

Hair Structure and Coloring Mechanisms: From Scientific Principles to Application

Yasin Ramin¹, Mousa Sadeghi-Kiakhani^{1*}, Farhad Ameri^{2*}

1 -Department of Organic Colorants, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

2 -Department of Color Physics, Institute for Color, Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received:07-07-2025

Accepted:05-08-2025

Available online: 29-12-2025

Print ISSN: 2251-7278

Online ISSN: 2383-2223

DOI: 10.30509/jscw.2025.167557.1240

Keywords:

Hair colorant

Temporary color

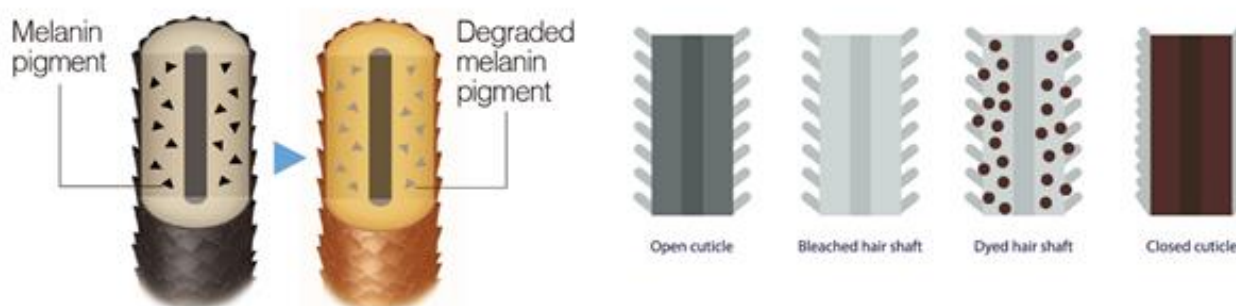
Semi-permanent color

Permanent color

ABSTRACT

Despite the 150-year history of using industrial hair dyes in the world, technical knowledge and scientific research in this field is very limited in Iran. Unfortunately, until now, no coherent and applied research has been conducted on hair dye formulations and compositions in the country, and manufacturers have mainly limited themselves to reproducing ready-made formulas. While the global industry is evolving at a high speed and moving towards the production of new color ranges and environmentally friendly technologies, in Iran the main focus remains on basic shades such as black, brown and red. This article deals with the scientific study of this industry in two main sections: analyzing the hair structure as the main basis of the dyeing process, examining the various mechanisms of hair dyes and their mode of operation. By understanding these fundamentals, it is possible to achieve optimal methods of applying color and developing new formulations. This article emphasizes the need to develop indigenous knowledge and new technologies in the hair dye industry so that Iran can achieve the production of diverse, safe, and high-quality products in line with global advances.

Mechanism of hair dyeing



Corresponding author:

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



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ساختار مو و سازوکارهای 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.
- 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.

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 فرمول‌بندی و ترکیبات رنگ مو 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 محیط‌زیست 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 فرایند رنگ کردن، بررسی سازوکارهای 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 فرمول‌بندی‌های جدید دست یافت. تأکید این مقاله بر لزوم توسعه دانش بومی و فناوری‌های نوین در صنعت رنگ مو است تا ایران نیز بتواند همگام با پیشرفت‌های جهانی به تولید محصولات متنوع، ایمن و باکیفیت دست یابد.

اطلاعات مقاله

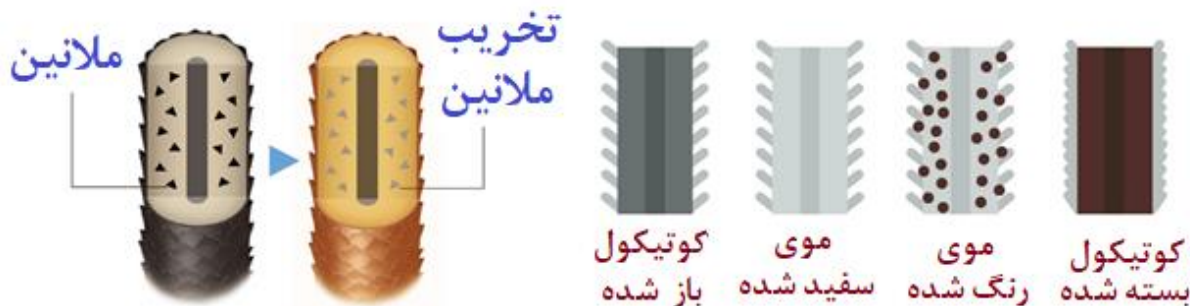
تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۴
در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸
شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۲۷۸
شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۲۲۳

DOI: 10.30509/jscw.2025.167557.1240

واژه‌های کلیدی:

رنگ مو
رنگ موقت
رنگ نیمه دائمی
رنگ دائمی

سازوکار رنگ کردن مو



Corresponding author:

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



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

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 جوان تر شود و هم ظاهری متمایز داشته باشد. مو از مهم ترین 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 قرار می گیرد (۱).

این مقاله با رویکردی علمی و نظام مند به بررسی ساختار مو و سازوکارهای 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 یک پارچه 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 فرمول بندی های بومی و کاهش وابستگی به فناوری های وارداتی باشد.

۲- کاراندازشناسی^۱، 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 زیستی 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، ۲).

۲-۲- تعریف و نقش مو

مو یک ساختار فرعی یا ضمائم 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 پرتو 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، ۴).

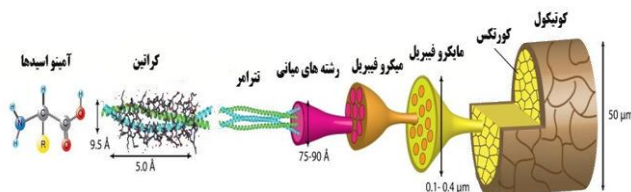
۲-۳- ساختمان مو

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

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.

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 بور^۲ 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؛

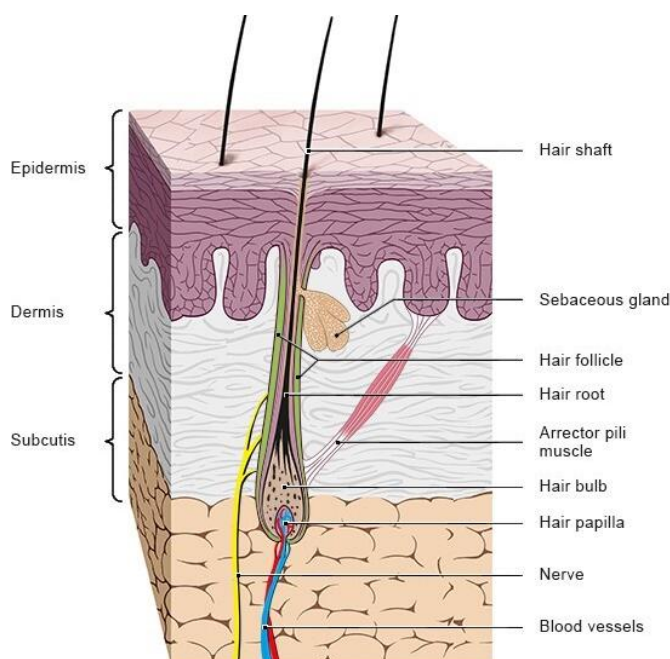


شکل ۱: ساختمان مو (۴).

Figure 1: Hair structure (4).

² Blond

¹ Physiology



شکل ۲: ساختار کامل مو به همراه پوست (۱۲).

Figure 2: Complete structure of hair with skin (12).

سباسبه و ماهیچه راست کننده تار مو 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 قشرییا 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 بستر غنی از گوگرد با اتصالات عرضی شیمیایی قرار گرفته است، در حالی که 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 پياز 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).

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 (۶-۴).

در گام بعدی 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 انگستروم می رسد و آن ها نقش مهمی در حفظ یکپارچگی و استحکام ساختاری مو دارند (۸، ۷).

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 منحصر به فردی از جمله مقاومت بالا در برابر آسیب های محیطی، کشش و تنش مکانیکی می دهد و باعث می شود موها علاوه بر ظاهر زیبایی که دارند، کارایی و دوام بالایی ساختاری نیز داشته باشند (۱۱، ۱۰).

۲-۴- تشریح ساختار مو

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

محققین نشان دادند که چگونه هر فولیکول مو از برهم کنش 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.

سلول های اپیدرمی مجاور زائده درمی، تکثیر یافته و ستونی از سلول های کراتینه شده، ساقه مو را ایجاد می نماید. همان طور که این سلول های کراتینی طویل می شوند، 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

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 پروتئینها؛ پیوندهای دیسولفیدی که اتصالات عرضی درون و بین مولکولی را در داخل و بین پروتئینهای ساختاری تشکیل می‌دهند (۲۹، ۳۰). در جدول ۱ انواع پیوندهای شیمیایی که در ساختار مو وجود دارد به همراه نقش آنها آورده شده است (۲۹، ۳۰).

۳- واکنش های مهم در مو

مهم‌ترین واکنش‌هایی که در مو اتفاق می‌افتد به شرح زیر است (۳۲): (۳۱).

۳-۱- واکنش با آب و بخار

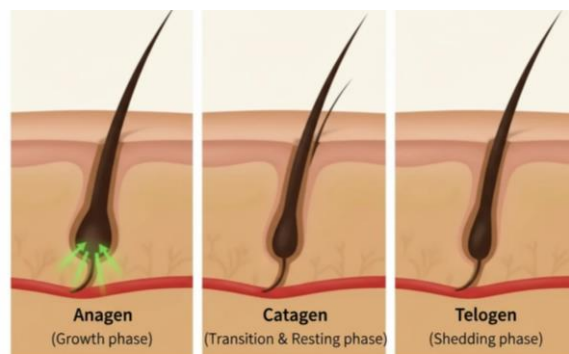
ساده‌ترین روش برای نرم کردن مو، استفاده از آب است. آب به پیوندهای هیدروژنی مو نفوذ کرده و انعطاف‌پذیری آن را افزایش می‌دهد. این حالت پس از خشک شدن مو حفظ خواهد شد (۳۳).

۳-۲- واکنش های پیوند دیسولفیدی

حالت دائم مو (مانند فر دائمی) به دلیل پیوندهای دیسولفیدی است، پیوندهای دیسولفیدی 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 سیستم موجود در کراتین، معمولاً به عنوان کاهنده پیوند دیسولفیدی شناخته می‌شود. واکنش سولفیت‌ها با پیوندهای دیسولفیدی، 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 اکسیدکننده ضعیف استفاده شود تا از وقوع اکسایش در مرحله دیسولفیدی ممانعت به عمل آید (۳۴-۳۶).



Hair Growth Cycle

شکل ۳: رویش مو (۲۶).

Figure 3: Hair growth (26).

۲-۵- رویش مو

تقریباً تمام فولیکول‌های مو فعالیت رشد چرخه‌ای را تجربه می‌کنند (شکل ۳). یک مرحله فعال به نام آنژن که در آن مو تولید می‌شود، به صورت متناوب با دوره استراحتی به نام تلوزن جایگزین می‌شود (۲۶-۲۵). در انتهای مرحله تلوزن، فولیکول با رشد رو به پایین جوانه ثانویه به منظور بازسازی پاپیلای پوستی، مجدداً فعال می‌شود؛ به این ترتیب، بستر دوباره شکل گرفته و موی جدید شروع به شکل‌گیری می‌کند. سرعت رشد معمول برای موی انسان ۰/۳-۰/۵ میلی‌متر در روز می‌باشد و تعداد فولیکول مو بین صد هزار تا صدوپنجاه هزار تخمین زده می‌شود (۲۷، ۲۸).

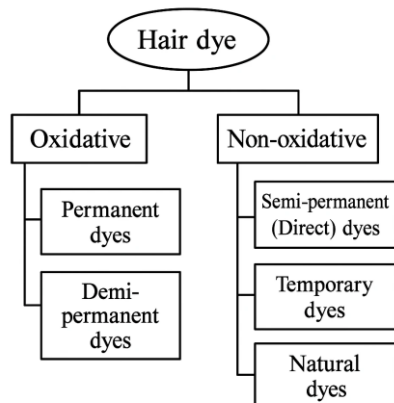
۲-۶- ساختار شیمیایی مو

تار مو تقریباً از ۸۵ درصد پروتئین پیچیده‌ای بنام کراتین و حدود ۷ درصد آب تشکیل شده است. از دیگر ترکیبات اصلی، لیپید به مقدار ۳ درصد و رنگدانه ۲ درصد می‌باشد. آخرین جزء، ملانین بوده که در فرایند سنتز زیستی، از اسید آمینه تیروزین بدست می‌آید. 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 سلول‌های قشری، مشتق شده‌اند. مهم‌ترین ماده،

جدول ۱: انواع پیوندهای شیمیایی در ساختار مو (۲۹).

Table 1: Types of chemical bonds in the hair structure (29).

Site of interaction / Location of occurrence	Primary function / Main role	Breakability / Susceptibility to cleavage	Type of bond
Between amino acids	Formation of the primary protein structure	-	Peptide bond
Between keratin strands	Provides strength and structural stability	Reduced by reducing agents	Disulfide bond / S-S bond
Between chains / Interchain	Internal structural stabilization	Affected by water/heat	Hydrogen bond



شکل ۴: طبقه‌بندی رنگ مو (۲).
Figure 4: Hair color classification (2).

۴-۱-۱- 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، ۴۶، ۴۷):

- 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 قهوه‌ای مایل به قرمز
- میخک و دارچین: فام قهوه‌ای مایل به قرمز

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

- محدودیت فام رنگ‌هایی 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 با توجه 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 با توجه 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).

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 فرایند فر دایمی مو ایفا می‌نماید (۳۷-۳۹).

۳-۵- اکسایش

هدف اصلی از سفید کردن موی انسان، روشن کردن مو است و توسط اکسایش انجام می‌شود. باین 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 اکسایش 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 فرایند سفید کردن مو، اکسایش عمدتاً به پیوندهای درون‌این 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، ۲۵). پیوندهای دی‌سولفیدی که پیوندهای کلیدی در ساختار و استحکام پروتئین کراتین که ماده اصلی تشکیل دهنده مو دارند. هرچند هدف اصلی فرایند اکسایش 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).

۴-۴- 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):

۴-۱-۱- رنگ‌های بدون اکسنده

رنگ‌های بدون اکسنده 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 (۴۵-۴۳).

۴-۱-۲- رنگ‌های موقت

رنگ‌های موقت، رنگ‌های غیراکسنده‌ای می‌باشند که دوام کمی بر روی مو داشته و همچنین بیشترین حلالیت در آب را 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 اتصال رنگدانه‌ها به سطح کوتیکول در محصولات موسوم به رنگ‌موهای موقتی، در مطالعات پیشین مورد بررسی قرار گرفته است (۵۸-۵۶).

۴-۱-۳- نیمه دائمی (رنگ‌های مستقیم)

رنگ موهایی هستند که می‌توانند بدون رنگدایی و به دلیل جرم مولی کمی که دارند داخل کوتیکول نشست و بر اساس پیوندهای ضعیف واندروالسی 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، غلظت‌دهنده‌ها، سطح فعال‌ها و عطر هستند و معمولاً برای بهینه‌سازی فرایند رنگ کردن مو pH بین ۹ تا ۱۰ می‌باشد. در فرمول‌بندی این محصولات، درجه‌های 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 اتانل 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، آزونیک 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 اکسنده

رنگ‌های اکسنده 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. فرایند اکسایش 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 نیمه‌دائمی: عامل قلیایی

از فرایند اکسایش برای تغییر رنگ مو در رنگ موهای دائمی و نیمه‌دائمی استفاده می‌شود، اما تفاوت‌های اساسی در ترکیبات شیمیایی، عملکرد، ماندگاری و تأثیر بر مو وجود دارد. رنگ‌های دائمی معمولاً حاوی آمونیاک یا مونو اتانل 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 فرایند روشن‌کنندگی مو کمک می‌کند (۷۹).

در رنگ‌های نیمه‌دائمی معمولاً از مونو اتانل 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

پیش‌ماده اولیه، ب- جفت M یا پیش ماده ثانویه و ج- پراکسید هیدروژن (۸۷، ۸۶، ۳-۱).

الف-پیش‌ماده اولیه: پارا آمینوفنول‌ها و پارا فنیل‌دی‌آمین‌ها الکترون‌دهنده‌های قوی هستند که باعث افزایش بیشینه جذب رنگ ایندویی می‌شوند. این ویژگی باعث می‌شود که آمینوفنول‌ها در واکنش‌های الکتروفیلی و اکسایش پایداری بالایی داشته باشند. بنابراین، آن‌ها به عنوان پیش‌ماده‌های 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 (۸۸-۹۱).

ب-جفت M یا پیش‌ماده ثانویه: در جفت‌شونده‌ها، هرچه گروه قرار گرفته در استخلاف موقعیت متا، الکترون‌دهنده‌تر باشد، بیشینه 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 پیش‌ماده‌های اولیه و ثانویه با اهمیت و اثر آنها بر روی رنگ ایجاد شده در جدول ۲ آورده شده است (۹۲-۹۴).

است. رنگ‌های نیمه‌دائمی‌همچنین 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).

رنگ‌های دائمی به دلیل نفوذ عمیق‌تر و تغییرات قابل‌توجه 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).

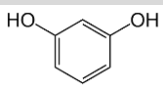
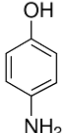
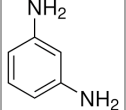
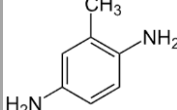
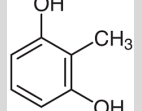
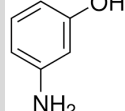
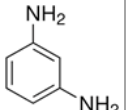
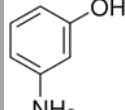
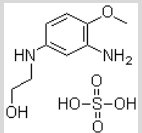
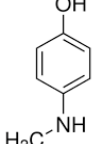
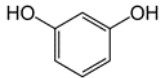
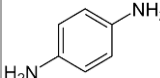
رنگ‌های نیمه دائمی به طور طبیعی دارای ماندگاری کمتری هستند و معمولاً برای ۴ تا ۶ هفته دوام دارند. این رنگ‌ها به تدریج با شستشوی مو از بین می‌روند. این رنگ‌ها بیشتر برای افرادی مناسب‌اند که به دنبال تغییرات موقت و غیردائمی هستند. مثلاً برای مردان که موی خیلی کمتری نسبت به زنان دارند، مطلوب است پس از رنگ‌کردن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

۳-۴ سازوکار ایجاد رنگ مو

جهت ایجاد رنگ روی مو نیاز به سه عامل اصلی می‌باشد: الف-

جدول ۲: اثر برخی از پیش‌ماده‌های اولیه و ثانویه بر روی رنگ ایجاد شده (۹۴).

Table 2: Effect of some primary and secondary precursors on the produced color (94).

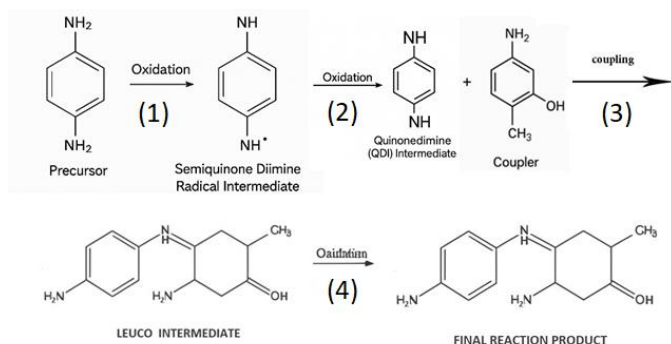
Produced Color (Approx.)	Secondary Precursors	Primary
Golden Blonde, Light Brown	 Resorcinol	 p-Aminophenol
Dark Brown, Black	 m-Phenylenediamine	 Toluene-2,5-Diamine
Reddish Brown	 2-Methylresorcinol	 m-Aminophenol
Olive Brown, Gray	 m-Phenylenediamine	 m-Aminophenol
Ash Blonde, Silver	 2-Amino-4-Hydroxyethylanisole	 p-Methylaminophenol
Dark Brown	 Resorcinol	 p-Phenylenediamine

نحوه جذب، ماندگاری و شرایط مناسب برای جذب آنها بر روی مو در جدول ۴ آورده شده است (۹۸-۱۰۰، ۹۸-۱۰۰).



شکل ۵: نمونه کالیته رنگ که انواع رنگ را جهت انتخاب مشتری به نمایش می گذارند (۹۵).

Figure 5: Example of color quality that displays a variety of colors for custome (95).



شکل ۶: مراحل تشکیل رنگ از یک واسطه اولیه تا جفت شدن با واسطه ثانویه و تشکیل رنگ (۹۷).

Figure 6: The steps of dye formation from a primary intermediate to coupling with a secondary intermediate and dye formation (97).

جدول ۳: عوامل مؤثر بر نفوذ رنگ (۹۹).

Table 3: Factors affecting dye penetration (99).

Effect	Factor
Smaller molecules penetrate the hair more easily	Smaller molecules penetrate the hair more easily
Cationic dye molecules exhibit greater absorption due to the negative charge of the cuticle.	Electric charge of the
Cationic dye molecules exhibit greater absorption due to the negative charge of the cuticle.	pH of the medium
Damaged hair has a loosened cuticle, resulting in greater dye absorption.	Physical condition of the hair

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

۴-۴- سازوکار واکنش

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

مرحله اول: در محیط اکسایش پیش‌ماده اولیه که در اینجا PPD یا پارافنیل دی آمین می‌باشد و تبدیل به یک واسطه شیمیایی به نام رادیکال شبه‌کینون‌ایمین می‌گردد.

مرحله دوم: در این مرحله، اکسایش مجدد واسطه تولیدشده در مرحله اول انجام می‌شود و رادیکال شبه‌کینون دی‌ایمین در این فرایند به یک ترکیب پایدارتر به نام کوئینون دی‌ایمین تبدیل می‌شود و آماده جفت‌شدن می‌گردد.

مرحله سوم: در این مرحله، واسطه کوئینون دی‌ایمین (QDI) با یک جفت‌شونده (مثلاً ۲-آمینو-۴-متیل فنول) واکنش می‌دهد. 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 فرایند تحت اکسایش قرار می‌گیرد. اکسایش باعث تبدیل لکو به محصول نهایی رنگ که قهوه‌ای تیره است، می‌شود (۹۹، 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 فرمول‌کننده (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 فرمول‌بندی رنگ‌های مو تأثیرگذار باشد و به آن‌ها کمک کند تا رنگ‌های مو با ویژگی‌های خاصی مانند پایداری بیشتری نفوذ بهتر ایجاد کنند (۱۰۰-۹۸). در جدول ۳، عوامل مؤثر بر نفوذ رنگ به همراه تأثیر آنها در فرایند رنگ‌کردن اشاره شده 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،

جدول ۴: نحوه جذب انواع مختلف رنگ بر لایه های داخلی مو (۱۰۰).

Table 4: Different types of dye absorbed into the inner layers of hair (100).

Chemical Reaction	Durability	Optimal pH	Cortex Penetration	Cuticle Interaction	Type of Hair Dye
-	2-4 washes	4.5-5.5	None	Surface / Very slight	Natural
-	1-2 washes	6.5-7.0	None	Surface / Very slight	Temporary
-	4-6 washes	6.7-7.0	Surface / Very slight	Surface / Slight	Semi-permanent (Direct dyes)
Surface oxidation ¹	4-8 weeks	7.5-8.0	Slight penetration	Slightly lifted	Demi-permanent
Full oxidation ²	Long-lasting	9.0-10.0	Deep penetration	Fully lifted	Permanent

۶- نسل های مختلف و انتخاب رنگ موی آن ها

استفاده از رنگزاهای طبیعی یا مصنوعی یکی از عواملی است که به درک ترجیحات فرهنگی و زیبایی شناختی نسل های مختلف کمک می کند. بر اساس اطلاعات استخراج شده از مقالات، منبع ترجیحات رنگ مو میان نسل های مختلف و روندهای تاریخی آنها در زیر اشاره شده است و بطور مختصر در جدول ۵ ترجیحات رنگ مو بین نسل های مختلف مقایسه شده است (۱۰۲).

۷- نمانام های برتر رنگ مو در دنیا

بهترین برندهای رنگ موی حرفه ای دنیا بر اساس مجله Byrdie که در زمینه رنگ مو معروف می باشد، بررسی شده است و توسط آرایشگران و متخصصان سالن های زیبایی برای دستیابی به نتیجه مطلوب، رنگ طبیعی و ماندگار استفاده می شوند. انتخاب بهترین نمانام ها بر اساس کیفیت، پوشش دهی، ماندگاری، شفافیت رنگ، رایحه ملایم و کمترین آسیب به مو انجام می شود. در جدول ۶ به نمانام های مختلف رنگ مو از نظر کیفیت و کاربرد آورده شده است (۱۰۱). همچنین نشان تجاری برندهای مختلف در شکل ۷ ذکر شده است.

- نسل های جوان تر این نسل ها به رنگ های روشن و غیر متعارف علاقه مند هستند. محبوب ترین رنگ های انتخابی آنها شامل دو گروه است:
- رنگ های پاستلی مانند صورتی روشن، آبی یخی و بنفش ملایم.
- رنگ های پررنگ و جسورانه مانند آبی، سبز فسفری و قرمز که این نسل تمایل زیادی به رنگزاهای موقت و نیمه دائمی دارند تا بتوانند سریع تر 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). افرادی این گروه بیشتر به رنگ های طبیعی و ملایم علاقه نشان می دهند. انتخاب های رایج این گروه به بخش های زیر تقسیم بندی می شود:
- انواع فام های قهوه ای و بلوند طبیعی.
- هایلایت های ملایم برای روشن تر کردن مو. اولویت این گروه بیشتر بر پوشش موهای خاکستری و حفظ ظاهری طبیعی و آراسته است. بسیاری از افرادی این نسل از رنگ های دائمی استفاده می کنند که ماندگاری طولانی تری دارند.
- نسل های مسن تر. ترجیح این گروه به رنگ های سنتی و طبیعی معطوف است که نزدیک ترین رنگ به موی اصلی آنها باشد و هدف اصلی استفاده از رنگ مو در این گروه معمولاً پوشاندن موهای



شکل ۷: نمانام های برتر رنگ مو.

Figure 7: Top hair dye brands.

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

^۲ اکسید شدن 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 می شود.

^۳ Brand

جدول ۵: مقایسه ترجیحات رنگ مو بین نسل‌ها (۱۰۲).

Table 5: Comparison of hair colorant preferences between generations (102).

Popular Colors	Type of Dye	Main Purpose	Generation
Pastel, Fantasy	Temporary / Semi-permanent	Creative self-expression	Younger – Gen Z
Natural, Multilayered	Permanent	Gray coverage+ Rejuvenation	Middle-aged– Gen X
Natural-like	Permanent / Natural	Calm appearance+ Wellbeing	Older– Silent Generation

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).

Type of Dye	Main Features	Primary Application	Brande
Permanent / Cream	Full gray coverage, high color stability	All hair types	Wella Professionals
Permanent / Demi-permanent	Affordable price, ammonia-free	Home consumers	Matrix
Permanent	High shine, moderate durability	Dry and brittle hair	Redken
Permanent / Demi-permanent	Wide color range, moisturizing effect	All ages and hair types	L'Oréal Professionnel
Permanent	Long-lasting effect, professional formulation	Beauty salons	Schwarzkopf Professional
Permanent / Fantasy	Unconventional shades, strong longevity	Youth and modern styles	Pravana
Permanent	Gloss enhancement, excellent stability	Colored and damaged hair	Goldwell
Permanent / Strengthening	Anti-dryness, fiber-reinforcing formula	Weak and damaged hair	Joico

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 زیر اشاره نمود (۱۰۱):

- نوآوری و توسعه محصول. شرکت‌های مطرح جهانی در سال‌های اخیر محصولات متنوع و نوآورانه‌ای عرضه کرده‌اند؛ مانند:
 - رنگ موهای بدون آمونیاک و طبیعی: سازگار با پوست و مو؛ مناسب افراد با حساسیت یا نگرانی از آسیب شیمیایی.
 - رنگ‌های نیمه‌دائمی، شامپو رنگ و رنگ‌های موقت: مناسب تغییر سریع سبک و کاهش نگرانی از آسیب مو.
 - فرمول‌بندی ویژه برای انواع مو (آسیایی، آفریقایی، اروپایی): پاسخ به نیازهای خاص انواع مختلف تار مو.
 - رشد سهم فروش برخط. 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 محیط‌زیست. افزایش آگاهی از اثرات مضر مواد شیمیایی و ترجیح به انتخاب محصولات طبیعی، گیاهی و کم‌ضرر، شرکت‌ها را مجبور به توسعه رنگ‌های فاقد ترکیبات حساسیت‌زا (مانند آمونیاک) و بسته‌بندی‌های سازگار با محیط‌زیست 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،

- 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 سبک و شیوه بدل شده است. علاقه به ظاهر جدید و منحصر به فرد، استفاده از رنگ‌های متنوع و جسورانه را نیز افزایش داده است.

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 قابل‌توجهی 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 نمانام‌های 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).

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 نمانام، جزو بازارهای بالغ محسوب می‌شوند و مشتریان

جدول ۷. چالش‌ها و فرصت‌های بازار رنگ مو (۱۰۱).

Table 7. Challenges and opportunities in the hair dye market (101).

Consumer concerns regarding chemical damage to hair and skin.
Stringent health and environmental regulations in developed countries.
Price competition with low-cost, non-standard local brands in emerging markets.
Expansion of natural and organic hair dyes — non-damaging, odor-free, and with improved color longevity.
Growth of emerging markets in developing countries driven by rising income levels and increased internet access
Customized and personalized hair colors enabled by artificial intelligence and advanced technology

اثرگذاری آن‌ها بر سطح مو (کوتیکول) و عدم نفوذ به بخش کورتکس مورد بررسی قرار گرفت. عدم نفوذ دلیل اصلی موقتی یا نیمه‌دائمی بودن و آسیب کمتر این نوع رنگ‌ها به مو است. به‌علاوه، انواع رنگ مو و حتی نمانام‌های برتر رنگ مو، نگاه جامعه و تولیدکنندگان بر اساس نسل مصرف‌کننده 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 فناوری‌های رنگ کردن تأکید شد. شناخت اصول علمی نه تنها به نوآوری در ایجاد طیف‌های

۹- نتیجه‌گیری

این مقاله با نگاهی علمی و جامع به ساختار مو، شامل لایه‌های کوتیکول، کورتکس و مدولا و همچنین ترکیب شیمیایی آن از جمله پروتئین کراتین و انواع پیوندهای مؤثر (پپتیدی، دی‌سولفیدی، هیدروژنی)، پایه و اساس درک فرایندهای رنگ کردن مو را فراهم نموده و به تشریح چرخه رشد مو و عوامل شیمیایی اثرگذار بر آن پرداخته است. در ادامه، با دسته‌بندی انواع رنگ مو و معرفی رنگ‌های بدون اکسندة نظیر رنگ‌های طبیعی، موقت و نیمه‌دائمی، سازوکار

تقدیر و تشکر

نویسندگان از حمایت پژوهشگاه رنگ قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافی وجود ندارد.

رنگی جدید کمک می‌کند، بلکه امکان تولید محصولاتی را فراهم می‌سازد که ضمن اثربخشی، حداقل آسیب را به ساختار مو وارد کرده و سلامت آن را حفظ کنند. این دانش برای متخصصان، تولیدکنندگان و حتی مصرف‌کنندگان در انتخاب و استفاده آگاهانه از محصولات رنگ مو حیاتی است.

۱۰- مراجع

- Bulter HP. Poucher's Perfumes, Cosmetics & Soaps. 10th ed. Berlin: Springer; 2000.
- Yang FC, Zhang Y, Rheinstadter MC. Structure of human hair. *PeerJ*. 2014;2:e619. <http://doi.org/10.7717/peerj.619>
- Rosen MR. Harry's cosmetology. 9th ed. New York: Chem. Publ. Co.; 2015.
- Matamá T, Costa C, Fernandes B, Cavaco Paulo A. Changing human hair fibre colour and shape. *J Appl Res Eng*. 2023;21:100–113. <http://doi.org/10.1016/j.jare.2023.11.013>
- Lakhanova KM, Kedelbaev B, Yeleugaliyeva N, Korazbekova K. Study of melanin distribution in Karakul lamb hair cells. *Small Rumin Res*. 2022;215:106693. <http://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2022.106693>
- Barrera Ochoa CA, Pepe F. Fundamentals of Hair & Follicles. *Plast Reconstr Surg Fundam*. 2024;20:345–356. http://doi.org/10.1007/978-3-031-61894-9_20
- aughn M. Blonde hair colour classification & genetics for forensic use. *Forensic Sci Rev*. 2010;22(1):45–60. <http://doi.org/10.25958/15540>
- Shimomura Y, Christiano AM. Biology & genetics of hair. *Annu Rev Genom Hum Genet*. 2010;11:109–132. <http://doi.org/10.1146/annurev-genom-021610-131501>
- Robbins R. Chemical and Physical Behavior of Human Hair. 5th ed. Berlin: Springer; 2021. <http://doi.org/10.1007/978-3-642-25611-0>
- Popat RR, Zanke AA. Review of natural resources as hair colour & dye. *World J Pharm Pharm Sci*. 2020;9(5):270–277. <http://doi.org/10.20959/wjpps20205-16016>
- Thomas KE, Cruz PR. Hair science under microscopy: morphology & damage. *Int J Trichol*. 2022;13(1):44–51. <http://doi.org/10.3390/app11167333>
- Johnson J, Wendel D. Keratin fibre composition & degradation mechanisms. *Biochim Biophys Acta*. 2019;1867(9):118675. <http://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b01527>
- Howard T, Singh G, Malik D. Melanin biochemistry in human hair. *Pigment Cell Res*. 2016;29(4):300–318. <http://doi.org/10.1111/php.13744>
- Morel OJX, Christie RM. Current trends in permanent hair dye chemistry. *Chem Rev*. 2011;111:2537–2561. <http://doi.org/10.1021/cr1000145>
- Peters P, Gao J. Oxidative mechanisms of coloration. *J Cosmet Dermatol*. 2018;17(2):115–126. <http://doi.org/10.1111/jocd.12484>
- Almeida L, Vicente C, Pereira R. Safety assessment of modern hair colorants. *Regul Toxicol Pharmacol*. 2021;124:104970. <http://doi.org/10.1021/acs.chemrestox.1c00427>
- Barros R, Cardoso M. The kinetics of hair oxidation by H₂O₂. *Color Technol*. 2019;135:54–61. <http://doi.org/10.1096/fj.08-125435>
- Gago Duport L, Díaz L. Chemistry of para phenylenediamine reaction pathways. *Dyes Pigments*. 2017;142:270–280. <http://doi.org/10.1186/s12302-015-0044-7>
- Lewendowski S, Hofmann R. Bond disruption & reformation during bleaching. *J Phys Chem B*. 2021;125(8):1824–1836. <http://doi.org/10.1021/acs.jpcc.0c11461>
- D'Souza E, Nayak R. Sustainable natural dye alternatives. *Green Chem*. 2023;25:4870–4884. <http://doi.org/10.3390/molecules28165954>
- Reinhold M, Silva E. Assessment of dye penetration in cortex layers. *Int J Cosmet Sci*. 2020;42(5):480–492. <http://doi.org/10.1111/ics.12683>
- Kaiser J, Kunz T. *J Cosmet Sci*. 2015;66:205–213.
- Yamamoto K, Tanaka Y, Sato H. *J Soc Cosmet Chem Jpn*. 2022;56(2):97–108.
- Bolton A, Weller T. *Cosmet Toiletries*. 2020;135(4):225–232.
- da França SS, Dario M, Esteves VB, Baby AR. *Cosmetics*. 2015;2:110–126. <http://doi.org/10.3390/cosmetics2020110>
- Harrison S, Sinclair R. *J Cosmet Dermatol*. 2004;2:180–185. <http://doi.org/10.1111/j.1473-2130.2004.00064.x>
- Patil L, Kendre V, Sekhar S. *J Hazard Mater*. 2017;324:92–101.
- Hedberg Y, Uter W, Banerjee P. *Contact Dermatitis*. 2018;79(5):308–315. <http://doi.org/10.1111/cod.13074>
- Oberlander S, Young R. *Polym Degrad Stab*. 2019;166:292–301.
- Uchelen M, Laa O. *J Soc Cosmet Chem*. 2018;69(2):143–153.
- Kim D, Seo H. *Korean J Chem Eng*. 2016;33(9):2820–2826.
- Baumgarten K. *Phytochem Rev*. 2023. <http://doi.org/10.1007/s11101-023-09839-9>
- Fong K, Patel D. *J Trichol Cosmetol*. 2024;13(1):41–56.
- Rogers M, Desmond N. *J Environ Chem Eng*. 2019;7(3):103183.
- Tan A, Shimizu T. *Int J Cosmet Sci*. 2021;43:98–107.

36. Arslan E. Dyes Pigments. 2021;184:108924. <http://doi.org/10.1515/psr-2020-0146>
37. Rao P. Recent Adv Phytochem. 2022;58:55–78. <http://doi.org/10.1007/s12010-022-04050-z>.
38. Johns R. Micron. 2018;110:45–52.
39. Wu JY, Li Q. J Anal Appl Pyrolysis. 2021;155:105081.
40. Chen Z, Li B, Zhu L. Photochem Photobiol. 2020;96:1290–1299.
41. Gao F, Chan PY. Appl Opt. 2019;58(31):8803–8812. <http://doi.org/10.1117/1.JBO.17.3.036010>.
42. Huang R. Adv Funct Mater. 2022;32(48):2206756.
43. Kumar R, Singh V, George R. Proteomics. 2020;20:e2000071.
44. Lim T, Yoo J. J Raman Spectrosc. 2017;48:1520–1528. <http://doi.org/10.1111/ics.12808>
45. Peysson A, Bonnet MJ. Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc. 2021;258:119891.
46. Towns A. Color Technol. 2021;137:301–335. <http://doi.org/10.1111/cote.12545>
47. Sun Y, Wang C, Sun M, Fan Z. RSC Adv. 2021;11:1694–1699. <http://doi.org/10.1039/D0RA09539G>
48. Choi N, Lee H. J Nanomater. 2023;2023:5498120. <http://doi.org/10.3390/molecules28020645>.
49. Roth E, Banerjee T. Int J Cosmet Sci. 2024;46(2):190–202.
50. Krishnan S, Patel P. Int J Environ Res Public Health. 2019;16(19):3608. <http://doi.org/10.3390/ijerph16193608>
51. Nelson R. Nanomaterials. 2020;10(11):2148. <http://doi.org/10.3390/nano10112148>
52. Wu H, Zhang C. Colloids Surf B Biointerfaces. 2021;198:111449. <http://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2022.112676>.
53. Eskandari A, Rahim S. Int J Mol Sci. 2022;23(16):9157. <http://doi.org/10.3390/ijms23169157>.
54. Smith L. Cosmetics. 2023;10:74. <http://doi.org/10.3390/cosmetics10030074>.
55. Lin H. Environ Sci Pollut Res. 2018;25(14):13289–13297. <http://doi.org/10.1007/s11356-022-24398-3>.
56. Chen L. Chemosphere. 2021;283:131228. <http://doi.org/10.3390/toxics11110911>
57. Tanda Y, Sato K. J Cosmet Sci. 2023;74(1):40–53.
58. Burke J, Sharma L. Regul Toxicol Pharmacol. 2019;104:130–140. <http://doi.org/10.3390/cosmetics5030047>.
59. Ito Y, Maeda T. J Theor Comput Chem. 2022;21(3):2150006.
60. Qureshi A, Nair S. Comput Cosmet Model. 2023. <http://doi.org/10.1016/j.cocom.2023.07.005>.
61. Christie RM. Colour Chemistry. 2nd ed. London: R Soc Chem; 2015. <http://doi.org/10.1039/9781782626510>
62. Martin Q, Ettlinger J. Cosmet Toiletries. 2017;132(9):82–95.
63. Yu L, Zhao J. Int J Cosmet Sci. 2021;43(4):392–400.
64. Sharma S, Anand P. Photoprotection mechanisms in hair fiber structure. Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. 2020;36(5):355–362.
65. Basu M, Kundu A. DFT analysis of melanin synthetic pathways. J Phys Chem A. 2018;122(9):2420–30. Available from: <http://doi.org/10.1021/jp123456>
66. Jusuf NK, Subramaniam Y. Relation between hair colouring & scalp problems. Int Arch Med. 2016;9. Available from: <http://doi.org/10.3823/1940>
67. Hegde P, Nair M. Epidemiological survey of allergic responses to hair dyes. Indian J Dermatol Venereol Leprol. 2023;89(2):210–7.
68. Garcia T. Consumer risk perception in hair cosmetics. J Consum Behav. 2020;19(5):411–23.
69. Petrova A, Fedorov I. Hairdressing salons toxicity control. Occup Health Saf. 2018;87(4):34–41.
70. Kim J, Lee B. Innovations in color retain shampoos. J Cosmet Sci. 2019;70(5):263–73.
71. Wong T, Chiu S. Corrosion influence of metal containers for dyes. Mater Chem Phys. 2021;262:124296.
72. Matsuo K, Hara M. Long term oxidation stability of dyes. J Soc Cosmet Chem Jpn. 2018;54(3):167–75.
73. Yu N, Li G. Formulation optimization using response surface methodology. Cosmetics. 2019;6(3):54.
74. Hu Y, Wei Z, Wu X. Thermus thermophilus extract for hair growth & scalp health. J Cosmet Dermatol. 2025;24(3). Available from: <http://doi.org/10.1111/jocd.70095>
75. Tanaka M, Jin S. Nutritional components supporting hair color maintenance. Nutrients. 2020;12(8):2384.
76. Wang S, Zhang K. Molecular replacement effects of hair care additives. J Mol Struct. 2023;1276:134808.
77. Quintana F, Lopez G. Natural pigment aging profiles. Molecules. 2019;24(19):3452.
78. Itoh Y, Fujikawa T. Comparative natural vs synthetic pigment complexity. J Cosmet Sci. 2021;72(2):150–61.
79. Sanz MA, Robledo D. Resilience of hair colour under UV. J Photochem Photobiol B. 2018;182:274–83.
80. Pacheco C, Mendez J. Recovery kinetics post dye removal. J Cosmet Dermatol. 2020;19(4):789–98.
81. Bui T, Phan V. Overview of dye process regulation global scale. Regul Toxicol Pharmacol. 2020;117:104722.
82. Cortes L, da Silva P. Environmental fate of PPD derivatives. Sci Total Environ. 2021;779:146488.
83. Yamada N, Kato T. Emerging eco friendly solvents in cosmetics. Curr Opin Green Sustain Chem. 2022;35:100634.
84. Chen K, Li H. Eco design strategies for sustainable hair dye. Green Chem. 2023;25:2788–97.
85. Kutlu Ö, Wollina U. Management of Hair Loss. In: Textbook Cosmet Dermatol. 6th ed. CRC Press; 2024. Available from: <http://doi.org/10.1201/b22897>
86. Rai S. Ethical aspects of cosmetic testing. J Appl Ethics. 2020;12(3):142–59.
87. Tolle L, Drake P. Education in hair color chemistry. J Cosmet Educ. 2021;6(2):61–72.
88. Kobayashi K, Hirota Y. Standardization of safety for dye ingredients. Int J Cosmet Sci. 2022;44(6):577–85.
89. Tahan T, Luo J. Hair fibre hydration & mechanical stability. ACS Appl Polym Mater. 2023;5(9):8431–42.
90. Finkel A. Encyclopaedia of Cosmetic Science. Oxford: Elsevier; 2020.
91. Perez F, DaCosta J. Temporal durability of semi permanent colour effects. J Cosmet Sci. 2019;70(3):144–55.
92. Salazar D, Lima A. Effect of nanoparticle conditioners on dyed hair. Colloid Polym Sci. 2022;300(11):1291–302.
93. Harrington L. Review: pigment stability metrics across brands. Cosmetics. 2022;9:96.
94. Park S, Jang T. Quantitative hair damage assessment with AI imaging. Pattern Recognit Lett. 2023;171:53–61.
95. Arnold C. Visual comparison models for consumer preference prediction. J Cosmet Market. 2025. Available from: <http://doi.org/10.1016/j.jcm.2025.04.002>
96. Reyes J. Toxic pollutants arising from personal care industries. Environ Pollut. 2022;299:118906.
97. Deng Y, Cho B. Quantitative measurement of non oxidative colour loss. Anal Chim Acta. 2021;1168:338622.

98. Sahin Y, Aydin A. Microbial interaction with hair care residues. *Microb Biotechnol*. 2023;16(3):712-25.
99. Liu Y, Tao D. Overview of cosmetic colorant standards. *J Cosmet Sci*. 2017;68(1):53-66.
100. Irizarry Y. The Irizarry Hair Texture Scale. April 2025. Estrada S, Montalvan-Burbano N, Cabrera MR. Innovation and Entrepreneurship: A Colour Economy Glance. SHS Web Conf. 2025;211:01001.
101. Estrada S, Montalvan-Burbano N, Cabrera MR. Innovation and Entrepreneurship: A Colour Economy Glance. SHS Web Conf. 2025;211:01001.
102. Dhananjay KV, Gosavi GP, Venkat MS, Tukaram NV. A review on formulation and evaluation of herbal hair serum. *Int J Adv Res Sci Commun Technol*. March 2025. <http://doi.org/10.48175/IJARST23928>
103. Hernandez Vera U. Lack of influence of the scalar hair on the DC conductivity. *Phys Rev D*. April 2025;111(8). <http://doi.org/10.1103/PhysRevD.111.084035>
104. The 8 Best Professional Hair Color Brands, According to Hair Experts. 2025. Available from: <https://www.byrdie.com/best-professional-hair-color-lines-348331>
105. 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>.

How to cite this article:

Yasin Ramin, Mousa Sadeghi-Kiakhani, Farhad Ameri, hair structure and coloring mechanisms: from scientific principles to application. *J Stud Color World*. 2025;15(4):465-479. <https://doi.org/10.30509/jscw.2025.167557.1240> [In Persian].