950. DOI: 10.7150/thno.104854
70. Sivaranjani G, Karuveetil V. Effect of Coloring Pigments on the Properties of Dental Zirconia—A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*. 2025; 37(1). DOI: 10.1111/jerd.13441
71. Xinyu Mu. Research Progress on the Application of Stem Cells in Hair Regeneration. *Highlights in Science Engineering and Technology*. 2024; 123:658-665. DOI: 10.54097/pzw62505
72. Seeun Y, Okyeoun K. Effects of Silk Amino Acids on Hair. *Asian Journal of Beauty and Cosmetology*. 2024; 22(2):249-260. DOI: 10.20402/ajbc.2024.0006
73. Do MK, Kazimierska K, Zaliwska D. Hair Graying: Mechanisms, Prevention, and Innovative Treatment Strategies – Literature Review. *Quality in Sport*. 2024; 22:54296. DOI: 10.12775/QS.2024.22.54296
74. Hu Y, Wei Z, Wu X. Efficacy of *Thermus thermophilus* Fermentation Extract in Promoting Hair Growth and Improving Scalp Health in Androgenic Alopecia: A Clinical and In Vitro Study. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 2025; 24(3). DOI: 10.1111/jocd.70095
75. Grosjacques C, Babel S, Hodes J. Carbonylation of Hair Proteins: A Robust Biomarker of Molecular and Structural Oxidative Damage in Hair Fibres. *International Journal of Cosmetic Science*. 2025. DOI: 10.1111/ics.13052
76. Fazzari V, Moo-Choy A, Panoyan MA. Multi-ancestry Tandem Repeat Association Study of Hair Color Using Exome-wide Sequencing. 2024. DOI: 10.1101/2024.02.24.581865
77. Fernández E, Teipel BM, Armengol R. Efficacy of Antioxidants in Human Hair. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2012; 117C:146-156. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2012.09.009
78. Gonzalez JM, Dubrovsky JG. Amino Acids Biosynthesis in Root Hair Development: A Mini-Review. *Biochemical Society Transactions*. 2024; 52(4). DOI: 10.1042/BST20231558
79. Chang K, Wu Y, Liu Z, et al. Hair Perming via Thiol-Michael Click Reaction: A Strategy to Avoid Oxidative Damage. *International Journal of Cosmetic Science*. 2025; DOI: 10.1111/ics.13063
80. White JM, Marmol VD. Diseases of Hair and Nails. In: *Dermatology Cyberderm WebBook*. May 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-78491-0_15
81. Naik MSK, Karnewar MUR, Tirbhane MPS, et al. Formulation and Evaluation of Polyherbal Hair Dye. *International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology*. 2025; DOI: 10.48175/IJARSCT-22966
82. Cheng SY, Yuen CWM, Kan CW, Cheuk KKL. Effect of Hair Damage on Colour Uptake and Colour Fastness. *Research Journal of Textile and Apparel*. 2009; 13(1):1-10. DOI: 10.1108/RJTA-13-01-2009-B001.
83. Abrar S, Anjum N, Iqbal S, Arshad M, et al. Hair Care Science and the Role of Cosmeceuticals. In: *Sustainable Cosmeceuticals*. May 2025. DOI: 10.1007/978-3-031-86087-4-11
84. Pozdnyakova VF, Senchenko MA. Hair structure of the open range cattle. *The Agrarian Scientific Journal*. November 2024. DOI: 10.28983/asj.y2024i11pp96-100
85. Kutlu Ö, Wollina U. Management of Hair Loss. In: *Textbook of Cosmetic Dermatology*, 6th Edition, Chapter 28. Taylor & Francis, CRC Press, Boca Raton, FL. November 2024. DOI: 10.1201/b22897-28
86. Sowińska T, Łabuda M, Słojewska A, Knyszalska K, et al. Hair Loss: Pathogenesis and Prevention: A Literature Review. *Quality in Sport*. May 2025; 41:59999. DOI: 10.12775/ Q.S.2025.41.59999
87. Kumar KS. Formulation and Evaluation of 100 Herbal Hair Dye. Conference: ICBTM 2024. October 2024. DOI: 10.13140/RG.2.2.34214.54085
88. Sarambai FWB, Sli DD, Lestari R. Physical and psychological impact of Hair Removal after a craniotomy. *JNKI (Jurnal Ners dan Kebidanan Indonesia) (Indonesian Journal of Nursing and Midwifery)*. March 2025; 13(1):85-95. DOI: 10.21927/jnki.2025.13(1).85-95
89. Prohic A. Hair Disorders. In: *Dermatovenerology Textbook*. December 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-66131-0_24
90. Kumar GK, Hariprasath GM, Mukesh R, Sridevi M, et al. Formulation of herbal based hair colour from *Phyllanthus reticulatus*. *Natural Product Research*. December 2023; 39(2):1-7. DOI: 10.1080/14786419.2023.2290680
91. Barrera-Ochoa C A, Pepe F. Fundamentals of Hair and Follicles. In: *Plastic and Reconstructive Surgery Fundamentals*. November 2024. DOI: 10.1007/978-3-031-61894-9_20
92. Bento EB, Matos C, Ribeiro Junior H L. Successful treatment of hair loss and restoration of natural hair color in patient with alopecia areata due to psychological disorder using exosomes: case report with 6-month follow-up. *Cosmetics*. 2025 May; 12(3):97. DOI: 10.3390/cosmetics12030097
93. Montiel Gonzalez J, García Soto I, James E K. Aromatic amino acid biosynthesis impacts root hair development and symbiotic associations in *Lotus japonicus*. *Plant Physiology*. 2023 Jul; 193(1). DOI: 10.1093/plphys/kiad398
94. Tripathy P. Lower bound of black hole hair in pure Lovelock theory of gravity. *International Journal of Modern Physics D*. 2025 Mar; 34(05). DOI: 10.1142/S0218271825500178

95. Song S H, Park H S, Lim B T, Son S K. Biomimetics through bioconjugation of 16-methylheptadecanoic acid to damaged hair for hair barrier recovery. Scientific Reports. 2024 Nov; 14(1). DOI: 10.1038/s41598-024-78770-z
96. Thiels K. Hair Transplants. In: Botox, Facelift, Fillers, and More. March 2025. DOI: 10.1007/978-3-662-70223-9_18
97. Irizarry Y. The Irizarry Hair Texture Scale. April 2025. DOI: 10.31235/osf.io/u4zkh_v3. License: CC BY-NC-ND 4.0
98. Estrada S, Montalvan-Burbano N, Cabrera M R, Innovation and Entrepreneurship: A Colour Economy Glance. SHS Web of Conferences, 2025, 211: 01001.
99. Dhananjay KV, Gosavi GP, Venkat MS, Tukaram NV. A Review on Formulation and Evaluation of Herbal Hair Serum. International Journal of Advanced Research in Science Communication and Technology. March 2025. DOI: 10.48175/IJARSCT-23928
100. Hernandez-Vera U. Lack of influence of the scalar hair on the DC conductivity. Physical Review D. April 2025; 111(8). DOI: 10.1103/PhysRevD.111.084035. License: CC BY 4.0
101. The 8 Best Professional Hair Color Brands, According to Hair Experts: 2025, Available from <https://www.byrdie.com/best-professional-hair-color-lines-348331>
102. Hair Color Market Analysis Europe, North America, APAC, South America, Middle East and Africa - US, Germany, China, UK, Canada, Brazil, France, India, Italy, Japan - Size and Forecast 2025-2029: 2025, Available from [<https://www.technavio.com/report/hair-color-market-industry-analysis>].