

مروری بر گاموت رنگی و روش‌های تشریح مرزهای آن

ساناز شیراحمدحقیقی^۱، راضیه جعفری^{۲*}، مژگان حسین‌نژاد^۳

- ۱- کارشناس ارشد، گروه پژوهشی دوباره تولید رنگ و کنترل رنگ، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.
- ۲- استادیار، گروه پژوهشی دوباره تولید رنگ و کنترل رنگ، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.
- ۳- دانشیار، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، پژوهشکده مواد رنگزا، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۶۵۴-۱۶۷۶۵.

چکیده

پیشرفت علم و فناوری در سال‌های گذشته کیفیت زندگی انسان‌ها را تحت تاثیر قرار داده است. دستگاه‌هایی مانند تلویزیون، چاپگر، موبایل، نمایشگرها و پروژکتورها نمونه‌های بارز این پیشرفت‌ها می‌باشند که تحول بسیار عظیمی در زندگی انسان‌ها ایجاد کرده‌اند. از مشخصه‌های مهم در خروجی این دستگاه‌ها گستره رنگ‌هایی است که می‌توانند به طور دقیق بازتولید نمایند که به آن گاموت رنگی گفته می‌شود. به طور کلی گاموت رنگی محدوده‌ای از رنگ‌هایی است که دستگاه می‌تواند ارائه کند و وابسته به عوامل متعددی است. قابل توجه است که گاموت رنگی دستگاه معمولاً زیرمجموعه خاصی از فضا رنگی سه‌بعدی است و می‌تواند از طریق محورهای رنگ‌سنجی معرفی شود. در گزارش حاضر به بررسی مطالعات و تحقیقات انجام شده در زمینه گاموت رنگی در چاپگرهای دیجیتال، نمایشگرها، مواد رنگزای طبیعی به کار رفته در کالاهای پشمی و پنبه‌ای و نیز سلول‌های خورشیدی پرداخته شده است و در نهایت الگوریتم‌های تشریح مرزهای گاموت، ایجاد سطح توسط روش مثلث‌بندی و کاربرد روش مثلث‌بندی دلونی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

شاپا چاپی: ۲۲۵۱-۷۲۷۸

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۲۲۳

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.1.2.7

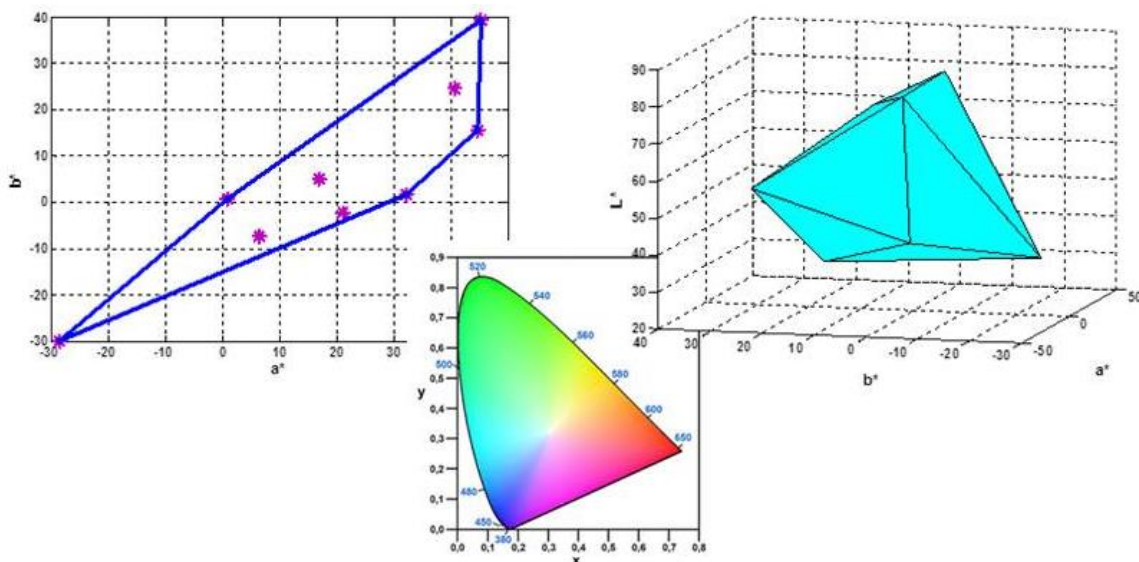
واژه‌های کلیدی:

گاموت رنگی

الگوریتم‌های مرزهای گاموت رنگی

روش‌های مثلث‌بندی

مثلث‌بندی دلونی



*Corresponding author: jafari-ra@icrc.ac.ir

A Review on Color Gamut and the Methods of Gamut Boundaries' Explanation

Sanaz Shirahmad Haghighi¹, Razieh Jafari^{1*}, Mozghan Hosseinnazhad²

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

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

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 23-01-2022

Accepted: 08-03-2022

Available online: 20-06-2022

Print ISSN: 2251-7278

Online ISSN: 2383-2223

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.1.2.7

Keywords:

Color gamut

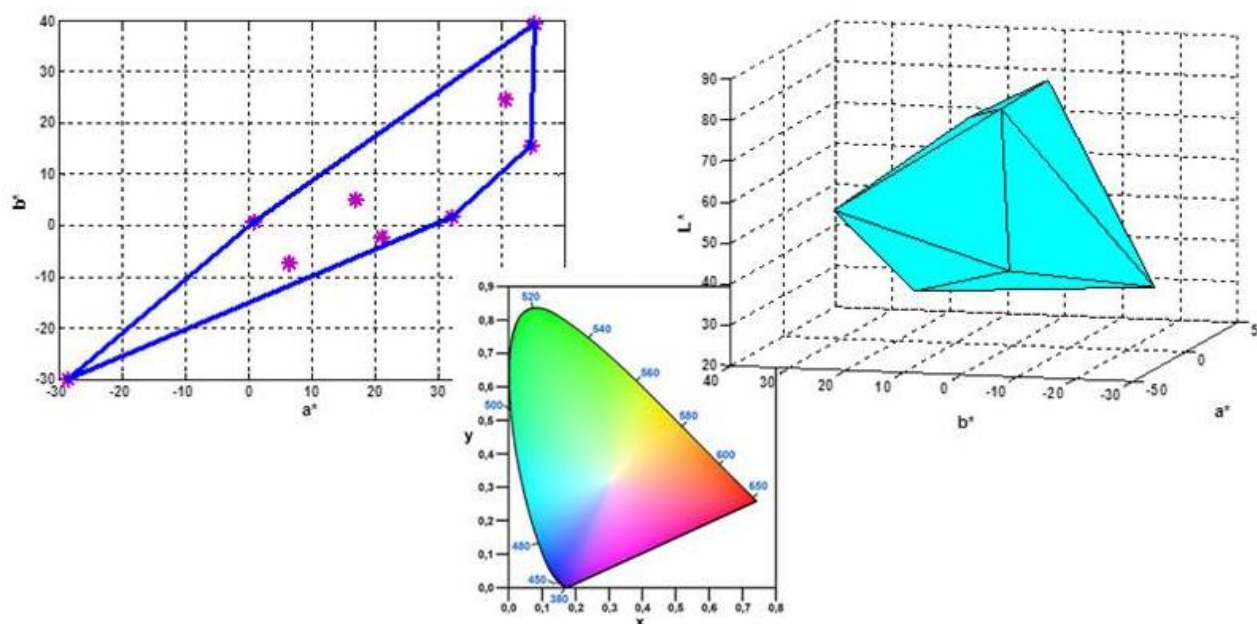
Color gamut boundary algorithms

Triangulation methods

Delaunay triangulation

ABSTRACT

Advances in science and technology in recent years have affected the quality of human life. Devices such as televisions, printers, mobile phones, monitors, and projectors are good examples of these advances that have brought about a tremendous change in human life. An essential characteristic in the output of these devices is their color gamut, which refers to the range of colors that they can accurately reproduce. In general, the color gamut is the range of colors that a device can provide and depends on several factors. It is noticeable that the color gamut is usually a specific subset of the three-dimensional color spaces and could be introduced over the colorimetric axes. In the present report, studies and researches on the importance of color gamut in printers, monitors, natural dyes used in wool and cotton fibers dyeing process, and solar cells have been investigated. Finally, the algorithms for the definition of gamut boundaries, surface creation, triangulation methods, and application of the Delaunay triangulation method have been studied.



*Corresponding author: jafari-ra@icrc.ac.ir

۱- مقدمه

برای توصیف ظاهر یک رنگ می‌توان یک سیستم منظم یا مشخصه‌های رنگی ایجاد کرد که به این سیستم‌ها، سیستم رنگ منظم^۱ و یا فضا رنگ^۲ گفته می‌شود. سیستم‌های رنگ منظم یا فضا رنگ‌ها بر پایه نمونه‌های واقعی مانند فضا رنگ مانسل یا بر اساس نمونه‌های غیرواقعی مانند کمسیون بین المللی روشنایی (CIE)^۳ نامگذاری شده‌اند. پرکاربردترین مدل رنگی فضا رنگ مانسل یا سیستم رنگ منظم مانسل به شمار می‌رود. فضا رنگ مانسل بر مبنای درک اختلاف کوچک رنگ‌ها با فواصل برابر بصری است که توسط فام، خلوص (اشباع رنگی) و ارزش مانسل (روشنایی) تعریف می‌شود. تمامی رنگ‌های شناخته شده در سیستم CIE را می‌توان با استفاده از سه مشخصه در فضای سه بعدی تعیین کرد و هر رنگ با بیان مختصاتش در فضا رنگ تعریف می‌شود [۴-۱]. دیاگرام رنگ^۴ ارتباط بین فام و خلوص را مورد بررسی قرار می‌دهد. محور Y در دیاگرام رنگ بیانگر روشنایی رنگ است که عمود بر صفحه دیاگرام رنگ تعریف می‌شود. نورهای طیف مرئی از طول موج‌های کوتاه ۴۰۰ نانومتر تا طول موج‌های بلند ۷۰۰ نانومتر بر روی شکل مشخص شده‌اند. با مشخص نمودن موقعیت نورهای طیفی از ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر در این فضا حالت نعلی شکل به دست می‌آید. موقعیت رنگ‌های طیفی مشخص شده در دیاگرام، مکان هندسی رنگ‌های خالص طیفی یا همان نورهای ناشی از تفکیک نور سفید توسط منشور است. رنگ‌های واقعی رنگ‌هایی هستند که در داخل مرزهای منحنی نعلی شکل قرار گیرند و رنگ‌های غیرواقعی رنگ‌هایی هستند که خارج از مرزهای منحنی نعلی شکل قرار می‌گیرند [۴، ۳]. سیستم رنگ‌سنجی CIE XYZ بر اساس مؤلفه‌های رنگی و ویژگی‌های رنگی اجسام و نمونه‌ها تعریف شده است و این سیستم به لحاظ درک ویژگی‌های رنگی، غیریکنواخت است. تغییر در منبع نوری باعث تغییر در مختصات رنگی سفید ایده آل می‌شود [۴]. در سال ۱۹۷۶ برای حل مشکل ظاهر رنگی و درک چشمی اختلاف رنگ، CIE فضا رنگ یکنواخت CIELAB را برای توصیف و بیان رنگ معرفی کرد [۴، ۳].

فضا رنگ CIELAB توسط کمیته بین‌المللی CIE تعیین شده است و تمام رنگ‌های قابل مشاهده برای چشم انسان را توصیف می‌کند. فضا رنگ CIELAB مشخصات رنگی نمونه‌ها در سه بعد L^* ، a^* ، b^* را نشان می‌دهد که مشخصه L^* بیانگر شدت روشنایی است. یک جسم سفید مقدار روشنایی برابر ۱۰۰ و یک جسم سیاه مقدار روشنایی برابر با صفر دارد. مشخصه a^* از مثبت تا منفی نشان دهنده ویژگی قرمز-سبزی

و مشخصه b^* از مثبت تا منفی به ترتیب نشان دهنده میزان زرد-آبی بودن نمونه‌ها است [۴، ۳]. فضا رنگ CIELCH توصیف فضا رنگ CIELAB در یک فضای قطبی است که رنگ را تحت سه بعد C^* ، L^* و h° توصیف و بیان می‌کند. مشخصه C^* نشان دهنده خلوص و مشخصه h° نشان دهنده زاویه فام است. یک رنگ مشخص در فضا رنگ CIELAB دقیقاً جایگاه مشابهی در فضا رنگ CIELCH دارد. فضا رنگ CIELCH به‌عنوان یک توصیف قطبی از سیستم رنگی دکارتی CIELAB به کار برده می‌شود [۷-۵].

از مشخصه‌های مهم در خروجی هر دستگاه، محدوده رنگ‌هایی است که می‌تواند بازتولید کند و به آن گاموت رنگی گفته می‌شود. این محدوده از رنگ‌ها به‌عنوان حجمی در فضا رنگ سه بعدی قابل تعریف است. به عبارت دیگر گاموت رنگی یک دستگاه معمولاً یک زیرمجموعه مشخص و معین از فضا رنگ است که همه رنگ‌ها را شامل شده و می‌تواند محدوده رنگ‌های قابل بازتولید را نشان دهد. در صورت توصیف گاموت در یک فضای دوبعدی، امکان تعریف گاموت‌ها به‌عنوان ناحیه‌ای در دیاگرام رنگی CIE 1931 وجود دارد. هر چند معمولاً برای توصیف کامل گاموت، از یک فضا رنگ سه بعدی استفاده می‌شود. بسته به کاربرد موردنظر تعاریف مختلفی برای گاموت‌ها ارائه می‌شود. اندازه در گاموت رنگی در یک فضا رنگ مشخص تحت تاثیر عوامل متعددی است. در نمایشگرهای دیجیتال، گاموت رنگی توسط مقادیر اولیه R، G، B تعیین می‌شود [۷]. همچنین برای یک تصویر، گاموت رنگی به‌صورت مجموعه‌ای از رنگ‌های موجود در آن تصویر تعریف می‌شود. برای دستگاه‌های مختلف مانند نمایشگرها و چاپگرها نیز گاموت رنگی مجموعه‌ای از رنگ‌هایی است که دستگاه می‌تواند ارائه دهد. بنابراین گاموت رنگی هر دستگاه به‌عنوان یک مشخصه مهم در خروجی آن دستگاه در نظر گرفته می‌شود که به عوامل متعددی وابسته است [۸]. در چاپگرها علاوه بر مقادیر اولیه C، M، Y، K متغیرهای دیگری نیز وجود دارد که بر گاموت رنگی تاثیر می‌گذارد. به‌عنوان مثال در چاپگرها زمانی که دستگاه، کاغذ، شرایط چاپ و شرایط مشاهده‌کننده تغییر می‌کند، گاموت رنگی نیز تغییر می‌کند. برای تعیین گاموت رنگی یک دستگاه لازم است که رنگ تعدادی از نمونه‌های تولید شده اندازه‌گیری یا مدل‌سازی شود در این صورت می‌توان حجم فضای رنگی اشغال شده توسط نقاط داده‌ها را تخمین زد [۹-۷].

در ابتدا هدف این مقاله بررسی الگوریتم‌های تشریح مرزهای گاموت، مثلث‌بندی دلونی و ارائه یافته‌های پژوهشگران و محققان درباره کاربرد گاموت رنگی به منظور بیان اهمیت بررسی حجم رنگی ایجاد شده توسط نمونه‌های رنگی در چاپگرها و نمایشگر، یا طی عملیات رنگرزی نمونه‌های مختلف الیاف و نیز در سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد رنگزا است. شایان ذکر است موضوع تعریف گاموت رنگی و روش‌های بسیار متنوع ایجاد گاموت‌های رنگی در نمایشگرها و چاپگرها موضوع تحقیقات فراوان توسط پژوهشگران می‌باشد. گزارش حاضر، اشاره‌ای دارد به برخی

¹ Color order system

² Color space

³ Commission internationale de l'Eclairage

⁴ Chromaticity

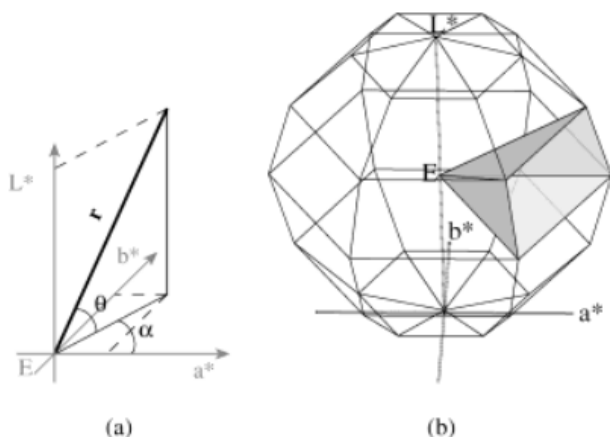
مختصات کرووی ارزیابی کرد. به این ترتیب مختصات کرووی را می‌توان از مختصات CIELAB با استفاده از روابط ۱-۳ بدست آورد:

$$r = \left[(L^* - L_E^*)^2 + (a^* - a_E^*)^2 + (b^* - b_E^*)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\alpha = \tan^{-1}((b^* - b_E^*) / (a^* - a_E^*)) \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\left((L^* - L_E^*) \left| \left((a^* - a_E^*)^2 + (b^* - b_E^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right| \right) \right) \quad (3)$$

E به عنوان مرکز گاموت رنگی تعریف می‌شود که می‌تواند از میانگین مختصات نقطه‌ای که برای بدست آوردن مرزهای تشریح گاموت استفاده می‌شود محاسبه شود. به‌طور کلی نقطه در فضا رنگ CIELAB دارای مختصات $[0, 0, 50]$ است که می‌تواند در بیشتر موارد از این مختصات استفاده کرد زیرا این روش، تقریب خوبی از مرکز است. r فاصله یک رنگ از مرکز، α زاویه فام در محدوده 360° درجه، θ زاویه در صفحه ثابت در محدوده 180° درجه تعریف می‌شود. باید به این نکته توجه داشت که E می‌تواند برای گاموت‌های مختلف متفاوت باشد و حتی اگر مدل‌های محاسبه گاموت مورد بحث در اینجا براساس CIELAB توضیح داده شود می‌تواند به راحتی برای استفاده در سایر فضاهای رنگی تطبیق داده شود. نمایی از الگوریتم Segment maxima در شکل ۱ در فضا رنگ CIELAB نشان داده شده است. در این روش فضای رنگی به یک سری فضاهای کوچک‌تر تقسیم می‌شود. به این صورت که در ابتدا فضای موردنظر (مثلاً $L^*a^*b^*$) به فضای قطبی (r, α, θ) تقسیم شده و تقسیم‌بندی فضا با تقسیم α (از 0 تا 360°) و θ (0 تا 180°) تغییر می‌کند و به ناحیه‌های کوچک‌تر تبدیل می‌شود.



شکل ۱: نمایی از الگوریتم Segment maxima در فضا رنگ CIELAB. الف) مختصات کرووی. ب) الگوریتم Segment maxima (۶×۶ بخش)، قسمت

پرزنگ شده به خاطر وضوح نشان داده شده است [۱۱].

Figure 1: Schematic of segment maxima over the CIELAB color space: (a) spherical coordinates; (b) segment maxima algorithm (only 6×6 segments) the highlighted part is for clarification [11].

تحقیقات انجام شده در خصوص کاربرد گاموت رنگی، الگوریتم‌های تشریح مرزهای گاموت رنگی، توصیف روش‌های مثلث‌بندی، خواص و راه‌حل‌های موجود در مثلث‌بندی دلونی که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۲- الگوریتم‌های تشریح مرزهای گاموت رنگی

برای تشریح مرزهای گاموت رنگی الگوریتم‌های بسیاری ارائه شده است، اما فقط تعداد کمی از این الگوریتم‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. در صورتی که اندازه‌گیری داده‌ها هیچ ساختاری را دنبال نکند، برای تعیین مرزهای گاموت رنگی از الگوریتم‌های Convex hull, Alpha shape و Segment maxima برای پیدا کردن نقاط سطح استفاده می‌شود. از این الگوریتم‌ها می‌توان برای تعیین مرز گاموت در تصاویر یا دستگاه یا هر دو آن‌ها استفاده کرد. به‌طور کلی گاموت رنگی نمونه‌ها در فضاهای دوبعدی یا سه‌بعدی از فضا رنگ‌های رایج تعریف می‌شوند. همچنین برای محاسبه حجم گاموت رنگی ایجاد شده توسط نمونه‌ها از الگوریتم‌های مذکور می‌توان استفاده کرد [۱۰].

۲-۱- الگوریتم Alpha shape

چولوو^۱ و لوی^۲ در سال ۱۹۹۱ الگوریتم Alpha shape را برای تشریح مرزهای گاموت رنگی ارائه کردند. در این روش مقدار آلفا هدف باید به‌درستی انتخاب شود و برای این کار هیچ استاندارد وجود ندارد. در صورت انتخاب عدد بالا ($\alpha > 0$) تحدد گاموت رنگی در نظر گرفته نمی‌شود و انتخاب عددی کم ($\alpha < 0$) باعث می‌شود تا نقاط درونی گاموت رنگی به‌اشتباه به‌عنوان نقاط مرزی قرار بگیرند. به‌طور کلی اگر تعداد نقاط موجود در گاموت رنگی که برای بدست آوردن مرزهای آن استفاده شده است کم باشد، بهتر است از α بالاتر استفاده شود. برای پیدا کردن شکل از مجموعه نقاط از الگوریتم Alpha shape استفاده می‌شود اما به‌طور معمول برای پیدا کردن گاموت رنگی از این الگوریتم استفاده نمی‌شود [۱۰، ۱۱]. برای پیاده‌سازی و اجرای الگوریتم Alpha shape می‌توان از نرم‌افزار متلب استفاده کرد.

۲-۲- الگوریتم Segment maxima

الگوریتم Segment maxima یک روش متفاوت برای تعیین گاموت است که با یافتن بیشترین خلوص برای هر بخش که از فام و روشنایی ویژه برخوردار هستند ایجاد می‌شود. این روش توسط مورویک^۳ و لوی^۴ در سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ پیشنهاد شد. با ایجاد یک ساختار شبکه‌ای منظم، مثلث‌بندی می‌تواند منجر به ایجاد یک سطح گاموت شود. در روش Segment maxima، هر بخش را می‌توان برحسب C^* ، L^* و hab

¹ Cholewo

² Love

³ Morovic

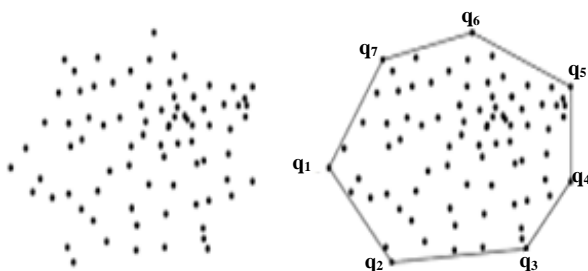
⁴ Luo

کاربرد آن در ریاضیات و علوم طبیعی برشمرده [۱۴].

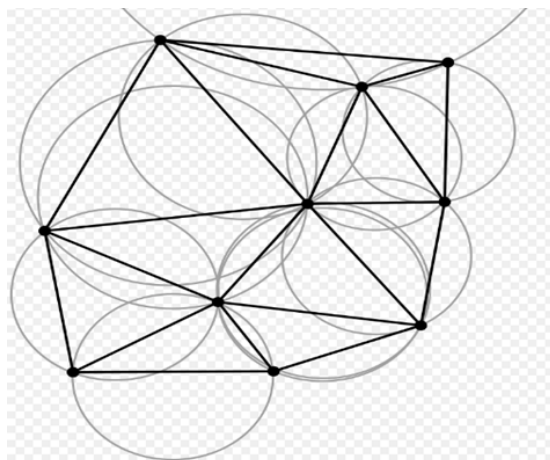
۳-۱- مثلث‌بندی Delaunay

برای ایجاد مثلث‌بندی دلونی از یک مجموعه نقاط الگوریتم‌های فراوانی ارائه شده است. در سال ۱۹۳۴ مثلث‌بندی دلونی توسط بوریس دلونی^۶ مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفت. برای تولید مثلث‌بندی دلونی قانون اصلی قانون دایره است. به عبارت دیگر مثلث بندی دلونی، نوعی مثلث بندی است که در آن دایره محیطی هر مثلث شامل هیچ راسی از رئوس مثلث‌های دیگر نباشد (شرط دایره محیطی) و واضح است که این نوع مثلث بندی یکتا خواهد بود. شکل ۳ یک نمونه از مثلث‌بندی دلونی را نمایش می‌دهد [۱۶-۱۴].

از جمله خواص مثلث‌بندی دلونی می‌توان به خاصیت دایره، خاصیت زاویه، خاصیت یکتایی و خاصیت محدوده اشاره کرد. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در خاصیت دایره، محیطی از مثلث‌های ایجاد شده از نقاط (P_i, P_j, P_k) متعلق به یک مثلث‌بندی دلونی از یک سری نقاط P است.



شکل ۲: نمایی از الگوریتم Convex hull [۱۳].
Figure 2: Schematic of convex hull algorithm [13].



شکل ۳: شرط دایره در مثلث‌بندی دلونی [۱۵].
Figure 3: Circle condition in delaunay triangulation [15].

مرز گاموت رنگی با بزرگ‌ترین r که فاصله هر نقطه از مرکز فضا رنگ است، در هر قسمت شناخته می‌شود. باید دقت شود که تعداد تقسیم‌بندی خیلی زیاد نباشد زیرا نتایج به‌خوبی نشان داده نخواهد شد [۱۰-۱۲].

۳-۲- الگوریتم Convex hull

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است در این روش با قرار گرفتن نقاط در فضای رنگی به طور مثال فضا رنگ CIELAB، نقطه‌ای با کوچک‌ترین x (یک زیرمجموعه محدود از نقاط در صفحه است، الگوریتم Convex hull ممکن است به شکل نواری نشان داده شود که در اطراف کشیده شده است) انتخاب شده و سپس نقطه‌ای که نسبت به آن زاویه کمتری دارد پیدا می‌شود و این روش ادامه می‌یابد. نخست برای انجام این کار فضا رنگ به یک فضای رنگ قطبی منتقل شده و در ادامه r که فاصله هر نقطه از مرکز فضا رنگ است، مرز گاموت رنگی را مشخص می‌کند. از الگوریتم Convex hull می‌توان برای به دست آوردن حجم گاموت رنگی نیز استفاده کرد [۱۱].

۳- مثلث‌بندی^۱

مثلث‌بندی یک روش برای تقسیم‌بندی فضا، از یک مجموعه نقاط است. در حقیقت فراگیرترین راه برای بیان سطح، مثلث‌بندی نقاط نمونه‌برداری شده به منظور ایجاد شبکه نامنظم مثلثی است. مجموعه مثلث‌های ایجاد شده، تشکیل یک سطح کامل می‌دهند که یک مدل پیوسته از سطح است. مهم‌ترین مسئله در الگوریتم‌های مثلث‌بندی عدم وابستگی آن‌ها به نقطه شروع یا توجیه نقاط است. همچنین نتایج باید به آسانی قابل تکرار و قابل پیش‌بینی باشد. از این رو اگر در هنگام ایجاد مثلث‌ها هدف بیشینه‌کردن کمینه زوایا باشد و شرط دایره را برقرار کنیم به نحوی که دایره محیطی شامل هر مثلث، شامل نقطه دیگری نشود، مثلث‌های ایجاد شده دلونی هستند. این مثلث‌های یکه ایجاد شده مستقل از جهت شروع یا مشخصه‌های دیگر است. به طور منطقی برای دورن‌یابی ارتفاعی برای نقاط مورد نیاز همواره از نزدیکترین نقاط استفاده می‌شود. پس باید در مثلث‌بندی نیز انتظار داشت که نقاط نزدیک بهم متصل شوند تا نقاط دور. از مهم‌ترین ویژگی‌های روش مثلث‌بندی می‌توان به عدم وابستگی الگوریتم‌های مثلث‌بندی به نقطه شروع، قابل تکرار بودن و سادگی قابلیت پیش‌بینی نتایج اشاره کرد همچنین از مهم‌ترین کاربردهای این روش را می‌توان در مدل‌کردن سطوح اجسام^۲، گرافیک کامپیوتری^۳، ترکیب تصاویر^۴، بینایی کامپیوتری^۵ و همچنین

¹ Triangulation

² Mesh Generation

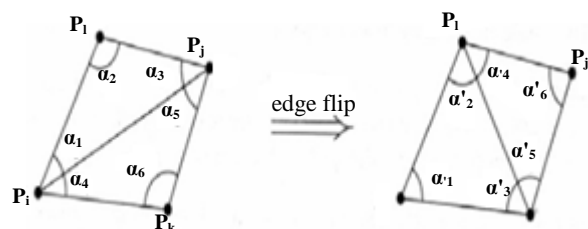
³ Computer graphic

⁴ Image synthesis

⁵ Computer vision

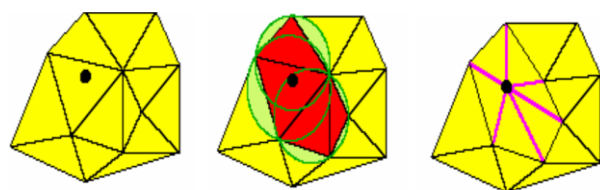
⁶ Boris Nikolaevich Delaunay

الگوریتم‌های واستن^۷ و بوویور^۸ در سال ۱۹۸۱ و الگوریتم‌های گیباس^۹ و استوفی^{۱۰} در سال ۱۹۸۳ از نمونه الگوریتم افزایشی می‌باشند. در روش الگوریتم افزایشی، مثلث‌بندی فقط با سه نقطه شروع می‌شود و به ترتیب نقاط اضافه می‌شوند. هنگامی که یک نقطه وارد می‌شود باید بررسی شود که نقطه جدید در کدام مثلث اضافه شده است و یال‌ها از نقطه جدید به گوشه مثلث‌ها متصل می‌شوند. این الگوریتم دارای بهترین حالت کیفی در تولید شبکه مثلث‌ها است. مشکل روش افزایشی، مسئله جستجو نقطه اضافه شده است که باعث افزایش روند الگوریتم می‌گردد. پس نیاز به یک الگوریتم برای پیدا کردن سریع نقاط است. به عبارت دیگر در این نوع روش، مثلث‌بندی از یک چندضلعی شروع شده، در هر مرحله بر روی یکی از یال‌های چندضلعی قبلی یک چندضلعی جدید اضافه می‌کنیم، به این صورت که چند ضلعی جدید شرط دایره را داشته باشد. این الگوریتم در شکل ۷ برای حالت دوبعدی نمایش داده شده است. نقطه جدیدی وارد شبکه دلونی موجود شده و شرط را برای چند مثلث از بین برده است. آنگاه این مثلث‌ها تبدیل به یک چندضلعی می‌شوند که شامل نقطه جدید است. اکنون نقطه جدید به هر یک از نقاط در رئوس چندضلعی متصل می‌شود و یک مثلث‌بندی جدید شکل می‌گیرد و این روند برای تمام نقاط جدید تکرار می‌شود تا همه نقاط به ساختار معرفی شوند [۱۶-۱۴]. این الگوریتم از ساده‌ترین الگوریتم‌های مثلث‌بندی دلونی است.



شکل ۵: خاصیت زاویه در مثلث‌بندی دلونی [۱۵].

Figure 5 : Angles attribute in delaunay triangulation [15].



شکل ۶: روش ایجاد مثلث‌بندی دلونی به روش بر خط [۱۵].

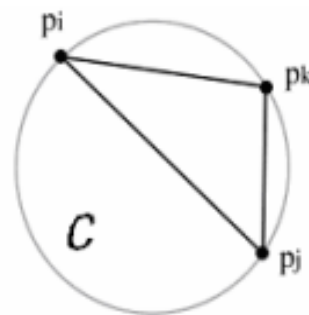
Figure 6: Online method to create delaunay triangulation [15].

⁷ Watson

⁸ Bowyer

⁹ Guibas

¹⁰ Stolfi



شکل ۴: خاصیت دایره در مثلث‌بندی دلونی [۱۵].

Figure 4: Circle attribute in delaunay triangulation [15].

همچنین در خاصیت دایره، دایره محیطی از مثلث‌های تشکیل شده از سه نقطه نباید شامل هیچ نقطه دیگری شود [۱۶-۱۴]. خاصیت زاویه در مثلث‌بندی دلونی به این صورت است که با استفاده از چهار نقطه یک چهار ضلعی ایجاد می‌شود و قطری بهترین حالت را دارد که چهار ضلعی تشکیل شده را به دو مثلث تقسیم کند به طوری که کوچک‌ترین زاویه داخلی را بیشینه کند. شکل ۵ خاصیت زاویه در مثلث‌بندی را نشان می‌دهد. این خاصیت اطمینان می‌دهد که مثلث‌های ایجاد شده، بهترین حالت از آن نقاط هستند.

در خاصیت یکتایی مثلث‌بندی دلونی واحد است. برای یک مجموعه نقاط فقط یک مثلث‌بندی وجود خواهد داشت که دارای شرط دلونی باشد. خاصیت محدوده برای مجموعه P ، یال‌های خارجی مثلث‌بندی دلونی مرز Convex hull را ایجاد می‌کند [۱۶-۱۴]. برای ایجاد مثلث‌بندی دلونی راه‌حل‌های مختلفی به صورت مستقیم ارائه شده است که می‌توان به روش بهینه‌سازی محلی^۱، روش برخط^۲، روش افزایشی^۳، روش تعبیه با ابعاد بیشتر^۴ و روش تقسیم و تکرار^۵ اشاره کرد [۱۶-۱۴]. روش بهینه‌سازی محلی به این صورت است که ابتدا یک مثلث‌بندی دلخواه بر روی نقاط انجام می‌گیرد و بعد در جهت برقرار بودن شرط دایره، محل یال‌هایی که غیرمجاز هستند تغییر داده می‌شوند. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است در روش برخط در هر لحظه یک نقطه به مجموعه نقاط افزوده می‌گردد، این نقطه جدید احتمالاً در یکی از چندضلعی‌های ساخته شده قبلی قرار خواهد گرفت، چندضلعی که آن را در بر گرفته است، تقسیم شده و چند، چندضلعی جدید به وجود می‌آید، شرط دایره برای هر چندضلعی جدید به دست آمده کنترل می‌گردد.

الگوریتم افزایشی به الگوریتم افزایشی تصادفی^۶ معروف است.

¹ Local improvement

² Online

³ Incremental

⁴ Higher dimensional embedding

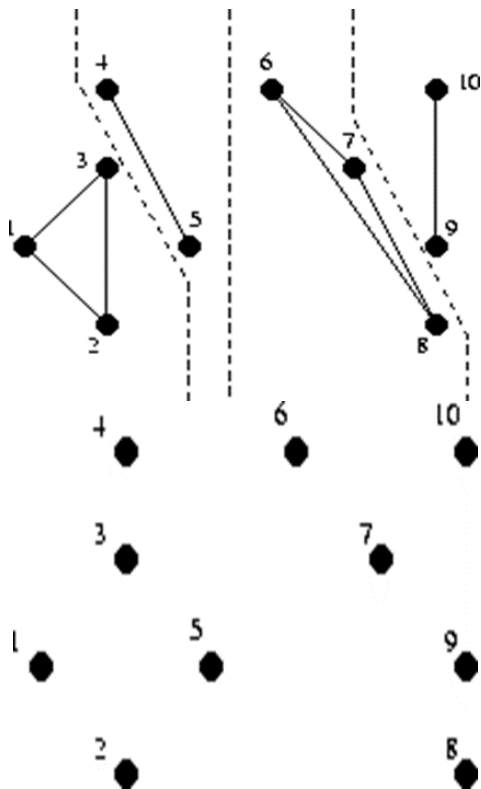
⁵ Devide and Conquer

⁶ Randomised Incremental Algorithm

رنگ‌های RGB نمونه بر روی نمایشگر LCD نمایش داده شد. مقادیر CIELAB مربوطه با استفاده از طیف‌سنج X-Rite DTP94 اندازه‌گیری شد. در نهایت گاموت رنگی CIELAB سه‌بعدی نمایشگر و مرزهای گاموت دو بعدی با استفاده از الگوریتم پیشنهادی در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۹ نشان داده شده است گاموت رنگی سه‌بعدی در فضا رنگ CIELAB شرح داده شده است و همانطور که هرتزوغ^۱ پیشنهاد کرده است شبیه به یک شش ضلعی تغییر شکل یافته است.

در مقایسه با مکعب RGB اولیه، گاموت رنگی CIELAB دارای هشت راس و شش وجه پیوسته است، اگرچه موقعیت نسبی رنگ‌های نمونه تغییر کرده است. بک^۲ و همکارانش، یک روش برای ارزیابی الگوریتم‌های محاسبه مرز گاموت را پیشنهاد داد و دو الگوریتم آزمایش شده با استفاده از میزان عدم تطابق حجم گاموت^۳ مقایسه شد که در رابطه ۴ بیان شده است.

$$r_i = \frac{V(G_i | G_{ref}) + V(G_{ref} | G_i)}{V(G_{ref})} \quad (3)$$

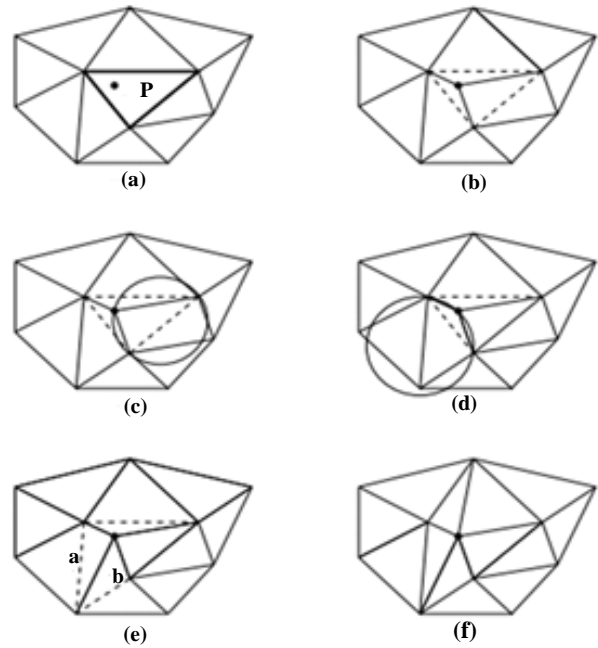


شکل ۸: روش ایجاد مثلث‌بندی دلونی به روش الگوریتم تقسیم و تکرار [۱۵].
Figure 8: Delaunay triangulation method by Divide and conquer algorithm [15].

¹ Herzog

² Bakke

³ Gamut volume mismatching rate



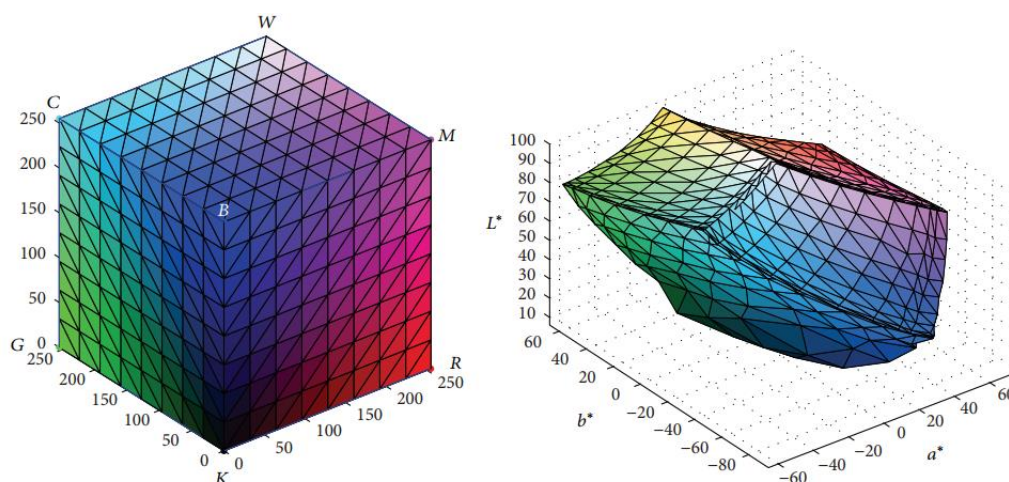
شکل ۷: روش ایجاد مثلث‌بندی دلونی به روش الگوریتم افزایشی تصادفی [۱۵].
Figure 7: Randomised incremental algorithm to create delaunay triangulation [15].

در روش تعبیه با ابعاد بیشتر این الگوریتم‌ها نقاط را به فضای E^{d+1} منتقل می‌کنند و سپس Convex hull نقاط را محاسبه کرده و مثلث‌بندی دلونی را با استفاده از تصویر این نقاط محاسبه شده بر روی E^d به دست می‌آورند. الگوریتم تقسیم و تکرار برگرفته از روش تقسیم و حل عادی می‌باشند. مطابق شکل ۸ مجموعه نقاط به دسته‌های کوچک‌تر تقسیم شده و مثلث‌بندی برای هر یک از این دسته‌ها انجام می‌شود و سپس راه‌حل‌ها با یکدیگر ترکیب شده و مثلث‌بندی نهایی حاصل می‌شود، تنها مشکل این روش، ترکیب راه‌حل‌ها می‌باشد چرا که در زمان ترکیب ممکن است مثلث‌بندی مرزها تغییر نماید. معروف‌ترین روش مثلث‌بندی دلونی مبتنی بر الگوریتم تقسیم و تکرار، روش DeWall است. ویژگی بارز این الگوریتم علاوه بر بازدهی مناسب در اجراء، بسط راحت آن به محیط‌های با ابعاد بالاتر است [۱۴-۱۶].

۴- کاربرد گاموت رنگی

۴-۱- کاربرد گاموت رنگی در نمایشگرها دیجیتال

در سال ۲۰۱۴، در تحقیقی مرزهای گاموت رنگی یک نمایشگر LCD توشیبا مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. در ابتدا RGB فضا رنگی دستگاه به طور یکنواخت تقسیم شد و سیگنال‌های قرمز، سبز و آبی همه در محدوده [۰ ۳۲ ۶۴ ۹۶ ۱۲۸ ۱۶۰ ۱۹۲ ۲۲۴ ۲۵۵] قرار داشتند. بنابراین در نمونه $9^3=729$ رنگ وجود داشت. سپس



شکل ۹: گاموت رنگی سه‌بعدی نمایشگر توشیبا در (الف) فضا رنگ RGB و (ب) فضا رنگ CIELAB [۱۷].

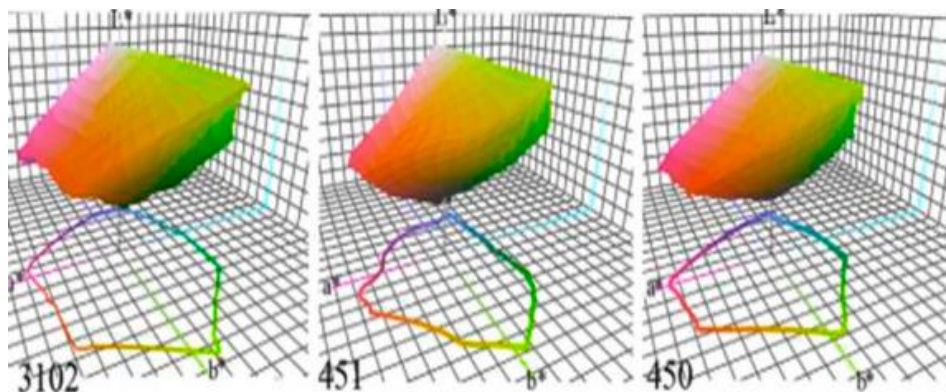
Figure 9: The 3D color gamut of Toshiba monitor in (a) RGB color system and (b) CIELAB color space [17].

۴-۲- گاموت رنگی چاپگر دیجیتال

گاموت رنگی در چاپگرها توسط تولیدکنندگان تنظیم می‌شود. نوع چاپگر، زمینه و تونر از عوامل مختلفی است که شکل و اندازه گاموت رنگی در فضا رنگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد. خواص کاغذ، از مهم‌ترین عوامل در انتقال و ظاهر تصویر در کلیه فرآیند باز تولید رنگ در چاپگرها است. خواص کاغذ مانند تخلخل، زبری و براقیت به‌عنوان متغیر مهم در پیش‌بینی و باز تولید رنگ است که تأثیر قابل توجهی در کیفیت چاپ و گاموت رنگی دارد [۷، ۱۸، ۱۹]. عطایی فرد در سال ۲۰۱۴، جهت بررسی گاموت رنگی و حجم آن از سه نوع چاپگر دیجیتال Minolta Bizhub C451، Minolta Bizhub C450 و Minolta Bizhub CF3102 و از شش نوع کاغذ با ساختار سطحی متفاوت از لحاظ سفیدی، زبری و براقیت استفاده کرد. تمام چاپگرها مورد استفاده در این تحقیق فناوری مشابهی برای تولید و ساخت تصاویر داشتند. گاموت رنگی سه نوع چاپگر دیجیتال در شکل ۱۰ و حجم گاموت رنگی برای شش نوع کاغذ در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج نشان داد چاپگر CF3102 به طور قابل ملاحظه‌ای گاموت رنگی بزرگ‌تری نسبت به دو چاپگر C451 و C450 به خصوص در ناحیه زرد برای کاغذ A دارد. همچنین مقایسه حجم گاموت رنگی چاپگر CF3102 نشان داد که این چاپگر حجم گاموت بزرگ‌تری برای کاغذ A داشته است لذا این چاپگر برای بررسی اثر کاغذ انتخاب شد [۸].

گاموت رنگی ۵ نوع کاغذ مختلف توسط چاپگر CF3102 در فضا رنگ CIELAB در شکل ۱۱ نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که همه کاغذها حجم گاموت رنگی برابری برخوردار بودند اما مطابق با شکل ۱۱ و جدول ۱ کاغذ B و C حجم گاموت رنگی پایین‌تری در مقایسه با بقیه کاغذها داشتند.

ri میزان عدم تطابق حجم گاموت، $V(Gref)$ حجم گاموت مرجع و $V(Gi | Gref)$ حجم رنگ‌های است که G_i در داخل گاموت و $Gref$ بیرون از گاموت قرار دارند. در این آزمایش گاموت تعیین شده توسط الگوریتم بدست آمده در مقاله به عنوان گاموت مرجع انتخاب شد و سه الگوریتم شناخته شده توصیف گاموت Segment maxima، α shape و convex hull به عنوان الگوریتم‌های مقابل استفاده شد. در نتیجه میزان عدم تطابق به ترتیب $۳/۲$ ، $۲/۴$ ، $۳/۷$ درصد بدست آمد که نشان داد دقت الگوریتم در مقاله بسیار نزدیک به الگوریتم‌های دیگر است. نتایج بررسی‌ها در این پژوهش نشان داد که به طور کلی گاموت رنگی نمایشگرها از چاپگرها بزرگ‌تر است. بنابراین هنگامی که تصویر نمایش داده شده چاپ می‌شود فرآیند بدست آوردن گاموت باید از قبل انجام شود. فرآیند بدست آوردن گاموت رنگی یک روش جابه‌جایی رنگ‌های غیرقابل چاپ توسط رنگ‌های قابل چاپ است که ظاهر یک تصویر را حفظ می‌کند. دو دلیل عمده که بر روی فرآیند گاموت رنگی تأثیر می‌گذارد شامل انتخاب الگوریتم‌های فرآیند بدست آوردن گاموت رنگی و محاسبه مرزهای آن است. از آنجایی که الگوریتم‌های توصیف مرزهای گاموت موفق برای تصاویر و دستگاه‌های مختلف توسعه یافته است، بهبود دقت مرزهای گاموت بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در مقاله حاضر یک الگوریتم جدید مرز گاموت جدید برای دستگاه‌های رنگی پیشنهاد شده است. به منظور ارزیابی دقیق، الگوریتم موجود در این مقاله با سایر الگوریتم‌های شناخته شده توصیف گاموت مقایسه شد و نتایج نشان داد تفاوت حجم گاموت رنگی بسیار کم است که نشان می‌دهد الگوریتم قابل قبول است. علاوه بر این باید توجه داشت اگر چه گاموت رنگی نمایشگرها در این آزمایش شرح داده شده است ولی می‌توان از این الگوریتم برای سایر دستگاه‌های رنگی مانند اسکنر، دوربین و چاپگر نیز استفاده کرد [۱۷].



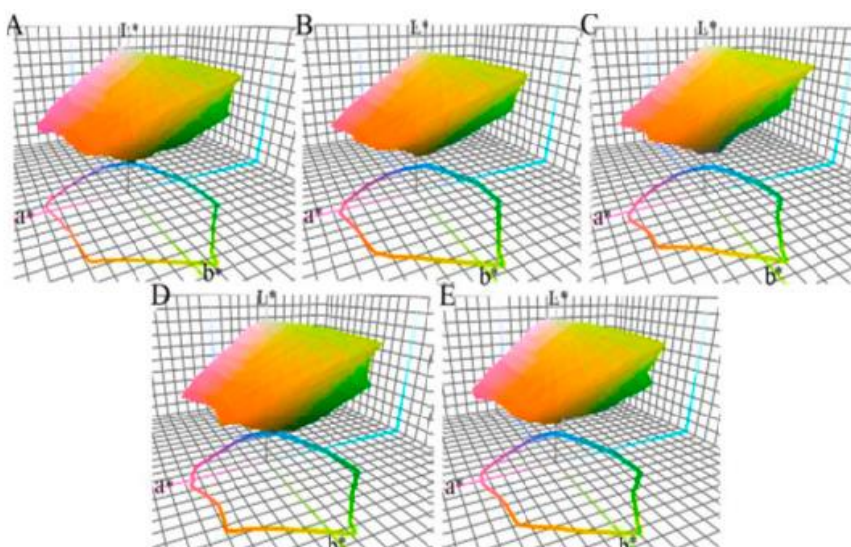
شکل ۱۰: مقایسه گاموت رنگی چاپگرهای دیجیتال در فضا رنگ CIELAB [۸].

Figure 10: Comparison of digital printers' color gamut over the CIELAB color space [8].

جدول ۱: حجم گاموت رنگی محاسبه شده کاغذهای متفاوت [۸].

Table 1: The calculated color gamut volume for different papers [8].

Paper	A	B	C	D	E	F
Gamut volume	239.980	196.224	177.360	202.556	237.464	-



شکل ۱۱: مقایسه گاموت رنگی کاغذهای مختلف در فضا رنگ CIELAB [۸].

Figure 11: Comparing the color gamut of different papers over the CIELAB color space [8].

پیش تعیین شده) در هنگام تطابق رنگی مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. برای تجزیه و تحلیل گاموت رنگی، نمودار رنگی استاندارد به عنوان CMYK هدف توسط نه مخلوط مختلف از CMYK چاپ شد و ویژگی‌های رنگی و طیف انعکاسی نمونه‌های چاپ شده اندازه‌گیری شد.

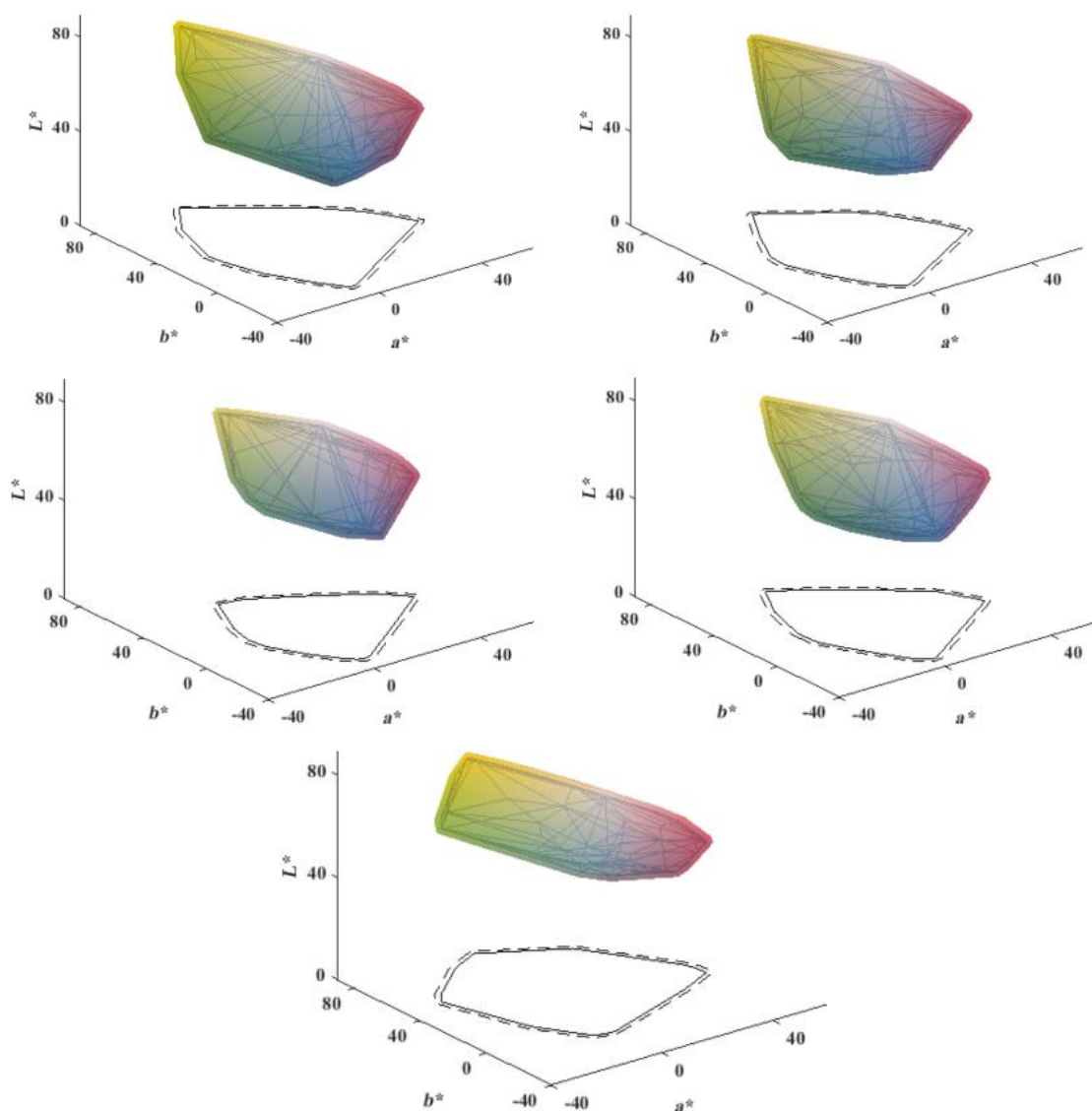
در این پژوهش از جوهرهای پایه آب پراکنده شده که بر روی پارچه پلی استر چاپ شده بودند، استفاده شد. بیشترین اختلاف

یکی از مهم‌ترین موضوعات در زمینه چاپ دیجیتال، ارزیابی و تخمین گاموت رنگی است. یک چاپگر فقط می‌تواند رنگ‌هایی که در داخل گاموت رنگی هستند را تولید کند. ممکن است گاهی حد رواداری رنگ بین نمونه مرجع و نمونه چاپ شده به عنوان یک قرارداد بین تولیدکننده و مشتری تنظیم شده باشد. در این راستا حاجی‌پور و همکارانش در سال ۲۰۲۱، گستره گاموت رنگی در چاپگر نساجی جوهرافشان را با در نظر گرفتن اختلاف رنگی قابل قبول (از

همانطور که در این شکل‌ها نشان داده شده است اگرچه جوهر زرد برای همه مخلوط‌های مختلف یکسان است و شکل گاموت رنگی در این ناحیه برای مخلوط‌های مختلف متفاوت است. این اتفاق در مناطق آبی و قرمز نیز رخ داده است [۲۰].

نتایج نشان داد زمانی که اختلاف رنگی قابل قبول در اندازه‌گیری گاموت رنگی در نظر گرفته شود، سطح و حجم افزایش می‌یابد، بنابراین قابلیت بازتولید رنگ در چاپگر نیز افزایش می‌یابد. گستره حجم مخلوط با حداقل حجم گاموت رنگی ۳۴/۲۰ درصد بود در حالی که گستره حجم مخلوط با بیشینه حجم گاموت برابر با ۲۸/۰۶ درصد بدست آمد.

رنگی قابل قبول در این آزمایش برابر با ۲ واحد CIELAB برای همه رنگ‌ها بود. به منظور تخمین و برآورد گاموت رنگی با حداکثر اختلاف رنگی قابل قبول برای همه نقاط مرزهای گاموت رنگی، نقاط بسط داده شده با فاصله اقلیدسی کمتر از $\Delta E = 2$ بدست آمد. اگر اختلاف رنگی قابل قبول در نظر گرفته شود، چاپگر می‌تواند رنگ بیشتری نسبت به گاموت اصلی بازتولید کند. شکل ۱۲ گاموت اصلی و گاموت رنگی گسترش‌یافته با در نظر گرفتن $\Delta E \leq 2$ برای هر مخلوط از جوهر در فضای رنگ CIELAB نشان داده شده است. در این شکل‌ها فضاهای رنگی دوبعدی مشخص شده توسط خطوط و خطوط نقطه چین به ترتیب برای گاموت اصلی و گاموت رنگ گسترش یافته با در نظر گرفتن اختلاف رنگی قابل قبول نشان داده شده است.

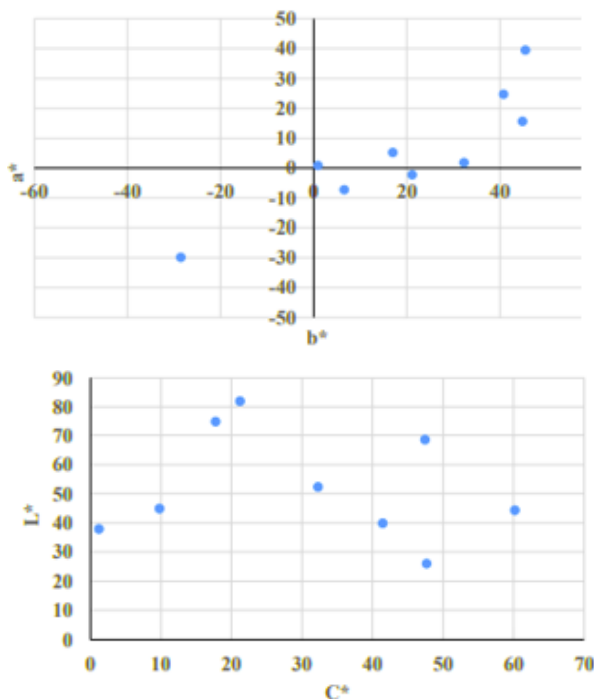


شکل ۱۲: گاموت رنگی مخلوط‌های متفاوت در فضای رنگ CIELAB [۲۰].

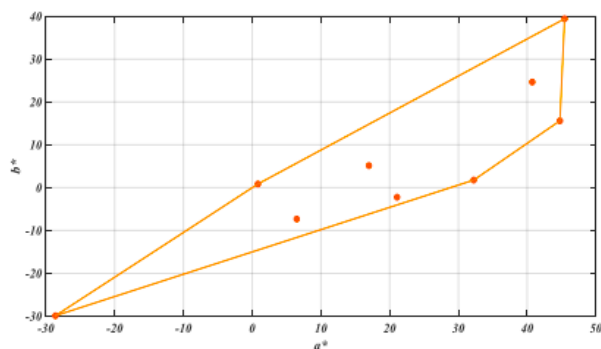
Figure 12: The color gamut of different mixtures in CIELAB color space [20].

سه‌بعدی در فضا رنگ CIELAB به دست آمده برابر با $\times 10^4$ است [۲۲].

در سال ۲۰۱۱ آلوریا^۲ و همکارانش اثر دو حلال مختلف اتیلن گلیکول^۳ و اتیلن دی آمین^۴ را بر روی خواص نوری نیمه‌هادی سولفید کادمیم^۵ مورد ارزیابی قرار دادند.



شکل ۱۳: موقعیت ۹ ماده رنگزای طبیعی در مختصات a^*b^* و C^*L^* [۲۲].
Figure 13: Distribution of 9 natural dyes over the a^*b^* and C^*L^* diagrams [22].



شکل ۱۴: مرز گاموت رنگی ۹ ماده رنگزای طبیعی در دیاگرام دوبعدی a^*b^* [۲۲].

Figure 14: The color gamut boundary of 9 natural dyes over the 2D a^*b^* diagram [22].

² Oliveira

³ Ethylene glycol

⁴ Ethylene diamine

⁵ CdS

در پژوهش دیگر به بررسی رابطه میان ویژگی‌های رنگی انواع مختلف کاغذ که دارای نوع و چگالی متفاوتی هستند پرداخته شده است. قابلیت باز تولید رنگ با استفاده از فناوری چاپ مشابه (چاپ جوهر افشان) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که هیچ رابطه واضحی بین ویژگی‌های رنگی هر کاغذ به عنوان مثال (شاخص سفیدی CIE و غیره) و حجم گاموت رنگی وجود ندارد. اگرچه ویژگی‌های رنگی مربوط به نمونه چاپ شده نشان داد که یک رابطه خطی کامل بین کم‌ترین مقدار روشنایی (یا بیشترین مقدار تاریکی) در نمودار رنگی چاپ شده و حجم گاموت رنگی است. به طور کلی بیشترین حجم گاموت رنگی برای چاپگرهای جوهر افشان مربوط به کاغذهای براق است [۲۱].

۳-۴- بررسی مشخصه‌های رنگی و گاموت رنگی سلول‌های خورشیدی

شیراحمد و همکارانش جهت بررسی مشخصه‌های رنگی و طیفی حساس‌کننده موجود در سلول‌های خورشیدی از ۹ ماده رنگزای طبیعی بر پایه آنتوسیانین استفاده کردند. توزیع نمونه‌های مذکور در دیاگرام a^*b^* از فضا رنگ CIELAB و C^*L^* از فضا رنگ CIELCH در شکل ۱۳ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان داد توزیع نمونه‌ها در ناحیه اول و سوم و چهارم فام واقع شده‌اند و نمونه‌ها از فام‌های قرمز مایل به زرد تا سبز-آبی و بنفش برخوردار بودند. در حالیکه مقادیر روشنایی و خلوص نمونه‌ها مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی در دیاگرام C^*L^* از فضا رنگ CIELCH بین (۱۶/۶۰-۱/۲) C^* است.

در ادامه برای تعیین مرز گاموت رنگی ایجاد شده توسط نمونه‌ها در فضا رنگ CIELAB از الگوریتم Convex hull استفاده کردند. مرز گاموت ۹ ماده رنگزای طبیعی مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی را در فضای دو بعدی a^*b^* در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

در مرحله بعد برای رسم گاموت رنگی ابتدا از الگوریتم Convex hull برای مجموعه نقاط دوبعدی توسط مثلث دلونی استفاده شد. برای آنکه بتواند Convex hull سه‌بعدی از مجموعه داده‌های رنگی در فضا رنگ CIELAB به دست آورند، در ابتدا مثلث دلونی این مجموعه نقاط (L^*, a^*, b^*) را ساختند.

در نهایت حجم گاموت رنگی به کمک الگوریتم Convex hull تعیین و محاسبه شد. سطح^۱ مربوط به حجم گاموت رنگی به دست آمده از ۹ ماده رنگزای طبیعی مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزای طبیعی در شکل ۱۵ به صورت کلی و شماتیک نشان داده شده است. نتایج نشان داد که حجم گاموت رنگی که توسط الگوریتم Convex hull در مختصات رنگی

¹ Surface

محلول مرجع داشتند. این بدین معنی است که محلول‌های رنگی استخراج شده در محیط بازی منجر به اختلاف رنگ بالاتری نسبت به محلول رنگزای استخراج شده در محیط اسیدی می‌شوند [۵].

۴-۴- گاموت رنگی کالاهای رنگزای شده

در سال ۲۰۱۶، گلراجانی^۲ و همکارانش در تحقیقی به بررسی مشخصه‌های رنگی کالای پنبه‌ای رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی، در فضا رنگ‌های CIELAB و CIELCH پرداختند. هم‌چنین در تحقیق صورت گرفته مشخصه‌های رنگی الیاف پنبه‌ای رنگزای شده با مواد رنگزای راکتیو مصنوعی نیز مورد اندازه‌گیری قرار گرفت، در نهایت گاموت رنگی برای نخ‌های رنگی رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی و مصنوعی با یکدیگر مقایسه شدند [۲۴، ۲۵]. در شکل ۱۶ توزیع نخ‌های پنبه‌ای رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی و مصنوعی در نمودار a^*b^* از فضا رنگ CIELAB نشان داده شده است. مطابق شکل ناحیه A گاموت رنگی مواد رنگزای طبیعی و ناحیه B گاموت رنگی مواد رنگزای مصنوعی است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که گاموت رنگی الیاف پنبه‌ای رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی در ناحیه اول فام، بخش بزرگ‌تری داشته است. هم‌چنین گاموت رنگی نخ‌های حاصل از رنگزای مواد رنگزای طبیعی در مقایسه با مواد رنگزای مصنوعی کوچک‌تر است.

بررسی مقادیر خلوص نیز نشان داد که خلوص مواد رنگزای راکتیو نسبت به مواد رنگزای طبیعی بیشتر است، هم‌چنین فام نهایی مواد رنگزای طبیعی در مقایسه با مواد رنگزای مصنوعی راکتیو مات‌تر و کدرتر بوده است [۲۴، ۲۵].

در تحقیق انجام شده در سال ۲۰۱۳، برای اولین بار ویژگی‌های طیفی و رنگی کالای پشمی رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی مورد استفاده در قالی ایرانی در فضا رنگ CIE XYZ اندازه‌گیری و مورد مطالعه قرار گرفت [۲۶، ۲۵]. هم‌چنین در این تحقیق از روش تحلیل اجزا اصلی^۳ و فاکتورگیری غیرمنفی ماتریس^۴ استفاده شد.

جدول ۲: ویژگی‌های رنگی نانو ذرات CdS [۲۳].

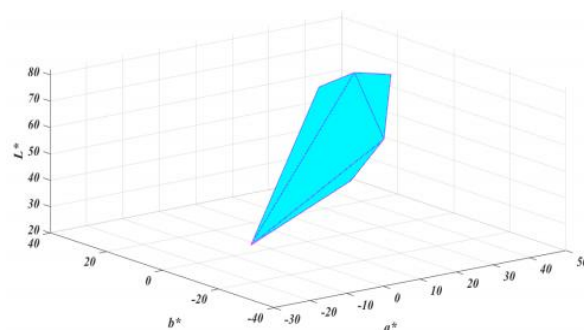
Table 2: Colorimetric coordinates of CdS nanoparticles [23].

Sample	Light source	a*	b*	L*
Ethylene glycol	D65-10°	9.85	79.13	83.39
Ethylenediamine	D65-10°	20.70	98.38	79.96

² Gulrajani

³ Principal component analysis

⁴ NNMF



شکل ۱۵: حجم گاموت رنگی ۹ ماده رنگزای طبیعی در فضا رنگ CIELAB [۲۲].

Figure 15: The color gamut of 9 natural dyes over the CIELAB color space [22].






مشخصات رنگی نانو ذرات سولفید کادمیم تحت استاندارد روش‌شناسی D65 و مشاهده‌کننده استاندارد CIE1964 به دست آمد. نتایج به دست آمده در جدول ۲ نشان داد که سولفید کادمیم سنتز شده در اتیلن دی آمین رنگ نارنجی و سولفید کادمیم سنتز شده در اتیلن گلیکول رنگ زرد را داراست [۲۳].

در تحقیقی در سال ۲۰۱۷ حسین نژاد و همکارانش از عصاره گیاه آقطی^۱ به عنوان حساس‌کننده در سلول‌های خورشیدی حساس شده به مواد رنگزا استفاده کردند. به منظور بررسی مشخصه‌های رنگی، درصد نور انتقال یافته از محلول‌های رنگزای طبیعی در طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر با گام‌های ۱۰ نانومتری مورد ارزیابی و مطالعه قرار گرفت. در جدول ۳ مقادیر مشخصه‌های رنگی نمونه‌ها در فضا رنگ‌های CIELAB و CIELCH برای ۵ محلول رنگزای طبیعی نشان داده شده است [۵]. به منظور بررسی ویژگی‌های کالریمتریک، نمونه C به عنوان محلول شاهد از گیاه آقطی با نمونه‌های دیگر مقایسه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که نمونه‌های A و B در محلول اسیدکلریدریک از نمونه C روشن‌تر هستند و هم‌چنین مقادیر خلوص نمونه‌های A، B و C نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است که با غوطه‌وری در محلول هیدروکسید سدیم به دست آمده بودند. مقادیر b^* در محلول‌های A، B، C و D پیوسته در حال کاهش است که بیانگر این مسئله است که با تغییر محیط از حالت اسیدی به قلیایی فام آبی در حال افزایش است.

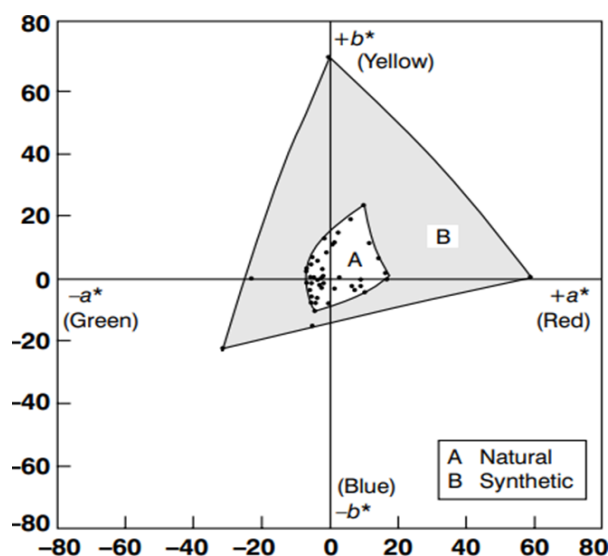
در ادامه برای بهتر نشان دادن اختلاف رنگی بین محلول‌های استخراج شده در محلول اسیدکلریدریک و هیدروکسید سدیم به دست آمده، مقادیر اختلاف رنگی بین همه نمونه‌ها با نمونه C محاسبه شد. مطابق جدول ۳، محلول‌های رنگزا استخراج شده در محلول اسیدکلریدریک در مقایسه با محلول‌های ماده رنگزای استخراج شده در هیدروکسید سدیم اختلاف رنگی بیشتری نسبت به

¹ Sambucus ebulus

جدول ۳: مشخصه‌های رنگی ۵ محلول رنگزای طبیعی در فضا رنگ‌های CIELAB و CIELCH [۵].
Table 3: Color characteristics of 5 natural dye solutions in CIELAB and CIELCH color spaces[5].

Sample	Solvent	L*	a*	b*	C*	Hue	ΔE^*_{ab}	Sample photo
A	0.1 N HCl	87.57	24.01	1.09	24.04	2.59	9.94	
B	1 N HCl	83.85	29.48	-2.76	29.61	354.66	4.62	
C	-	82.70	27.58	-6.81	28.41	346.13	0	
D	0.1 N NaOH	77.95	15.32	-16.92	22.83	312.18	16.58	
E	1 N NaOH	78.99	5.41	-16.24	17.12	288.43	24.38	

مقایسه رفتار رنگی کالای پشمی رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی و چیپس‌های مانسل در شکل ۱۷ نشان داده شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که گاموت رنگی نمونه‌های طبیعی در مقایسه با نمونه‌های مانسل ناحیه کوچک‌تری از دیاگرام رنگی را به خود اختصاص داده است و خلوص این نمونه‌ها کمتر است و مواد رنگزای طبیعی با خلوص بالاتر نسبت به نمونه‌های مانسل دارای فام‌های بنفش است [۲۶، ۲۵].



شکل ۱۶: توزیع نخ‌های رنگزای شده با مواد رنگزای مصنوعی و طبیعی در دیاگرام a^*b^* [۲۴، ۲۵].

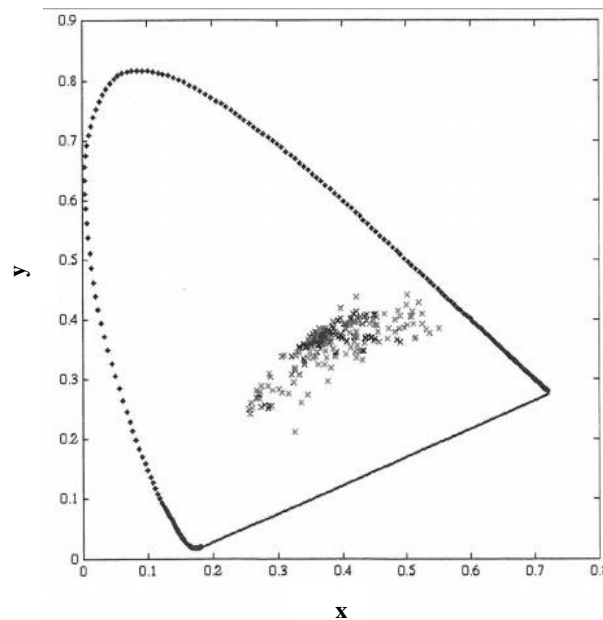
Figure 16 : Distribution of yarns dyed with natural and synthetic dyes over the a^*b^* diagram [24,25]

۵- نتیجه گیری

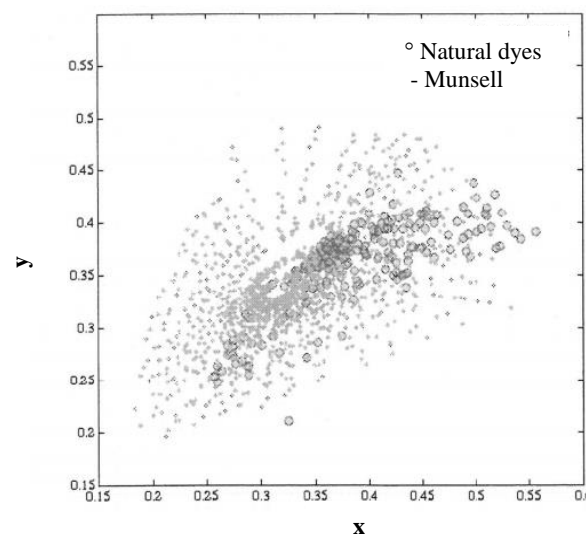
در مقاله حاضر نخست به تعریف گاموت رنگی و سپس به بررسی مطالعات و تحقیقات انجام شده در خصوص گاموت رنگی چاپگرها، مواد رنگزای طبیعی به کار رفته در کالای پشمی و پنبه‌ای و نیز سلول‌های خورشیدی پرداخته شده است. همچنین الگوریتم‌های تشریح مرزهای گاموت، ایجاد سطح توسط روش مثلث‌بندی و کاربرد روش مثلث‌بندی دلونی نیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. بررسی‌ها نشان داد که در چاپگرهای دیجیتال خواص کاغذ مانند تخلخل، زبری و براقیت از مهمترین عوامل در انتقال و ظاهر تصویر در فرآیند باز تولید رنگ در چاپگر است که تاثیر بسزایی در کیفیت چاپ و گاموت رنگی دارد. در پژوهش دیگر نتایج نشان داد زمانی که اختلاف رنگی قابل قبول در اندازه‌گیری گاموت رنگی در نظر گرفته شود، سطح و حجم افزایش می‌یابد، بنابراین قابلیت بازتولید رنگ در چاپگر نیز افزایش می‌یابد. همچنین بررسی پژوهش دیگر در حوزه چاپ نشان داد که به طور کلی بیشترین حجم گاموت رنگی برای چاپگرهای جوهر افشان مربوط به کاغذهای براق است گاموت رنگی نمایشگرها از چاپگرها بزرگ‌تر است. بنابراین هنگامی که تصویر نمایش داده شده چاپ می‌شود فرآیند بدست آوردن گاموت باید از قبل انجام شود. فرآیند بدست آوردن گاموت رنگی یک روش جابه‌جایی رنگ‌های غیرقابل چاپ توسط رنگ‌های قابل چاپ است که ظاهر یک تصویر را حفظ می‌کند. مطالعات انجام شده در خصوص کالاهای پنبه‌ای و پشمی رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی در مقایسه با مواد رنگزای مصنوعی نشان داد که مواد رنگزای طبیعی در مقایسه با مواد رنگزای مصنوعی از گاموت رنگی کوچک‌تری برخوردارند. در بخش بررسی مشخصه‌های رنگی سلول‌های خورشیدی مطالعات انجام شده نشان داد که بسته به مواد نیمه‌هادی سنتز شده، حلال به کار رفته و تغییر میزان اسیدی بودن محیط گاموت‌های رنگی مختلفی قابل حصول است. همچنین بررسی حجم گاموت رنگی مواد رنگزای طبیعی به کار رفته در سلول‌های خورشیدی بر پایه آنتوسیانین حاکی از برتری فام‌های قرمز-زرد، سیاه و بنفش است. این نکته تابعیت گاموت رنگی از نوع مواد رنگزای طبیعی به کار رفته در سلول‌های خورشیدی را نشان می‌دهد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب قدردانی خویش را از پژوهشگاه رنگ بدلیل حمایت‌های مادی و معنوی جهت نگارش مقاله فوق اعلام می‌دارند.



(a)



(b)

شکل ۱۷: الف) توزیع نخ‌های پشمی رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی و ب) چپس‌های رنگی مانسل (دایره‌های توپر صورتی) و نخ‌های پشمی رنگزای شده با مواد رنگزای طبیعی (دایره‌های توخالی) در دیاگرام رنگ [۲۵، ۲۶].
Figure 17: a) Distribution of dyed woolen yarns with natural dyes and b) Munsell color chips (solid circles) and woolen yarns dyed with natural dyes (hollow circles) over the chromaticity diagram [26, 25].

ع- مراجع

1. N. Ohta, A. R. Robertson, "Colorimetry Fundamentals and Applications", England, John Wiley & Sons Ltd, 2005.
2. R. Tilley, "Color and Optical Properties of Materials", 2nd Ed, Wiley, United Kingdom, 2011.
3. R. McDonald, "Color Physics for Industry", Society of Dyers and Colorists, 1997.
4. S.H. Amirshahi, F. Agahian, "Computational Color Physics", Arkane Danesh, (inpersian), 2007
5. M. Hosseinezhad, R. Jafari, K. Gharanjig, "Characterization of a green and environmentalssly friendly sensitizer for a low cost dye-sensitized solar cell", opto. electron rev. 25, 98-93, 2017.
6. B. S. Roy, Bem's, "Principles of color technology", mansell color science Laboratory, Rochester Institute of Technology, 1954.
7. R. Balasubramanian, E. Dalal, "A method for quantifying the color gamut of an output device", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 1997.
8. M. Ataefard, "Investigating the effect of paper properties on color reproduction of digital printing". Prog. Org. Coat. 77, 1376-1381, 2014.
9. S. Chen, "Effect of paper properties on xerographic print quality (Master of Science Thesis)", Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry University of Toronto, 2009.
10. A. M. Bakke, F. Ivar, J. Y. Hardenberg, "Evaluation of Algorithms for the Determination of Color Gamut Boundaries". J. Imaging Sci. Technol. 54, 050502-050502, 2010.
11. J. Morvic, "Color gamut mapping", Hewlett- Packard Company, Barcelona, Spain, chapter, 8, 143-155, 2008.
12. J. Morvic, M. Ronnier Luo, "Calculating medium and image gamut boundaries for gamut mapping", Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur 25, 394-401, 2000.
13. https://www.google.com/search?q=convex+hull%DA%86%DD8%B3%D8%AA&sxsrf=ALeKk03Zn3B9p4RjjEQPjdGGWnO5Q:1589995133115&source=lnms&tbm=isch&sa=Xed=UKEwi3heq4cLpAhViqnEKHTKTBCsQ_AUoAXoECAAw&biw=1366&bih=657#imgrc=D5d4QhXTuavarM.
14. M. Varshosaz, H. Helali, D. Shojaei, "Review on triangulation algorithms and the effective parameters", Geomatic conference, (in Persian), 2005.
15. M. Varshosaz, H. Helali, and D. Shojaei, "The methods of triangulation", Map Middle East, 5, 2005.
16. D. Shojaei, H. Helali, and A. A. Alesheikh, "Triangulation for surface modelling". In Ninth International Symposium on the 3D Analysis of Human Movement, France, 2006.
17. S. Bangyong, L. Han, L.Wenli, Z. Shisheng, "A color gamut description algorithm for liquid crystal displays in CIELAB space," Sci. World J. doi: 10.1155/2014/671964, 2014.
18. H. Vogl, "A Survey of Digital Press Manufacturers: Critical Paper Requirements Visiting Professor, School of Print Media Rochester Institute of Technology", No. PICRM-2008.
19. H. Al-Rubaiey, "The role of paper and process technologies for mechanics and image quality in digital electrophotography (Doctoral Thesis)", Department of Media Technology, Faculty of Information and Natural Sciences, Helsinki University of Technology, 2009.
20. A. Hajipour, A. Shams-Nateri, "Expanding the color gamut of inkjet textile printing during color matching", Color Research & Application, 2021.
21. E. Perales, F.M. Martínez-Verdú, V. Viqueira, J. Fernández-Reche, J.A. Díaz, J. Uroz, "Comparison of color gamuts among several types of paper with the same printing technology". Color Research & Application: Endorsed by Inter-Society Color Council, The Colour Group (Great Britain), Canadian Society for Color, Color Science Association of Japan, Dutch Society for the Study of Color, The Swedish Colour Centre Foundation, Colour Society of Australia, Centre Français de la Couleur, 4, 330-336, 2009.
22. S. Shirahmad Haghghi, R. Jafari, M. Hosseinezhad, "Investigating of Colorimetric Characteristics of Anthocyanin Dyes Applied in DyeSensitized Solar Cells", JCST. 15,79-85, 1400.
23. J.F. A. Oliveira, T.M. Milão, V. D. Araújo, M. L. Moreirac, C. E. Longo, M. I. B. Bernardi, "Influence of different solvents on the structural, optical and morphological properties of CdS nanoparticles". J. Alloys Compd. 509, 6880-6883, 2011.
24. M. L. Gulrajani, R.C. Sirvastava, M. Goel, "Color gamut of natural dyes on cotton yarns". Int. J. Cloth. Sci. Tech. 28, 558-569, 2016.
25. R. Jafari1, K.Gharanjig, "A Study on Colorimetric Attributes of Natural Fibers Dyed with Natural Colorants". JSCW. 1, 63-74, 1397.
26. M. Ghanbar Afjeh, S. Ghanean, F. Mazaheri, "Colorimetric and Spectral Properties of Natural Colorants Used in Handmade Traditional Persian Carpets". J. Text. Polym. 1, 98-104, 2013.

How to cite this article:

S. Shirahmad Haghghi, R. Jafari, M. Hosseinezhad, A Review on Color Gamut and the Methods of Gamut Boundaries' Explanation, *J. Stud. Color world*, 12, 1(2022), 21-35.

DOR: 20.1001.1.22517278.1401.12.1.2.7