

A Review of the History, Application, and Chemistry of Photographic Printing of Cyanotype Based on Prussian Blue Pigments

Neda Banayan Ghomi¹, Roshanak Davari^{*1}, Kamaladin Gharanjig²

1- Department of Textile and Fashion Design, Faculty of Art, Alzahra University, P. O. Box:1993893973, 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: 12-06-2025

Accepted: 27-09-2025

Available online: 05-11-2025

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOI: 10.30509/jcst.2025.167570.1262

Keywords:

Cyanotype

Print

Prussian blue

Toning

Paper

ABSTRACT

Nowadays, despite the availability of modern technologies and advanced printing equipment, cyanotype remains one of the favored techniques among artists and photography enthusiasts. This study investigates the history, chemistry, applications, and artistic impacts of cyanotype printing. It begins with a comprehensive overview of the role of this process in the history of photography and art. In the section on cyanotype chemistry, following a review and identification of the sensitizing formulas and the production of different hues, the study provides a detailed analysis of the chemical processes and operational stages involved in cyanotype printing, thereby offering a deeper understanding of this technique and its significance in both historical and contemporary contexts. One branch of this technology concerns the methodology and procedural aspects of printing. In this regard, the preparation and formulation of chemical compounds, the choice of printing substrates (paper or fabric), the application and coating of sensitizing solutions, exposure, processing, and drying methods are examined and analyzed. A key aspect of cyanotype lies in the formulation and combination of sensitizing agents, which is considered one of the most significant challenges of this printing method. Another challenge faced by practitioners and artists is the vulnerability and deterioration of print quality due to alkalization caused by the use of certain materials, which is also discussed in this article.

*Corresponding author: * davari@alzahra.ac.ir



مروری بر تاریخچه، کاربرد و شیمی چاپ عکاسی سایانوتایپ بر پایه رنگدانه‌های آبی پروس

ندا بنایان قمی^۱، روشنک داوری^{۲*}، کمال‌الدین قرن‌جیگ^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه طراحی پارچه و لباس، دانشکده هنر، دانشگاه الزهراء(س)، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۳۸۹۳۹۷۳

۲- استادیار، گروه طراحی پارچه و لباس، دانشکده هنر، دانشگاه الزهراء(س)، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۹۹۳۸۹۳۹۷۳

۳- استاد، گروه پژوهشی مواد رنگزای آلی، پژوهشکده مواد رنگزا، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵-۶۵۴

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۵

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOI: 10.30509/jcst.2025.167570.1262

واژه‌های کلیدی:

سایانوتایپ

چاپ

آبی پروس

تنظیم رنگ

کاغذ

امروزه، علیرغم وجود فناوری‌های جدید و تجهیزات پیشرفته چاپ، سایانوتایپ همچنان به‌عنوان یکی از روش‌های محبوب در میان هنرمندان و علاقه‌مندان به تاریخ عکاسی باقی‌مانده است. در این پژوهش به بررسی تاریخچه، شیمی چاپ سایانوتایپ، کاربردها و تاثیرات هنری آن پرداخته شده است. ابتدا نگاهی جامع به نقش این روش در تاریخ عکاسی و هنر می‌شود. در بخش شیمی چاپ سایانوتایپ پس از مرور و شناخت فرمول‌های مواد حساس‌کننده و ایجاد رنگ‌های مختلف، با تحلیل جزئیات فرایندهای شیمیایی و مراحل اجرایی سایانوتایپ، درک عمیق‌تری از این روش و اهمیت آن در دوران گذشته و معاصر ایجاد خواهد شد. یکی از شاخه‌های این فناوری، مبحث روش‌شناسی و فرایند اجرای چاپ است. در این راستا روش‌های تهیه و ترکیب مواد شیمیایی، بستریهای چاپ (کاغذ یا پارچه)، نحوه اجرا و پوشش مواد، نوردهی، پردازش و خشک کردن، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نکته حائز اهمیت در سایانوتایپ، فرمول‌بندی و ترکیب مواد حساس‌کننده است که به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های این نوع چاپ محسوب می‌گردد. چالش دیگر این فناوری برای افراد و هنرمندانی که از آن بهره می‌برند، آسیب‌پذیری و پایین آمدن کیفیت چاپ به دلیل قلیایی شدن در اثر کاربرد برخی مواد است که مورد بحث قرار گرفته است.

۱- مقدمه

برای ایجاد رنگ سه عامل اصلی منبع نور، شی رنگی و چشم لازم است (۱، ۲). معمولاً با تابش نور سفید به شی رنگی که توسط مواد رنگزا رنگی شده است، برخی از طول موج‌های نور تابیده شده جذب و برخی از طول موج‌ها انعکاس می‌یابند (۳). بخش انعکاس یافته توسط چشم انسان دریافت شده و توسط مغز به رنگ‌های مختلف تفسیر می‌شود. رنگ ایجاد شده به این روش به دلیل جذب انتخابی بخشی از طیف ایجاد شده است. بیشتر رنگ‌ها در دنیای گیاهان مانند سبز کلروفیل، زرد و قرمز کاروتنوئیدها، و قهوه‌ای لیگنین‌ها^۱ و تانن‌ها، به دلیل جذب انتخابی در قسمت‌های مختلف گیاه، رنگی به نظر می‌رسند (۴-۷). روش دیگر برای ایجاد رنگ، فرایند انتشار نور است. فام آبی یکی از نادرترین فام‌ها است (۸)، که توسط آسمان و به دلیل پراکندگی انتخابی نور در جو ایجاد می‌شود (۹). بسیاری از مواردی که به فام آبی در طبیعت دیده می‌شوند، به‌ویژه در پرهای پرندگان یا پروانه‌ها، به دلیل حضور مواد رنگزا نیستند بلکه نتیجه پراکندگی نور توسط ساختارهای نانومقیاس است (۱۰).

سایانوتایپ یک روش برای ایجاد تصاویر با فام آبی است. این روش که یکی از روش‌های خانواده سایدروتایپ^۲ (فرایندهای عکاسی مبتنی بر آهن) است، اولین فرایند عکاسی ساده، کامل و کاربردی بود که بدون استفاده از نقره انجام می‌شد. این روش توسط سر جان هرشل^۴ اختراع شد (۱۱). سه سال قبل از آن، اختراعاتی در زمینه عکاسی با نقره، به‌ترتیب با استفاده از زیرلایه‌های فلزی و کاغذی معرفی گردید. موفقیت‌های مذکور در نهایت به ثبت تصاویر نقره‌ای منجر شد (۱۲). در ادامه نیز مواد حساس به نور جدید در عکاسی غیرنقره‌ای گسترش یافت و به جای استفاده از رنگزاهای آلی ناپایدار به سمت استفاده از ترکیبات معدنی با فام‌های عمیق‌تر معطوف شد (۱۳). یکی از مهم‌ترین اختراعات در عکاسی، کشف تیوسولفات سدیم به‌عنوان یک تثبیت‌کننده شیمیایی برای تصاویر عکاسی برپایه نقره بود. در این راستا تحقیق برای تولید نمک‌های آهن به صورت الکترولیتی در دستور کار قرار گرفت. ابتدا یک ورق کاغذ معمولی به یک ترکیب شیمیایی از نمک‌های آهن حساس به نور آغشته شده و پس از پوشیده شدن قسمت‌هایی از آن، در معرض تابش نور خورشید قرار گرفت. ناحیه‌ای از کاغذ که به آن نور تابیده بود به فام آبی تیره در آمد، در حالی که قسمت‌های پوشیده شده، سفید باقی‌ماندند. در نهایت با شست‌وشوی ورق کاغذ در آب حاوی مقدار کمی سولفات سدیم تصویر تثبیت شد. کشف هرشل به دلیل ارائه یکی از انعطاف‌پذیرترین فرایندهای اولیه عکاسی قابل توجه است (۱۴).

اولین سایانوتایپ‌ها با استفاده از گیاهان طبیعی و اشیاء انجام شده است. اما آن پس از خلق مجموعه‌ای از فوتوگرام‌های گیاهی توسط آتکینز^۵ با عکاسی در آمیخت. آثار آتکینز به‌ویژه در چاپ‌های دستی سایانوتایپی، نمونه‌ای از تلفیق موفق علم، هنر و فناوری در قرن نوزدهم محسوب می‌شود (۱۵). این فرایند تا چندین دهه به تدریج برای تصاویر عکاسی شده به کار گرفته شد (۱۶). سایانوتایپ تصاویری دائمی با طیفی گسترده از فام‌های آبی زیبا ارائه می‌دهد. این روش برخلاف تمامی روش‌های چاپ که توسط پیشگامان اولیه عکاسی ایجاد شده است، تا به امروز بدون تغییر باقی مانده است (۱۷).

در دنیای امروز که فناوری‌های دیجیتال و روش‌های پیشرفته چاپ تصویری به سرعت در حال رشد هستند، پرداختن به روش‌های تاریخی مانند سایانوتایپ می‌تواند نگاهی تازه به ریشه‌های هنر عکاسی و شیوه‌های جایگزین چاپ فراهم کند. سایانوتایپ با قدمتی نزدیک به دو قرن، نه تنها یکی از نخستین روش‌های چاپ عکاسی بدون استفاده از نقره است، بلکه به دلیل ویژگی‌های منحصربه‌فردش مانند سهولت اجرا، سادگی مواد اولیه، دوام تصویر و امکان چاپ بر روی سطوح متنوع، همچنان مورد توجه هنرمندان و پژوهشگران قرار دارد. یکی از دلایل اصلی انتخاب این موضوع برای پژوهش، بازنگری در روش اجرای این چاپ است که با وجود سادگی و قدمت، هنوز هم قابلیت‌های خلاقانه و هنری بسیاری دارد. همچنین، بررسی سیر تحول این روش از زمان کشف آن تا به امروز، به‌ویژه در زمینه‌هایی مانند تنظیم رنگ، استفاده از بسترهای جدید و توسعه فرمول‌های شیمیایی نوین، زمینه‌ای مناسب برای پژوهش علمی و هنری فراهم کرده است. سایانوتایپ در ابتدا به‌عنوان روشی ساده برای مستندسازی گیاهان توسط آتکینز به کار گرفته شد و سپس در مهندسی و معماری برای تولید نقشه‌ها (بلوپرینت) به کار گرفته شد. در دهه‌های اخیر سایانوتایپ به‌عنوان رسانه‌ای هنری دوباره احیا شده و با ابداعات جدید مانند استفاده از فرمول‌های نوین، روش‌های تنظیم رنگ گیاهی و چاپ بر روی سطوح چوبی، شیشه‌ای و پارچه‌ای، وارد مرحله‌ای تازه از حیات خود شده است.

این مقاله، ابتدا نگاهی تاریخی و علمی به چاپ سایانوتایپ دارد. سپس شیمی فرایند، مواد حساس‌کننده و شیوه‌های اجرای چاپ را شرح می‌دهد. در ادامه چالش‌هایی مانند آسیب‌پذیری در برابر مواد قلیایی و راهکارهای حفظ و نگهداری آثار نیز بررسی شده‌اند. همچنین، فرایند تنظیم رنگ و استفاده از مواد طبیعی برای ایجاد فام‌های رنگی مختلف و چاپ بر روی پارچه و منسوجات نیز مدنظر قرار گرفته است.

1. Carotenoid
2. Lignin
3. Siderotype
4. John Herschel

5. Anna Atkins
6. Toning

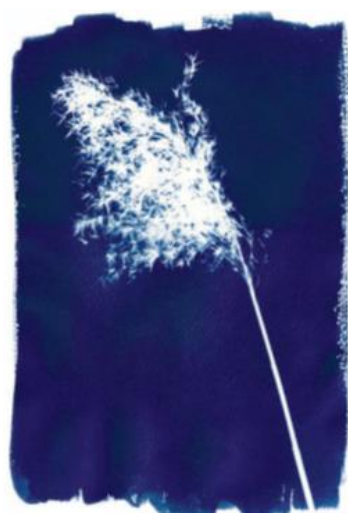
۲- تاریخچه چاپ سایانوتایپ

با وجود گستره وسیعی از فرایندهای دیجیتالی در دسترس، می‌توان گفت که تنها ۱۸۰ سال پیش، عکاسی به شکل امروزی حتی اختراع نشده بود. در آن زمان، رقابت شدیدی برای ثبت یک تصویر کامل وجود داشت. بسیاری از فرایندها آزمایش و کنار گذاشته شدند. برخی روش‌ها بسیار کند بودند، برخی دیگر هزینه‌بر و برخی شامل مواد شیمیایی خطرناک می‌شدند. اما فرایند سایانوتایپ دارای سرعت کافی، کم‌هزینه و ایمن بود (۱۸). این فرایند که اغلب به‌عنوان «چاپ آبی» شناخته می‌شود، هنری برپایه چاپ با استفاده از رنگدانه معدنی آبی پروس است که حدود سال ۱۷۰۰ میلادی اختراع شد (۱۹). فام آبی سایانوتایپ، به عنوان نمادی از جست‌جوی دانش و درک عمیق‌تر از طبیعت است (۲۰).

روش سایانوتایپ در سال ۱۸۴۲ توسط سر جان هرشل (۱۷۹۲-۱۸۷۱)، اختراع شد (۲۱). بعدها او آرژنتوتایپ^۳ را توسعه داد (۲۲)، که در آن برای رسوب نقره تحت تأثیر پرتو فرابنفش از نمک‌های آهنی سیترات آهن استفاده می‌شد (۲۳). این نمک‌ها سپس در محلولی که شامل نیترات نقره بود، بهبود یافتند (۲۲).

در سال ۱۸۴۳ میلادی یک گیاه‌شناس به نام آنا آتکینز، کتابی درباره جلبک‌های بریتانیایی تهیه و با استفاده از فرایند سایانوتایپ تصویرسازی کرد. او معتقد بود که این روش عکاسی برای نشان دادن جزئیات دقیق و ظریف جلبک‌ها بسیار دقیق‌تر از طراحی دستی است. این اولین کتابی بود که با استفاده از تصاویر عکاسی تهیه شد که در آن ترکیبی از علم، طبیعت و هنر مورد استفاده قرار گرفت (۲۴). سهولت استفاده و مقرون‌به‌صرفه بودن فرایند سایانوتایپ شرایطی را فراهم کرد که استفاده از این روش گسترش یابد. برای مثال، این روش برای تهیه پیش‌طرح توسط عکاسان و همچنین توسط معماران برای کپی کردن نقشه‌های معماری استفاده شد. تصاویر سایانوتایپ یک ویژگی بارز دارند. همگی آبی فام هستند؛ همان چیزی که به نام «بلوپرینت» شناخته می‌شود (۲۵). آتکینز گیاهان را روی کاغذ سایانوتایپ قرار می‌داد تا چاپ‌هایی از آنها تهیه کند. شکل ۱ با عنوان «نی در باد» نیز به روشی مشابه ایجاد شده است (۱۸).

نکته جالب درباره اختراع سایانوتایپ این است که با وجود ارزش بالای آن، این فرایند در ابتدا چندان مورد توجه قرار نگرفت و تنها به‌عنوان ضمیمه‌ای کوتاه در انتهای یکی از مقالات منتشر شد (۲۷). با این حال، سایانوتایپ سرانجام به موفق‌ترین و ماندگارترین دستاورد در میان نوآوری‌های هرشل بدل شد؛ فرایندی که به‌عنوان تنها روش بازمانده از نخستین دهه‌های عکاسی، تا قرن بیستم به حیات خود ادامه داد. این تداوم به‌ویژه در قالب نقشه‌های مهندسی، که در عرصه



شکل ۱: ایجاد تصویر «نی در باد» به روش سایانوتایپ (۲۶).

Figure 1: Creating an image of "reed in the wind" using the cyanotype method (26).

معماری رواج گسترده یافت، نمود بارزتری پیدا کرد. جالب‌تر آن‌که، سایانوتایپ حتی از نظر دوام و ثبات تصویر با فرایندهای گران‌قیمت‌تری همچون چاپ پلاتینیم یا چاپ کربن قابل رقابت بود (۲۸).

بین سال‌های ۱۸۳۹ تا ۱۸۴۲، هرشل صدها آزمایش جداگانه در مورد حساسیت نوری نمک‌های نقره، فلزات و گیاهان انجام داد. درصد قابل توجهی از این آزمایش‌ها به ایده ساخت تصاویر عکاسی رنگی اختصاص داشت. او تحقیقی را آغاز کرد تا بتواند عصاره‌های رنگی قوی حساس به نور را از گل‌ها تهیه کند. این کار به اختراع فرایند جذاب آنتوتایپ^۳ منجر شد. یکی از مواد مورد استفاده در آزمایش‌های هرشل فریک سیانید پتاسیم بود که از طریق اکسایش الکترولیتی توسط آلفرد اسمی^۴ تولید شد. علاوه‌بر این، او فریک سیانید پتاسیم قرمز روشن را به همراه سیترات آمونیم آهن برای تولید نمک‌های رنگی عمیق که ممکن است توسط نور، سفید یا کاهش یابند، معرفی کرد (۲۲).

تاریخچه سایانوتایپ دارای یک ویژگی دوره‌ای است؛ در طول ۱۷۲ سال آن (تا سال ۲۰۱۴) می‌توان سه مرحله اصلی استفاده از آن را متمایز کرد. در ابتدا، اختراع هرشل تنها توسط یک اقلیت کوچک از غیر حرفه‌ای‌های گیاه‌شناسی برای مقاصد تصویرسازی گیاهی پذیرفته شد. مهم‌ترین دستاورد، کار آتکینز بود که در طول دو دهه از ۱۸۴۳، آلبوم‌های مشهور و با ارزش خود از فتوگرام‌های گیاه‌شناسی را تولید کرد (۲۹). با این حال، در نمایشگاه بزرگ

۱. در این مقاله تمامی تاریخ‌ها به میلادی درج شده است.

2. Argentotype

3. Anthotype
4. Alfred Smee

روی سطوح نساجی مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که رنگدانه معدنی آبی پروس، که پایه اصلی سایانوتایپ را تشکیل می‌دهد، از ثبات نوری بالایی برخوردار بوده و امکان چاپ با کیفیت و وضوح مناسب را بر روی انواع پارچه مانند پنبه، ابریشم و پشم فراهم می‌سازد. همچنین این روش، به دلیل مصرف محدود مواد شیمیایی و امکان اجرا با نور طبیعی یا مصنوعی، به عنوان جایگزینی پایدار و کم‌خطر برای شیوه‌های سنتی چاپ شناخته می‌شود. بررسی ترکیب دو حمام رنگرزی حاوی نمک فریک و فروسیانید پتاسیم نشان داد که سایانوتایپ، علاوه بر ارزش‌های زیباشناختی، با اصول پایداری و ملاحظات زیست‌محیطی نیز سازگار بوده و قابلیت کاربرد در طراحی پارچه‌های معاصر را دارد (۳۳). این روش می‌تواند تلفیقی از فناوری دیجیتال و روش‌های سنتی چاپ بوده و به طراح اجازه دهد تا مفاهیم هویت، خاطره و زیباشناسی را به گونه‌ای نوین در منسوجات بازنمایی کند (۳۴).

برخی هنرمندان معاصر با الهام از روش‌های سنتی، از سایانوتایپ برای بازآفرینی هنرهای بومی استفاده کرده‌اند؛ برای مثال، تلفیق این روش با نقاشی دستی، ابزاری برای بیان مفاهیم اجتماعی و حفظ میراث فرهنگی در قالبی نو و معاصر بوده است (۳۵). در سال ۲۰۲۳، برای نخستین بار روش سنتی سایانوتایپ با فرایند صنعتی آغشته‌سازی با غلتک^۱ تلفیق شد تا امکان چاپ یکنواخت و نیمه‌صنعتی بر روی پارچه فراهم شود. در این روش، پارچه در محلول حساس‌کننده غوطه‌ور می‌شود و سپس با عبور از غلتک، مایع اضافی گرفته شده و سطح آماده نوردهی می‌گردد. آزمایش‌ها روی پارچه‌های کتان، پنبه و ابریشم نشان داد که کتان بالاترین شدت رنگ و ابریشم پایین‌ترین میزان رنگ‌پذیری را دارد. با بهینه‌سازی غلظت محلول، نسبت ترکیب و زمان نوردهی، چاپی یکنواخت، بادوام و مناسب برای استفاده در پوشاک به دست آمد که گامی مؤثر در کاربرد صنعتی این روش تاریخی در طراحی نساجی محسوب می‌شود (۳۶).

تا این مقطع زمانی، فعالیت‌ها عمدتاً بر مبنای روش‌های سنتی سایانوتایپ انجام شده است؛ اما از این دوره به بعد، هنرمندان تمرکز بیشتری بر جنبه‌های نوآورانه از جمله تنظیم رنگ‌های خلاقانه و استفاده از بسترهای غیرمتعارف مانند شیشه، چوب و سایر مواد داشته‌اند و در این مسیر، رویکردهای تازه‌ای را در خلق آثار هنری تجربه کرده‌اند.

۳- روش چاپ سایانوتایپ

در کاربردهای چاپ یا هنری، فرایند سایانوتایپ عمدتاً به عنوان یک فعالیت دستی شناخته می‌شود (۳۷). روش اصلی سایانوتایپ از زمان معرفی آن توسط هرشل تغییر چندانی نکرده است. با این حال،

۱۸۵۱، فرایند سایانوتایپ در میان تعداد زیادی از نمایشگاه‌هایی که شکوفایی هنر علم عکاسی را به تصویر می‌کشیدند تنها با یک نمونه کوچک به نمایش درآمد (۳۰)؛ که نشانه‌ای از وضعیت بی‌اهمیت سایانوتایپ در آن زمان است که ممکن است تا حدی به انتشارات ناکافی از بهترین روش‌ها مربوطه باشد. عدم استفاده از سایانوتایپ به مدت بیست سال دیگر ادامه یافت. پس از مرگ هرشل در ۱۸۷۱، سایانوتایپ توسط کارآفرینانی که ذهن تجاری‌تری از مخترع اصلی آن داشتند، پی‌گیری و به عنوان یک وسیله تکثیر به کار گرفته شد، اگرچه خود هرشل پیش‌تر از آن برای کپی کردن متن‌ها و تصاویر استفاده کرده بود. فرایند «فروپرسیات»^۲ با نام جدید توسط عکاسان به عنوان یک گزینه ارزان و آسان برای تثبیت نگاتیوها استفاده شد، اما بازار اصلی آن در سراسر جهان برای کپی کردن نقشه‌ها در دفاتر طراحی بود (۱۷).

در سال ۱۹۹۴ فرمول جدیدی توسط مایک^۳ و^۲ اختراع شد که در آن فریک آمونیم سترات با فریک آمونیم اکسالات^۳ جایگزین شد. اگرچه هر دو فرمول به چاپی از رنگ آبی پروس منجر می‌شوند، اما نیاز به روش‌های متفاوتی دارند (۳۱). استفاده از فریک آمونیم اکسالات سبب کاهش پخش شدن رنگ و زمان نوردهی کوتاه‌تر می‌شود (۱۸).

تا اوایل قرن بیستم، پذیرش سایانوتایپ به عنوان یک رسانه تصویری، حداقل در بریتانیا، به طور جدی محدود شده بود، زیرا منتقدان واکنش‌های غیرقابل تحملی به رنگ قوی آن نشان می‌دادند. سلیقه داوران معاصر در «هنر عکاسی» آن زمان به ویژه در تصاویر تک رنگی بیشتر قهوه‌ای بودند. بنابراین آبی بی‌پایان سایانوتایپ را تاب نمی‌آوردند (۱۲).

امروزه، فرایند سایانوتایپ در میان هنرمندان عکاسی معاصر که مجبورند کاغذ خود را به صورت دستی پوشش دهند یا در برخی موارد، سطوح غیرمعمول‌تری را استفاده کنند دوباره احیا شده است. زیرا با این روش کاربران می‌توانند یک رسانه چاپی با کیفیت مناسب و رنگ قوی ایجاد کنند. اگر چاپ به روش سایانوتایپ با دقت و فرمول‌بندی خوب اجرا شود، قادر است نقش‌های ظریفی با درجه‌های رنگی مختلف ایجاد کند، به طوری که بتواند با هر فرایند چاپ عکاسی دیگری برابری کند. علاوه بر این، هزینه بسیار پایین، دارای اثرات سمی ناچیز، دوام مناسب، سادگی عملیات چاپ، قابلیت کاربرد بر روی انواع مختلف سطوح، انجام چاپ در سطوح بسیار بزرگ و عدم محدودیت در استفاده از ثبت اختراع از دیگر مزایای این روش است (۳۲).

بعدها فرایند سایانوتایپ به عنوان روشی مؤثر برای ایجاد طرح بر

1. Ferroprussiate
2. Mike Ware
3. Ferric ammonium oxalate

4. Dip-padding

حاوی الیاف مصنوعی باشد، رنگ‌های آبی به‌شکل کم‌رنگ‌تری ظاهر می‌شوند. باید توجه داشت که پارچه‌های نخی که به فروشگاه‌ها فرستاده می‌شوند، معمولاً دارای مواد آزاری هستند تا از چروک شدن جلوگیری کنند. بنابراین، برای رسیدن به پوشش یکنواخت و با کیفیت از محلول سایانوتایپ، لازم است پارچه‌ها ابتدا با آب داغ شسته، سپس در اجاق آزمایشگاهی خشک و اتو شوند (۴۵-۴۳).

۲-۱- نحوه اجرای چاپ سایانوتایپ

به بیان ساده، سایانوتایپ نوعی اثر هنری است که با استفاده از نور خورشید و ایجاد واکنش شیمیایی بر روی سطحی مانند کاغذ یا پارچه پدید می‌آید. در این فرایند، بخش‌هایی از سطح که در معرض نور قرار دارند، با بخشی که در سایه باقی‌مانده متفاوت می‌شوند. نتیجه نهایی، تصویری است که از طریق همان سایه‌ها شکل گرفته است (۴۶).

یکی از موارد مهم در چاپ سایانوتایپ این است که لایه بسیار نازک و یکنواختی از مایع حساس به نور بر روی کالا اعمال شود. مهم‌تر از آن پخش سریع مایع حساس بر روی کالا است. سپس به کالای آغشته شده اجازه داده شود تا در تاریکی خشک شود. کالای آغشته شده به محض خشک شدن، به طور خودکار تثبیت می‌شود، به‌طوری که بلافاصله تحت تابش نور روز آسیب نبیند (۴۷). شکل ۲ تصاویری از کاغذ آغشته شده به مواد حساس و قرار گرفته در معرض نور را نشان می‌دهد که در آن از گیاهان برای ایجاد نقشینه استفاده شده است. برای جلوگیری از پیچ‌خوردگی کاغذ شفاف لازم است از یک اسفنج مرطوب استفاده شود تا یک لایه نازک آب زیر کاغذ شفاف پخش شود. پس از آن، محلول سایانوتایپ توسط یک قلم‌مو یا اسپری بر روی کاغذ پوشش داده می‌شود (۴۸).



شکل ۲: استفاده از گیاهان برای چاپ سایانوتایپ (۴۹).

Figure 2: Using plants for cyanotype printing (49).

پیشرفت‌هایی توسط مایکور در فرایندی به نام سایانوتایپ ۲ یا فرایند جدید سایانوتایپ حاصل شده است. در این فرمول‌بندی، مخلوط کردن مواد کمی پیچیده‌تر است و از مواد شیمیایی سمی‌تری استفاده می‌شود. سایانوتایپ‌ها همچنین به نام‌های نقشه آبی، چاپ خورشیدی، چاپ فروپروسیات^۱ و چاپ آهنی شناخته می‌شوند. فام آبی طبیعی این چاپ‌ها به نام آبی پروس معروف است. در فرایند سایانوتایپ، از نمک‌های پایه آهن (فریک سیانید پتاسیم و فریک آمونیم سیترات) برای ایجاد تصاویر آبی فام استفاده می‌شود (۱۸).

هر نوع کاغذی لزوماً گزینه مناسبی برای چاپ سایانوتایپ به شمار نمی‌رود (۳۸). کاغذ انتخاب‌شده باید توانایی تحمل حداقل پانزده دقیقه قرارگیری در حمام آب را داشته باشد و ترجیحاً بتواند مدت‌زمان بیشتری را بدون آسیب‌دیدگی سپری کند. همچنین، pH کاغذ باید خنثی تا کمی اسیدی باشد در غیر این‌صورت، سطح آن پیش از نوردهی ممکن است به رنگ آبی یا سبز درآید و پس از فرایند ظهور، ته‌رنگی صورتی به خود بگیرد. ضمن اینکه استفاده از کاغذهای رنگی برای برجسته‌سازی تن‌های متنوع رنگی توصیه می‌شود. بهتر است کاغذ قبل از چاپ به روش سایانوتایپ با رنگ‌های گیاهی مثل چای یا قهوه رنگ‌رزی شود (۲۲). کاغذ حساس‌شده با سایانوتایپ هنگامی که در معرض نور خورشید یا منبع فرابنفش قرار می‌گیرد، به نگاتیوی نیاز دارد که هم‌اندازه چاپ باشد (۳۹). در مجموع، تنها راه اطمینان از کیفیت چاپ سایانوتایپ بر روی یک بستر مشخص، انجام آزمایش عملی بر روی آن است (۴۰).

انتخاب پارچه یا کاغذ کاملاً به اهداف قبل و بعد از تکمیل چاپ در سایانوتایپ بستگی دارد. چاپ‌های سایانوتایپ می‌توانند در ترکیب با صمغ بی‌کرومات^۲، کلاژ، مونتاژ، مونوتایپ، چاپ‌سازی، نقاشی، مجسمه‌سازی با کاغذ و لباس بسیار موفق باشند. یکی از دلایل اصلی این انعطاف‌پذیری، سادگی فرایند است که پس از آماده‌سازی محلول حساس‌کننده، تنها به آب نیاز است (۲۲).

الیاف مناسب برای چاپ‌های تاریخی، عمدتاً الیاف طبیعی سلولزی به‌ویژه پنبه هستند. این برتری ناشی از عملکرد مطلوب آن‌ها در جذب مواد شیمیایی است و باید مواد حساس به نور درون این الیاف قرار گیرند (۴۱). یکی دیگر از الیاف سلولزی که جذب بسیار بالایی دارد، کتان است. الیاف کتان خاصیت جذب رطوبت دارند و می‌توانند تا ۲۰ درصد وزن خود را جذب کنند. سایر الیاف گیاهی شامل کنف، رامی^۳ یا کتان چینی و جوت هستند (۴۲). اگر پارچه

۱. فری‌سیانید یا فروسیانید، نمک اسید پروسیک است. این ترکیب به‌طور گسترده به‌عنوان رنگدانه در فرمولاسیون رنگ، لاک و جوهر چاپ استفاده می‌شود.

2. Gum bichromate

3. Ramie

4. Jute

و بهبود ثبات رنگ می‌شود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که زمان نوردهی یکی از عوامل تعیین‌کننده در کیفیت و وضوح نهایی تصویر چاپ‌شده در روش سایانوتایپ است (۵۲).

چاپ تماسی با قرار دادن نگاتیو بر روی سطح حساس به نور و فشردن آن به کمک شیشه انجام می‌گیرد (۵۳). زمان نوردهی در یک روز کاملاً آفتابی حدود ۱۵ تا ۲۰ دقیقه است. با این حال، در روزهای ابری ممکن است این واکنش تا حدود ۱ الی ۳ ساعت طول بکشد (۵۴). پس از نوردهی، کالای چاپ شده از محیط خارج شده و در یک وان آب جاری قرار می‌گیرد. زمان شست‌وشو بسته به ضخامت نوع کالا (کاغذ یا الیاف)، بین ۵ تا ۲۰ دقیقه متغیر است (شکل ۴). پس از شست‌وشو، الیاف در محلول رقیق شده ۳ درصد آب اکسیژنه غوطه‌ور می‌شوند. این مرحله رنگ آبی را که در طی شست‌وشوی طولانی از بین رفته، بازمی‌گرداند (۴۱). این فرایند همچنین باعث تسریع اکسایش می‌شود و رنگ آبی را برجسته‌تر می‌کند. در نهایت کالای چاپ شده خشک می‌شود (۱۸). مراحل اجرای فرایند سایانوتایپ به صورت گام‌به‌گام در شکل ۵ ارائه شده است.

برای چاپ سایانوتایپ، نگاتیو یا شیء مورد نظر که قرار است نقش مطابق آن ظاهر شود را روی کاغذ یا پارچه حساس شده قرار می‌دهند و آن را با یک قطعه شیشه می‌پوشانند. این مجموعه در معرض تشعشع فرابنفش یا نور طبیعی خورشید قرار می‌گیرد تا طرح ظاهر شود (۵۰). اگر از نور خورشید برای ظهور طرح استفاده شود، می‌توان در تمام طول سال، حتی در هوای بسیار سرد، چاپ‌های نسبتاً قابل قبولی را در فضای باز انجام داد. همچنین می‌توان فوتوگرام را با قرار دادن اشیاء مختلف روی سطح ایجاد کرد. گیاهان، اشیاء تزئینی یا موارد دیگر می‌توانند برای ایجاد سایه‌ها یا اشکال جالب استفاده شوند (۳۱).

در برخی آزمایش‌های اولیه که در شکل ۳ درج شده است، از نگاتیوهای ۲۰ در ۲۵ سانتی‌متر و کاغذهای کانسون مونترال ۳۰۰ گرمی استفاده شده که تحت تابش فرابنفش قرار گرفته‌اند. در این روش، منبع نوری یکنواخت و قابل کنترل فراهم می‌شود که در مقایسه با نور خورشید دارای قابلیت کنترل بیشتری است. صفحات نور دیده پس از نوردهی و شست‌وشو خشک می‌شوند (۵۱). در طی فرایند چاپ، افزایش مدت زمان نوردهی منجر به افزایش شدت رنگ



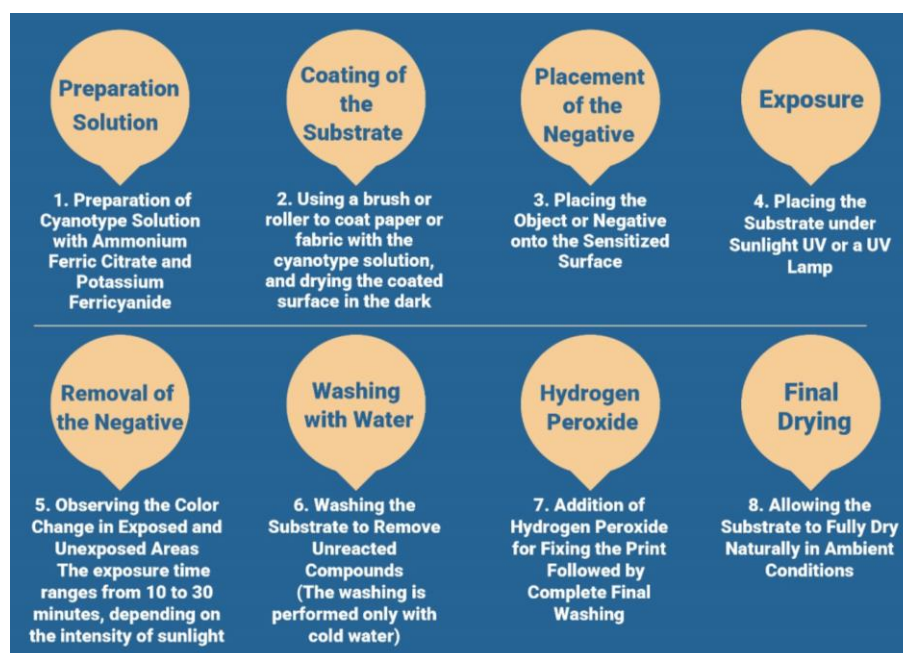
شکل ۳: تاثیر میزان نوردهی در شدت رنگ چاپ شده (۵۱).

Figure 3: The effect of exposure time on the intensity of the printed color (51).



شکل ۴: نحوه شست‌وشوی کالای چاپ شده با آب سرد (۵۵).

Figure 4: How to wash a printed item with cold water (55).



شکل ۵: مراحل چاپ سایانوتایپ.

Figure 5: The process of cyanotype printing.

حساس به شمار می‌آیند؛ زیرا در این روش‌ها از موادی چون ژلاتین یا صمغ، که می‌توانند به بافت پارچه آسیب برسانند، استفاده نمی‌شود. جان مرسر^۴ در همان مراحل اولیه دریافت که آغشته‌سازی منسوجات با مواد حساس‌کننده سایانوتایپ، امکان ثبت و ایجاد تصاویر یا فوتوگرام‌های تزئینی بر سطح آن‌ها را فراهم می‌کند (۶۰). این فرایند محبوب هنوز هم توسط هنرمندان معاصر نساجی بریتانیایی و طراحان آمریکایی با موفقیت استفاده می‌شود (۶۱). در ادامه پژوهش‌ها مشخص شد که استفاده از حساس‌کننده‌های فری‌اکسالات^۵ در آغشته‌سازی الیاف پنبه و ابریشم بهتر از حساس‌کننده‌های فریک‌سیترات^۶ عمل می‌کند (۱۲).

در گذشته، استفاده از حمام پتاسیم دی‌کرومات^۷ به‌عنوان بخشی از فرایند شست‌وشوی پارچه‌های چاپ‌شده با روش سایانوتایپ رایج بود؛ روشی که برای توسعه تصویر از طریق اکسایش مجدد و هم به‌منظور افزایش مقاومت نوری آن توصیه می‌شد. دی‌کرومات یا با حذف عوامل بالقوه کاهنده که موجب محو تدریجی تصویر می‌شوند عمل می‌کند، یا احتمالاً با نفوذ به ساختار آبی پروس، به پایداری و استحکام تصویر کمک می‌نماید. با این حال، خطرات سمی، حساسیت‌زا و سرطان‌زایی که اکنون در مورد دی‌کرومات‌ها شناخته شده است، این روش را به‌ویژه برای چاپ‌هایی که روی پارچه انجام می‌شود و ممکن است با پوست انسان تماس پیدا کنند، غیرقابل

۳-۱-۱- سایانوتایپ روی پارچه‌ها و منسوجات

یکی از اولین کاربردهای تجاری آبی پروس در رنگرزی انواع مختلف پارچه‌های سنتی پنبه‌ای، ابریشمی و پشمی در طیف‌های مختلف آبی فام بود. در گذشته، فرایند صنعتی سایانوتایپ دو حمام بود. حمام اول شامل محلولی از یک نمک آهنی معمولاً نیترات یا کلرید بود که به شدت به الیاف پارچه چسبیده و پس از شست‌وشو، با یک حمام اسیدی از پتاسیم فروسیانید همراه می‌شد و رنگدانه آبی پروس را در محل تشکیل می‌داد (۵۶).

ویژگی‌های آبی پروس سبب شد تا جلب توجه شیمیدان‌ها به ویژه پیر-جوزف ماکر^۱ شود. او نشان داد این رنگدانه می‌تواند برای رنگ کردن ابریشم و پشم استفاده شود. او همچنین ضعف عمده این رنگدانه را حساسیت آن به قلیاها عنوان کرد. تحقیق او باعث کشف نمک مفید پتاس پرسیات زرد^۲ شد. این ماده همچنین در ساخت مرکب استفن^۳ و در ایالات متحده، از آن به عنوان سفیدکننده لباس‌ها استفاده می‌شد (۱۲). افزون بر این، آبی پروس در حوزه‌های گسترده‌تری نظیر مواد الکتروکرومیک، سامانه‌های حسگری و داروسازی - به‌ویژه به‌عنوان پادزهر برخی سموم - جایگاهی مهم یافته است (۵۷-۵۹).

در میان تمامی شیوه‌های موجود برای چاپ تصاویر عکاسی، فرایندهای برپایه آهن مناسب‌ترین گزینه برای منسوجات ظریف و

4. John Mercer
5. Ferrioxalate
6. Ferricitrate
7. Potassium dichromate

1. Pierre-Joseph Macquer
2. Yellow prussiate of potash
3. Stephen's Ink

خطوط تیز و واضحی ایجاد می‌کند و هر نوع شفافیتی در شیء، درجه‌بندی تن‌های ظریفی به تصویر منتقل می‌کند. در گذشته، تصاویر حاصل از دوربین را تصاویر خورشیدی می‌نامیدند (۶۷). از این‌رو، تمامی فرایندهای تاریخی چاپ عکس، با استفاده از نور خورشید یا نور فرابنفش و به‌صورت تماسی انجام می‌گرفت. زمانی که نگاتیو حاصل از دوربین برای چاپ به‌کار می‌رود، به آن چاپ تماسی^۸ گفته می‌شود؛ اما اگر تصویر نهایی مستقیماً از اشیاء فیزیکی (و نه از نگاتیو دوربین) به‌دست آمده باشد، آن تصویر در دسته فوتوگرام قرار می‌گیرد (۱۷).

فوتوگرام تصویری بدون استفاده از دوربین است که معمولاً به‌صورت نگاتیو عمل می‌کند و سایه ایجاد شده توسط یک شیء را روی کاغذ حساس شده ثبت می‌کند. اگر شیء به‌طور نسبی شفاف باشد، ممکن است بخشی از نور عبوری بتواند باعث ایجاد سایه در چاپ شود. در این صورت، فوتوگرام دیگر صرفاً یک سیلوئت^۹ ساده نخواهد بود، بلکه ساختاری داخلی به دست می‌آورد (۶۸).

اشیائی که برای ایجاد فوتوگرام استفاده می‌شوند می‌توانند بسیار متنوع باشند. برگ‌ها، سرخس‌ها، جلبک‌های دریایی و سایر نمونه‌های گیاهی، پرها و بال‌های حشرات، ابریشم و سایر پارچه‌های نازک، بشقاب‌های شیشه‌ای، شیشه‌های رنگی، متن‌های چاپ‌شده، یادداشت‌های دست‌نویس، نقاشی‌های روی کاغذ کالک و تصاویر چاپ‌شده روی کاغذ مانند حکاکی‌ها، چاپ‌های مزوتینت^{۱۰} و چاپ‌های چوبی از جمله این اشیا هستند (۱۲).

۳-۲-۱- سایانوتایپ روی کاغذ

برای پوشش دادن سطح کاغذ با مواد سایانوتایپ، چند روش مختلف وجود دارد. در روش اول از قلم‌مو استفاده می‌شود. در این روش، پس از اینکه مواد شیمیایی خوب هم‌زده شدند با یک قلم‌مو به روی سطح موردنظر اعمال می‌شوند. از قلم‌مویی استفاده می‌شود که دارای حلقه فلزی نباشند، زیرا فلز ممکن است با مواد شیمیایی واکنش دهد. با این روش بهتر است مواد شیمیایی چندین بار با قلم‌مو در جهت‌های افقی و عمودی روی کاغذ اعمال شود تا پوشش کاملی از مواد شیمیایی بر روی سطح به‌دست آید. سطح پوشش داده شده باید کمی بزرگ‌تر از اندازه نگاتیو باشد. محلول شیمیایی به فام سبز مایل به زرد است و قبل از پردازش به راحتی قابل مشاهده است، بنابراین به‌راحتی امکان اصلاح طرح وجود دارد. می‌توان از ضربات قلم‌مو در لبه‌های چاپ به عنوان یک جلوه هنری استفاده کرد. در روش دوم،

توصیه می‌کند. حداقل یک مورد مستند وجود دارد که یک هنرمند که با سایانوتایپ روی پارچه کار می‌کرد، به دلیل استفاده از حمام‌های دی‌کرومات دچار مشکلات شدید سلامتی شده است (۶۲). فرایند ایجاد سایانوتایپ روی پارچه‌ها از قبیل روکش لحاف‌ها و کوسن‌ها در آمریکای شمالی با استقبال بسیار خوبی مواجه شد به‌طوری که به یک صنعت کوچک تبدیل گشت. یک کاتالوگ تجاری متعلق به شرکت ناشوا پیلو در نیوهمپشایر^۱ چندین رویه کوسن با تصاویر سایانوتایپ از مناظر طبیعی زیبا یا صحنه‌های ملی و میهنی را ارائه می‌نماید (۱۷).

سنت چاپ پارچه به روش سایانوتایپ در ایالات متحده توسط باربارا هیوت^۲، تأمین‌کننده پارچه‌های حساس‌شده، ادامه یافت. او و همکارش، شرکت کالیفرنایی بلوپرینت^۳ را تأسیس کرد و یک کتابچه راهنمای جذاب در زمینه هنر چاپ سایانوتایپ روی پارچه منتشر کرد (۶۳). بعدها شرکت‌های مختلفی در زمینه سایانوتایپ فعالیت کردند. برای مثال در بریتانیا، روث براون^۴ از فعالیت‌های هنری باربارا هیوت در زمینه چاپ روی پارچه الهام گرفت و کسب‌وکار خود در چاپ سایانوتایپ روی پارچه را با نام منسوجات استون کریک^۵ در سانک آیلند، یورکشایر^۶ راه‌اندازی کرد (۶۴). او همچنین کتاب راهنمای معاصر در این زمینه منتشر کرد (۶۵). تاریخچه استفاده از سایانوتایپ روی پارچه اخیراً در ژورنال انجمن طراحی سطح^۷ مورد بررسی قرار گرفته است (۱۲).

۳-۲-۲- روش‌شناسی چاپ سایانوتایپ

دستورالعمل‌های ساخت سایانوتایپ را می‌توان در بسیاری از نشریات مربوط به عکاسی یافت، اما بیشتر این مطالب به‌صورت سطحی به این فرایند پرداخته و آن را صرفاً به‌عنوان یک کنجکاو مطرح کرده‌اند. اخیراً، برخی از نشریات به سایانوتایپ به‌شکلی جدی‌تر به‌عنوان یک رسانه چاپ هنری پرداخته‌اند که در کنار سایر فرایندهای جایگزین قابل رتبه‌بندی است (۶۶).

در پنجاه سال نخست عکاسی، چاپ‌ها که از نگاتیوهای دوربین متمایز بودند، معمولاً بدون استفاده از هیچ دستگاه نوری مجهز به لنز ساخته می‌شدند. یک نگاتیو یا شیء دیگر به‌سادگی بین سطح حساس شده و منبع نور که خورشید بود، قرار می‌گرفت. ماده حساس‌کننده چاپ می‌توانست از میان فرمول‌بندی‌های مختلف، از جمله سایانوتایپ انتخاب شود. تماس نزدیک بین شیء و سطح،

8. Contact print

۹. سیلوئت (Silhouette) تصویری از یک شخص، حیوان، شی یا صحنه است که به صورت یک شکل ثابت از یک رنگ، معمولاً سیاه، با لبه‌های آن مطابق با طرح کلی سوژه نمایش داده می‌شود.

10. Mezzotints

1. Nashua Pillow Company of New Hampshire

2. Barbara Hewitt

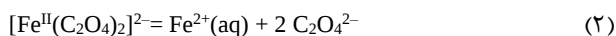
3. Blueprints-Printables

4. Ruth Brown

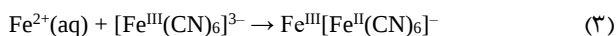
5. Stone Creek Textiles

6. Sunk Island, Yorkshire

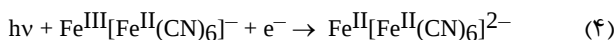
7. The Journal of the Surface Design Association



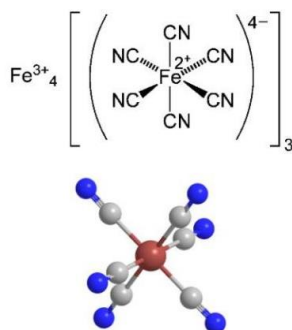
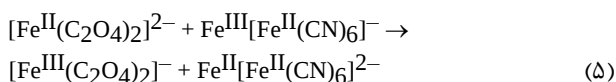
سپس این یون مطابق واکنش ۳ با آنیون فریک سیانید واکنش می‌دهد تا ماده بسیار نامحلول، آبی پروس، رسوب کند. ساختار شیمیایی آبی پروس به صورت آنیون مکعبی $\text{Fe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]^{-}$ نشان داده می‌شود (شکل ۶) که در آن کاتیون می‌تواند بسته به شرایط آماده‌سازی، پتاسیم یا آمونیم باشد (۷۲، ۷۳). حالت اکسایش هر اتم آهن در این فرمول‌ها با ارقام رومی بالانویس نمایش داده می‌شود. آبی پروس که با نام آبی آهنی نیز شناخته می‌شود، یک رنگدانه با طیف رنگی از آبی تیره تا آبی روشن است که گاهی تهرنگ متمایل به قرمز دارد (۷۴).



وقتی آبی پروس در اثر نور رنگ پریده می‌شود، ماده بی‌رنگ، فروسیانید آهن یا سفید پروس را به وجود می‌آورد. باید توجه داشت که این رنگ پدیدگی تنها توسط نور ایجاد نمی‌شود. تبدیل آبی پروس به سفید پروس یک فرایند احیا است که باید با اکسایش یک دهنده الکترون همراه باشد (واکنش ۴). اما اینکه دقیقاً چه چیزی هنگام محو شدن سایانوتایپ اکسید می‌شود، مشخص نیست (۷۰).



تشکیل رنگ سفید پروس همچنین دلیل تغییر تن رنگی است که در مدت طولانی قرار گرفتن در معرض حساس‌کننده سایانوتایپ مشاهده می‌شود. در صورتی که نمک آهن (III) حساس به نور بیش از حد باشد، مقداری از آبی پروس توسط محصول نوری آهن (II) به سفید پروس احیا شده و باعث می‌شود تصویر سایانوتایپ رنگ پریده شود (واکنش ۵) (۷۰).



شکل ۶: ساختار شیمیایی آبی پروس (۷۹).

Figure 6: Chemical structure of Prussian blue (79).

کاغذ یا پارچه به یک ظرف حاوی مواد چاپ وارد شده و به خوبی آغشته می‌گردد. اگر کالای موردنظر پارچه باشد در این صورت کالا از بین غلتک‌های پد^۱ عبور می‌کند تا مایع اضافی خارج شود؛ سپس کالا خشک می‌شود. اگر چاپ بر روی کاغذ انجام می‌شود در این صورت لازم است مایع اضافی به طور کامل از روی کاغذ جدا شود. در روش غوطه‌وری، مواد شیمیایی بیشتری مصرف می‌شود، اما احتمال اعمال یکنواخت مواد چاپ بر روی سطح کالا بیشتر است. در روش سوم از میله پوشش‌دهنده^۲ استفاده می‌شود. این روش یکی از روش‌های بسیار اقتصادی برای پوشش است، زیرا مواد شیمیایی کمتری نسبت به روش‌های دیگر هدر می‌رود. در این روش می‌توان با مقادیر مساوی از محلول، چاپ‌های بیشتری را در مقایسه با دو روش قبلی انجام داد. در این روش ابتدا محلول چاپ با یک سرنگ یا وسیله دیگر روی میله که در بالای کاغذ قرار دارد، ریخته می‌شود. سپس میله چندین بار به عقب و جلو کشیده می‌شود تا مواد چاپ به‌طور یکنواخت بر روی سطح کاغذ اعمال شود (۱۸).

۴- شیمی چاپ سایانوتایپ

آبی پروس اغلب به‌عنوان اولین رنگدانه جدید و مصنوعی شناخته می‌شود (۶۹). این رنگدانه توسط دیسباخ^۳ ساخته شد. هدف او ساخت یک رنگدانه قرمز بود، اما به‌دلیل آلودگی پتاس موجود در ترکیبش، به‌طور ناخواسته نخستین رنگدانه آبی مصنوعی تاریخ را سنتز کرد (۴۳). ماهیت شیمیایی آبی پروس، فریک فروسیانید (آهن (III)، هگزا سیانو فرات (II)) است که حاوی آهن در هر دو حالت اکسایش ۳+ و ۲+ است. رنگ شدید، ویژگی اصلی چنین ترکیبات فلزی با حالت اکسایش مختلط است. آبی پر شدت به دلیل وجود نوار جذب در ناحیه قرمز طیف مرئی حدود ۷۰۰ نانومتر است که ناشی از انتقال بار الکترونیکی بین ظرفیتی است (۷۰).

فرایند سایانوتایپ با عملکرد نگاتیو، که به مراتب موفق‌تر و مهم‌تر است، از یک حساس‌کننده متشکل از یک فریک سیانید محلول و یک کربوکسیلات آهن (III) حساس به نور، مانند فریک آمونیم سترات یا فریک آمونیم اکسالات استفاده می‌کند (۷۱). کمپلکس آهن (III) با تجزیه نوری، آهن (II) را مطابق واکنش ۱ تولید می‌کند.



محصول نوری کمپلکس آهن (II) مطابق واکنش ۲ در تعادل با یون فروس آبدار است.

1. Pad
2. The coating rod method
3. Diesbach

صابون‌های تجاری مخصوص شست‌وشوی البسه، همگی توانایی ایجاد تغییر در تن آبی چاپ را دارند. این مواد را می‌توان به صورت انتخابی با قلم‌مو بر سطح تصویر اعمال کرد یا با تهیه محلول‌های رقیق‌شده، کل تصویر را در حمام شیمیایی تحت تأثیر قرار داد (۲۲). با قرار دادن چاپ در محلول رقیق پراکسید هیدروژن، یون آهن دو ظرفیتی به یون آهن سه ظرفیتی اکسید می‌شود. این واکنش باعث تیرگی و تشدید بیشتر رنگ آبی در تصویر می‌گردد (۸۰).

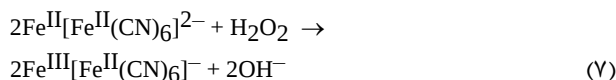
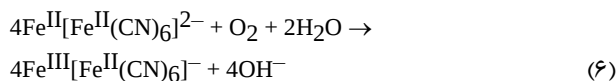
در تنظیم رنگ سایانوتایپ، سفیدگری^۱ یا رنگ‌بری پیش از تنظیم رنگ باعث ایجاد تن‌های نرم‌تر و روشن‌تر در تصویر می‌شود. دو رویکرد اصلی برای تنظیم رنگ وجود دارد: اول، روشن‌تر کردن چاپ از طریق سفیدگری و سپس اعمال تانن برای بازسازی رنگ و وضوح؛ دوم، تمرکز بر شدت‌بخشی رنگ آبی بدون سفیدگری برای رسیدن به رنگ‌های تیره‌تر (۸۱). رنگ‌بری معمولاً با سفیدکننده سدیم هیپوکلریت^۲ یا کربنات سدیم انجام می‌شود که غلظت متوسط آن امکان کنترل واکنش طی چند دقیقه را فراهم می‌کند. استفاده از محلول‌های غلیظ توصیه نمی‌شود، زیرا سرعت واکنش بالا، کنترل فرایند را دشوار می‌سازد. همچنین شست‌وشوی کامل پس از هر مرحله رنگ‌بری برای جلوگیری از تأثیر منفی مواد رنگ‌بر بر تنظیم رنگ ضروری است (۸۲).

۴-۲- فرمول‌بندی مواد حساس‌کننده در چاپ سایانوتایپ

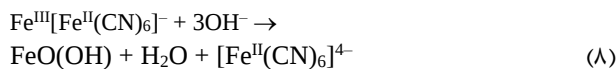
فرمول‌های سایانوتایپ به طور کلی به دو نوع تقسیم می‌شوند. فرمول اصلی که با فریک آمونیم سیترات (اف ای سی)^۳ و فریک سیانید پتاسیم (پی اف)^۴ تهیه می‌شود، و فرمول جدیدی که توسط مایک ورا اختراع شد که در آن فریک آمونیم سیترات با فریک آمونیم اکسالات (اف ای ا)^۵ جایگزین می‌شود. اگرچه هر دو فرمول به چاپی از آبی پروس منجر می‌شوند، اما نیاز به روش‌های متفاوتی دارند. استفاده از «سایانوتایپ اف ای سی» در مقابل «سایانوتایپ اف ای ا» از ظرافت چاپ کمتری برخوردار است (۳۱).

در روش قدیمی دو محلول بطور جداگانه تهیه می‌شود. محلول اول شامل فریک آمونیم سیترات ۲۵ درصد و محلول دوم شامل فریک سیانید پتاسیم ۱۰ درصد است. مقادیر مساوی از هر محلول در یک ظرف واکنش ریخته شده و خوب هم‌زده می‌شود. محلول‌های اولیه را می‌توان به صورت جداگانه در بطری‌های قهوه‌ای و دور از نور نگهداری کرد، اما پس از مخلوط شدن محلول‌ها، آنها پایداری زیادی نخواهند داشت و بلافاصله باید مصرف شوند (۱۸). به‌طور کلی دو نوع فریک سیترات آمونیم وجود دارد، یکی قهوه‌ای و نوع جدیدتری که

این تغییر تن در مناطقی که بیشترین نوردهی را دارند، پدیده آفتابی شدن نام دارد که اولین بار توسط هرشل مشاهده و نام‌گذاری شد. پس از نوردهی، سفید پروس به آرامی توسط اکسیژن هوا به آبی پروس اکسید می‌شود (واکنش ۶). برای انجام فرایند سریع‌تر می‌توان از حمامی از یک عامل اکسیدکننده، مانند پراکسید هیدروژن در یک فرایند مرطوب استفاده کرد (رابطه ۷) (۷۰).



آبی پروس در محیط‌های قلیایی ناپایدار است ولی در دیگر محیط‌های شیمیایی پایداری بسیار خوبی دارد (۷۷-۷۵). یون‌های هیدروکسید به سرعت آبی پروس را مطابق رابطه ۸ به اکسید آهن آبدار ($\text{FeO}(\text{OH})$) و یون‌های فروسیانید تجزیه می‌کنند. یک ماده قلیایی، مانند محلول ۰/۲۵ مولار کربنات سدیم با pH حدود ۱۰/۷، آبی پروس یک سایانوتایپ را در کمتر از نیم دقیقه از بین می‌برد. گزارش شده است که یک بافر با pH ۹/۴، تنها در مدت یک تا ده دقیقه آبی پروس را بی‌رنگ می‌کند (۷۸). البته پایداری آبی پروس در برابر قلیا را می‌توان با ترکیب با برخی یون‌ها به ویژه نیکل (II) بهبود داد به‌طوری که مقاومت آن در برابر حمله مواد قلیایی با ۹/۵ pH افزایش می‌یابد (۷۰).



۴-۱- افزایش تباین رنگی در چاپ سایانوتایپ

یک راه‌حل برای دستیابی به تباین بیشتر در کالای چاپ شده این است که کالا پس از این که در معرض نور قرار گرفت به جای شست‌وشو در آب، وارد محلولی حاوی ۰/۲ درصد فریک سیانید پتاسیم شود. این حمام با مخلوط کردن ۲ گرم فریک سیانید پتاسیم در ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب تهیه می‌شود. اثر مشابهی را می‌توان با به‌کار بردن محلول دی‌کرومات آمونیم یا پتاسیم به حمام شست‌وشو به دست آورد. مقدار اکسید کننده‌ها می‌تواند با توجه به عمق رنگی و میزان فضای استفاده شده رنگی از ۱ تا ۱۰ درصد متغیر باشد (۳۹).

برخی ترکیبات شیمیایی قادرند شدت رنگ آبی و نواحی سفید در چاپ‌های سایانوتایپ را دستخوش تغییر کنند. موادی همچون پراکسید هیدروژن، اسید اگزالیک، نیتریک اسید و کربنات سدیم، همچنین محلول‌های سفیدکننده حاوی کلر، سولفات سدیم، سیلیکات سدیم، فسفات سدیم، اسپری‌های تمیزکننده سطوح و

1. Bleaching step
2. Sodium hypochlorite
3. Ferric ammonium citrate (fac)
4. Potassium ferricyanide (pf)
5. Ferric ammonium oxalate

تهیه می‌شوند (۹۰-۸۷).

تانن‌ها مهم‌ترین و با ارزش‌ترین موادی هستند که به عنوان دندانه‌های زیستی شناخته می‌شوند. پوست گردو، پوست انار، هلیله سیاه و زرد، چای، مازو و غیره حاوی مواد تاننی هستند (۹۲، ۹۱). این ترکیبات نیز علاوه بر ایجاد رنگ خواص ثباتی کالای چاپ شده را بهبود می‌دهند (۹۳).

۳-۳-۱- تنظیم رنگ با مواد گیاهی

گیاهانی که میزان بالایی از تانن دارند، بهترین گزینه‌ها به عنوان عوامل تنظیم رنگ سایانوتایپ محسوب می‌شوند. نخست، تانن‌ها به رنگ‌های طبیعی کمک می‌کنند تا با چاپ سایانوتایپ ترکیب شوند. دوم، هر گیاه از ترکیبات شیمیایی متعددی تشکیل شده است که برخی از آن‌ها خاصیت رنگ‌دهی دارند و ممکن است به عنوان رنگزا عمل کنند. همه گیاهان حاوی مقادیر مختلفی از تانن هستند؛ این ترکیبات عمدتاً در برگ‌ها، پوست درختان و ریشه‌ها ذخیره می‌شوند، اما در میوه‌ها، پوست میوه و دانه‌ها نیز یافت می‌شوند. این بدان معناست که تقریباً تمام برگ‌ها تا حدی تأثیر رنگی خواهند داشت، اما به طور کلی، گیاهان غنی از تانن، رنگ‌دهی قوی‌تری ایجاد می‌کنند. همچنین، گیاهان همیشه‌سبز معمولاً دارای غلظت بالاتری از تانن در برگ‌های خود هستند. برگ درخت آووکادو، گل ساعتی، مرزنگوش، برگ هوستا، بلوبری، برگ‌های گل گاوزبان، توت سیاه، گندم سیاه، بابا آدم یا سوسن شببو، دانه‌های خرنوب، نعنای گربه‌ای و غیره از جمله رنگزاهایی طبیعی هستند که برای تنظیم رنگ چاپ سایانوتایپ مورد استفاده قرار می‌گیرند (۹۷-۹۴).

چای حاوی اسید تانیک است و محلول آماده شده آن در آب گرم، برای استفاده در سایانوتایپ مناسب است (۹۸). برای این کار کالای چاپ شده در محلول چای غوطه‌ور می‌شود تا فام موردنظر به دست آید. استفاده از محلول چای به عنوان تانن یک روش خوب برای ایجاد فام قهوه‌ای ملایم در سایه روشن‌های تصویر است، در حالی که آبی ایجاد شده، دارای تنالیت گرم‌تری می‌گردد. برای حذف فام آبی ابتدا لازم است، مرحله تنظیم رنگ زرد با تری‌سدیم فسفات انجام شده و سپس مراحل قبلی با عصاره چای تکرار شود. استفاده از چای سبز و گیاهی که اسید تانیک کمتری دارند، نتیجه خوبی نمی‌دهد. اسیدهایی مانند تانیک، گالیک یا پیروگالیک نیز سبب ایجاد فام‌های جدید بر روی کالای چاپ شده به روش سایانوتایپ می‌شوند. آنها تانن‌های بسیار قوی هستند و مقدار کمی از آنها می‌تواند سطوح و پارچه‌ها را رنگی کنند (۱۰۰-۹۹). این اسیدها در غلظت‌های پایین‌تر در گیاهانی مثل چای و قهوه وجود دارند. گیاهان رنگزا نیز به عنوان مواد تنظیم رنگ مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال پوست پیاز به عنوان یک ماده حاوی رنگزا می‌تواند برای ایجاد فام‌های جدید بر روی کالای چاپ شده مورد استفاده قرار گیرد (۱۰۱). برای این کار، کافی است کالای چاپ

زرد-سبز زیتونی است. در گذشته، نوع قهوه‌ای آن که به آرامی نور را جذب می‌کرد، متداول بود. بعد از آن، فریک سیترا آمونیم سبز توسط ادوارد والتنا^۱ معرفی شد. این فرم جدید سبز، سرعت جذب نور را افزایش می‌داد (۳۱).

سایانوتایپ جدید یک نسخه تک‌محلولی شامل فریک سیانید پتاسیم ۱۰ درصد، فریک آمونیم اکسالات ۳۰ درصد، آمونیم دی‌کرومات^۲ ۱۰ درصد است که در تاریکی تهیه می‌شود. برای این کار فریک سیانید پتاسیم در آب حل شده و تا دمای حدود ۷۰ درجه سانتی‌گراد گرم می‌شود. در یک ظرف دیگر فریک آمونیم اکسالات در آب حل شده و دمای آن در ۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم می‌شود. به این محلول آمونیم دی‌کرومات اضافه می‌شود. لازم به ذکر است که افزودن آمونیم دی‌کرومات اختیاری است، اما به تباین و ماندگاری محلول کمک می‌کند. اگر دی‌کرومات حذف شود، محلول به مدت ۶ تا ۱۲ ماه ماندگار است. در حالی که ماندگاری آن در صورت اضافه کردن دی‌کرومات ۲ تا ۳ سال است. در حالی که هر دو محلول تهیه شده گرم هستند، محلول فریک سیانید پتاسیم به محلول فریک آمونیم اکسالات اضافه شده و به شدت هم‌زده می‌شود. محلول در یک جای تاریک نگه داشته می‌شود تا به دمای اتاق برسد و بلوری شود. این فرایند حدود ۲ ساعت یا ترجیحاً یک شب طول می‌کشد. محلول صاف شده تا بلورها جدا شده و آماده مصرف گردد. به محلول حاصل آب اضافه شده و بر روی کالا اعمال می‌شود (۸۳).

۳-۴- ایجاد رنگ‌های مختلف در چاپ سایانوتایپ

سایانوتایپ چایی بر پایه ایجاد رنگدانه آبی پروس بر روی کالا است؛ بنابراین تک فام و آبی است. تمایل به گسترش دامنه فام‌ها در سایانوتایپ، اولین بار بلافاصله پس از اختراع آن توسط هرشل ابراز شد و از آن زمان تا کنون ادامه یافته است. در سال‌های اخیر مد شده است که کالاهای چاپ شده به روش سایانوتایپ را با محصولات طبیعی حاوی تانن‌ها و مواد مشابه که به صورت چندرنگی با نمک‌های آهن واکنش می‌دهند، تغییر رنگ دهند. چای و قهوه سیاه هم با سفید کردن و هم بدون آن برای تولید تصاویر قهوه‌ای و سیاه استفاده شده‌اند (۱۷).

توسعه فام‌ها از طریق محلول‌های شیمیایی به نام تنظیم رنگ شناخته می‌شود. در چاپ سایانوتایپ از نمک‌های فلزی، دندانه‌های زیستی و مواد رنگزای طبیعی بر روی کالای چاپ شده استفاده می‌شود تا فام‌ها توسعه یابند. نمک‌های فلزی مانند سولفات آلومینیم، سولفات مس، سولفات یا کلرید نیکل علاوه بر ایجاد فام جدید، سبب افزایش خواص ثباتی کالای چاپ شده نیز می‌شوند (۸۶-۸۴). دندانه‌های زیستی بیشتر منبع گیاهی دارند و یا به روش‌های زیستی

1. Eduard Valenta
2. Ammonium dichromate

شده در عصاره پوست پياز قرار گیرد. بدین ترتیب اثر برنزه زیبا بر روی کالا ایجاد می‌شود (۲۲).

۴-۳-۲- تنظیم رنگ با مواد معدنی

در تنظیم رنگ سایانوتایپ به رنگ سیاه مایل به قرمز، ابتدا چاپ‌ها یک تا دو روز خشک می‌شوند. سپس در آب خیس‌انده و برای مدت کوتاهی در محلول بسیار رقیق کربنات سدیم قرار می‌گیرند تا سفیدشدگی تدریجی و کنترل‌شده ایجاد شود. کنترل غلظت کربنات سدیم برای جلوگیری از لکه‌دار شدن نواحی روشن ضروری است. پس از شست‌وشو، چاپ در محلول اسید تانیک غوطه‌ور می‌شود. برای ایجاد رنگ تیره‌تر، می‌توان پس از شست‌وشو از حمام اسید اگزالیک استفاده کرد. غلظت و زمان بیشتر موجب افزایش عمق رنگ اما تغییر احتمالی نواحی روشن به قهوه‌ای مایل به قرمز می‌شود. در پایان، کالای چاپ شده به مدت ۲۰ الی ۳۰ دقیقه شسته می‌شود (۱۰۳، ۱۰۲).

۴-۳-۳- تنظیم رنگ با مواد ترکیبی (گیاهی و معدنی)

برای تنظیم رنگ کالاهای چاپ شده با سایانوتایپ لازم است ابتدا یک چاپ سایانوتایپ با نوردهی بسیار قوی تهیه شود. کالای چاپ شده به مدت ۲۴ ساعت در معرض هوا قرار داده شود تا فرایند پیری انجام شود. سپس پارچه در حالی که با محلول سرکه اسپری می‌شود با حرارت بالا اتو می‌گردد. این کار باعث کم‌رنگ شدن چاپ و تبدیل آن به یک رنگ آبی مات می‌شود. محلولی غلیظ از چای سبز و سیاه تهیه شده و کالای چاپ شده با آن رنگ‌ریزی می‌شود. این کالا برای مدت کوتاهی در محلول ضعیف بوراکس غوطه‌ور می‌شود. در نهایت، کالا آبکشی شده و دوباره اتو می‌گردد. این فرایند باعث ایجاد رنگ

خاکستری گرم و ملایم بر روی چاپ سایانوتایپ می‌شود (۱۰۲). در جدول ۱ تاثیر تانن‌های سایانوتایپ بر رنگ نهایی کالای چاپ شده را نشان می‌دهد.

۴-۴- خواص ثابتی سایانوتایپ

تصویر سایانوتایپ بسیار پایدار است، اما می‌تواند توسط مواد قلیایی مانند کربنات سدیم، تخریب شود. همچنین رنگ این تصاویر اگر به مدت طولانی در معرض نور مستقیم خورشید قرار گیرد، محو خواهد شد. در هر حال تخریب نوری تصاویر حاصل از چاپ سایانوتایپ برگشت‌پذیر است و کافی است تا کالای چاپ شده به مدت یک یا دو ساعت در یک محیط تاریک قرار داده شود تا فام آبی اصلی باز گردد (۲۲). با وجود ادعاهای اغراق‌آمیز درباره پایداری آبی پروس توسط کاشف آن، تغییر رنگ این رنگدانه در اثر نور خورشید به تهرنگ سبز، در یک کتاب راهنمای نقاشی ذکر شده است. شواهد تاریخی مربوط به قرن هجدهم در باره آگاهی از این تخریب، در یک بررسی جالب توسط جو کریبی از بخش علمی گالری ملی گردآوری شده است (۷۵).

از دیدگاه تجاری، زمانی که فرایند سایانوتایپ در چاپ پارچه استفاده شد، رنگدانه آبی پروس آسیب‌پذیری خود را در برابر نور نشان دادند. دسمورتیه در کتابش درباره رنگ‌پریدگی پارچه‌های رنگ‌شده با آبی پروس توضیح می‌دهد که با فراهم کردن دسترسی به هوا می‌توان این رنگ‌پریدگی را معکوس و رنگ آبی را بازیابی کرد (۱۰۴).

1. Jo Kirby
2. Desmottiers

جدول ۱: تاثیر تانن‌ها بر رنگ نهایی سایانوتایپ.

Table 1: The effect of tannin on the final color of cyanotype

Category of Tannins	Examples	Effect on Final Color
Botanical	Black tea	Light brown in tones, warmer blue
	Coffee	Brown to black
	Walnut, Pomegranate, Black Myrobalan, Terminalia Chebula, Gall	Dark brown to near-black / navy
	Avocado leaf, Marjoram, Blueberry, Borage	Brown to reddish-brown
Mineral	Onion skin	warm bronze
	Aluminum sulfate, Copper sulfate, Nickel sulfate or Nickel chloride	Modified blue / improved fastness
	Sodium carbonate + Tannic acid + Oxalic acid	Eggplant black / deep black
Combined	Black / Green tea + Borax	Warm gray

براساس تشکیل رنگدانه آب پروس بر روی کالا است محدوده فام آبی را پوشش می‌دهد. سادگی و هزینه پایین، عدم نیاز به اتاق تاریک، امکان چاپ بر روی انواع سطوح و دوام مناسب تحت شرایط کنترل شده از نقاط قوت این روش است. ترکیب اصلی این فرایند بر پایه آبی پروس است که پایداری بالایی دارد اما در محیط‌های قلیایی و نور مستقیم ممکن است دچار تغییر رنگ شود. پایداری پایین در برابر نور و حساسیت به محیط‌های قلیایی از جمله چالش‌هایی است که برای حفاظت از آثار سایانوتایپ باید مورد توجه قرار گیرد. محدودیت در تنوع رنگی و نیاز به دقت بالا در فرمول‌بندی مواد شیمیایی از نقاط ضعف این چاپ محسوب می‌شود. به هر حال کارهای زیادی در مورد افزایش محدوده رنگ‌ها به این روش انجام شده است که می‌توان به استفاده از مواد گیاهی به خصوص تانن‌ها و مواد فلزی اشاره کرد. در مورد بهبود کیفیت کالاهای چاپ شده، کاهش مشکلات لکه‌گذاری و افزایش ماندگاری چاپ‌ها فرمول‌های جدیدی ارائه شده است. همچنین، بهبود بسترهای چاپ مانند استفاده از پارچه‌های خاص مثل الیاف طبیعی موجب افزایش کیفیت و پایداری نتایج شده است. امروزه با توجه به وجود فناوری‌های جدید و تجهیزات پیشرفته چاپ، سایانوتایپ همچنان به عنوان یک روش نوآورانه و پایدار مورد توجه قرار دارد. استفاده از فناوری‌های نوین در ترکیب با این فرایند سنتی، امکان توسعه کاربردهای جدید در هنرهای تجسمی، مد و حتی صنعت را فراهم کرده است. در نهایت، سایانوتایپ نه تنها یک میراث ارزشمند از تاریخ عکاسی محسوب می‌شود، بلکه به عنوان ابزاری برای بیان هنری و کشف روش‌های نوین چاپی، جایگاه خود را در دنیای هنر و طراحی حفظ کرده است.

تشکر و قدردانی

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول به راهنمایی نویسندگان دوم و سوم است و نویسندگان از حمایت پژوهشگاه رنگ تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

1. Diesbach
2. Megan Gent
3. Windsor

1. Gharanjig K. Dyeing of textile fibers with natural dyes. Tehran: Institute for color science and technology pub; 2022 [In Persian].
2. Moradian S. Principles of color science and technology. Tehran:

با وجود ادعای نادرست دیسباخ^۱ درباره پایداری آبی پروس در برابر آهک، مشخص شد که قلیاها به سرعت آن را تخریب می‌کنند؛ بنابراین این رنگ برای نقاشی روی گچ مناسب نیست و حساسیت به قلیا مهم‌ترین ضعف آن است، هرچند پژوهشگران تلاش‌های زیادی برای رفع این مشکل کرده‌اند (۷۵). از آنجاکه کاغذهای قلیایی ماندگاری بیشتری دارند، امروزه بیشتر کاغذها با یک ماده قلیایی پوشش داده می‌شوند. متأسفانه، قلیا هم در مراحل انجام چاپ و هم در حفظ طولانی‌مدت آن برای سایانوتایپ مفید نیست. هرچه pH کاغذ پایین‌تر باشد، چاپ سریع‌تر انجام می‌شود و رنگ آبی سبب‌تری به دست می‌آید. هرچه pH بالاتر باشد، چاپ کندتر خواهد بود و آبی خاکی‌تری به دست می‌آید. این امر منجر به فام آبی خاکستری، کم‌رنگ و بعضاً با برجستگی‌های قهوه‌ای می‌شود. این نوع چاپ‌ها باعث بدنام شدن سایانوتایپ می‌شوند. علاوه بر این، چاپ سایانوتایپ با گذشت زمان در تماس با قلیایی کم‌رنگ می‌شود (۳۱).

شواهد کمی وجود دارد که نشان دهد سایانوتایپ‌های تغییر رنگ داده شده توسط فرایند تنظیم رنگ، چه مدت زمان می‌توانند دوام بیاورند. اگر بازرسی دیداری تنها روش غیرتخریبی مجاز باشد، شناسایی سایانوتایپ‌های تغییر رنگ داده شده تاریخی در مجموعه‌های عکاسی، چالش‌های قابل توجهی برای نگهداری‌کنندگان ایجاد می‌کند. در یک نظرسنجی از چندین مجموعه بزرگ که توسط مرمت‌کار عکس، مگان گنت^۲ انجام شد، هیچ نگهداری‌کننده‌ای نتوانسته بود سایانوتایپ تغییر رنگ داده شده‌ای را به طور قطعی شناسایی کند. با این حال، گنت برخی از چاپ‌ها را در آلبوم‌های عکس غیررسمی خانوادگی در آرشیو سلطنتی ویندزور^۳ پیدا کرده است که به احتمال زیاد سایانوتایپ تغییر رنگ داده شده هستند. این‌ها چاپ‌های تک لایه‌ای به فام قهوه‌ای مایل به بنفش هستند که نشان‌دهنده تغییر رنگ با اسید تانیک است. این چاپ‌ها در صفحات آلبوم مشترک با سایانوتایپ‌های آبی معمولی قرار دارند (۱۷).

۵- نتیجه‌گیری

چاپ سایانوتایپ، با قدمتی نزدیک به دو قرن، همچنان یکی از جذاب‌ترین و مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش‌های چاپ محسوب می‌شود. این روش به عنوان اولین روش چاپ عکاسی بدون نقره، تأثیر قابل توجهی در ثبت تصاویر داشت و به تدریج در هنر، معماری و طراحی پارچه و کاغذ مورد استفاده قرار گرفت. چاپ سایانوتایپ که

۶- مراجع

- Amirkabir university of technology pub; 1995 [In Persian].
3. Waldman G. Introduction to light : the physics of light, vision, and color. Mineola, N.Y: Dover Publications; 2020.
4. Hosseinnazhad M, Gharanjig K, Imani H, Rouhani S, Adeel S.

- Environmentally dyeing of wool yarns using of combination of myrobalan and walnut husk as bio-mordants. *Prog Color Color Coat*. 2023;16(2):197-205. <https://doi.org/10.30509/pccc.2022.167001.1177>.
5. Hendry GAF, Houghton JD. *Natural food colorants*. New York: Chapman and Hall; 1996.
 6. Britton G, Liaaen-Jensen S, Pfander H. *Carotenoids: handbook*. Washington D.C: Springer; 2004.
 7. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Jafari R, Imani H, Razani N. Cleaner colorant extraction and environ-mentally wool dyeing using oak as eco-friendly mordant. *Environ Sci Pollut Res*. 2020;28(6):7249-7260. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11041-2>.
 8. Pastoreau M. *Blue: the history of a color*. London: Princeton University Press; 2001.
 9. Lange A, Rozanov A, Savigny Cv. Revisiting the question "Why is the sky blue?". *Atmos Chem Phys*. 2023;23(23):1-9. <https://doi.org/10.5194/acp-23-14829-2023>.
 10. Thayer RC, Patel NH. A meta-analysis of butterfly structural colors: their color range, distribution and biological production. *J Exp Biology*. 2023;226(21):1-14. <https://doi.org/10.1242/jeb.245940>.
 11. Bhagat-Bhooma MK. A case study of cyanotype techniques as a pedagogical tool for teaching chemistry. In: *International conference to review research in science, technology and mathematics education*; 2025; Mumbai, India. 141-143.
 12. Ware M. *Cyanomicon*. Manchester: Buxton; 2014.
 13. Herschel SJFW. On the Action of the Rays of the Solar Spectrum on Vegetable colours, and on some new Photographic Processes. *Philos Trans R Soc*. 1842;181-215. <https://doi.org/10.1098/rstl.1842.0013>.
 14. Saska H, Anna Atkins: Photographs of British algae. *Bull Detroit Institute Arts*. 2010;84(1/4):8-15. url: <http://www.jstor.org/stable/23183243>. <https://doi.org/10.1086/dia231.83243>.
 15. Atkins A. *Sun gardens: Victorian photograms by Anna Atkins*. First ed. Aperture; 1985.
 16. Mendez A, Lopez-Leon R. Creativity and cyanotype: exploring camera-less photography as an alternative for art education. *Arts & Communication*. 2023;1(2):2. <https://doi.org/10.36922/ac.1453>.
 17. Ware M. *Cyanomicon: history, Science and Art of Cyanotype: Photographic printing in prussian blue*. 2nd ed. Manchester: MA DPhil CChem FRSC; 2020.
 18. Fabbri M, Fabbri G. *Blueprint to cyanotypes: exploring a historical alternative photographic process*. 1st ed. Sweden: Malin Fabbri, Alternativephotography.com; 2006.
 19. Fabbri M. *Anthotypes: explore the darkroom in your garden and make Sweden: Alternativephotography*; 2012.
 20. Hamilton A. In *Search of the blue flower: Alexander Hamilton and the art of Cyanotype*. 1st ed.: Edinburgh university press; 2023.
 21. Ware M. Herschel's cyanotype: Invention or discovery? *Hist Photogr*. 2015;22(4):371-379. <https://doi.org/10.1080/03087298.1998.10443901>.
 22. James C. *The Book of alternative photographic processes*, third edition: An International Thomson publishing company; 2014.
 23. Hatchard CG, Parker CA. A new sensitive chemical actinometer - II. Potassium ferrioxalate as a standard chemical actinometer. *Proc R Soc A*. 1956;235 (1203):518-536. <https://doi.org/10.1098/rspa.1956.0102>.
 24. Isenogle MR, Anna Atkins: catalyst of modern photography through the first photobook [Master's thesis]. [Bowling Green]: Bowling Green State University; 2019.
 25. Siegel S. *Sun Gardens. Cyanotypes by Anna Atkins* Larry J. Schaaf (with contributions by Joshua Chuang, Emily Walz, and Mike Ware). Prestel publishing, New York, 2018. with 197 colour illustrations. *Hist Photogr*. 2020;43(3):334-336. <https://doi.org/10.1080/03087298.2020.1732068>.
 26. Alternativephotography [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 18]. Available from: <http://www.alternativephotography.com/wp/photographers/linda-stemers-cyanotype-business>
 27. Herschel JFW. On the action of the rays of the solar spectrum on vegetable colours. *Proc R Soc A*. 1843:393-394. <https://doi.org/10.1098/rspl.1837.0201>.
 28. Wood RD. The involvement of Sir John Herschel in the photographic patent case, Talbot v. Henderson, 1854. *Annal Sci*. 1971;27(3):239-264. <https://doi.org/10.1080/00033797100203777>.
 29. Schaaf L. The first photographically printed and illustrated book. *Pap Bibliogr Soc Am*. 1979;73(2):209-224. <https://doi.org/10.1086/pbsa.73.2.24302456>.
 30. Ellis R. Official descriptive and illustrated catalogue of the great exhibition of the works of industry of all nations. London: Royal Commission for the Great Exhibition of 1851; 1851.
 31. Anderson CZ. *Cyanotype: the blueprint in contemporary practice*. New York: Routledge; 2019.
 32. Kmet A. The cyanotype process and its potential in chemistry education. *J Chem Educ*. 2023;100(6):2367-2372. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01089>.
 33. Wells K. *Cyanotype and Anthotype: eco-patterning with mineral and natural dyes*. International Textile and Clothing Congress ITCC. 2015:1-9. url: <https://B2n.ir/yu2839>.
 34. Fei V. *Transcendence of the blues reinventing textile language with cyanotype blue and indigo blue [Master's thesis]*. [Wellington]: Massey University; 2021.
 35. Himawan C, Putro R. Representasi Damar Kurung Karya Masmundari dalam cyanotype: Paguyuban Seni Tradisi Lumpur Gresik; 2022.
 36. Yunhang W, Shan D, Yuhao T, Meiling Z, Shiyan L, Hongying Y, et al. Textile-based dip padding-cyanotype optimization and performance evaluation. *Advanced Textile Technology*. 2023;31(2):191-196. <https://doi.org/10.12477/xdzfs.20230224>.
 37. Euler T, Feldmann J, Spiehl D, Dörsam E, Blaesser A. Cyanotype-from hand craft to industrial print. *Advances in Printing and Media Technology*. 2023;49(9):71-80. https://doi.org/10.14622/Advances_49_2023_09.
 38. Wall AH. *A manual of artistic coloring as applied to photographs: a practical guide to artists and photo-graphers*. London: Kessinger Publishing; 1861.
 39. James C. *The book of alternative photographic processes*. New York: An International Thomson publishing company; 1987.
 40. Voorhis AV. *Cyanotypes: a guide*. 2019.
 41. Buranaprapuk A. Unconventional photography: the exploration of cyanotype process on various fibers. *Adv Text Technol Int J Humanities Arts Soc Sci*. 2016;9(4):200-214. url: <https://B2n.ir/hh3912>.
 42. Hallett C, Johnston A. *Fabric for fashion: the swatch book*. 2nd ed. London: Laurence King publishing; 2014.
 43. Enfield J. *Jill Enfield's guide to photographic alternative processes popular historical and contemporary techniques*. 2nd ed. New York: Routledge; 2020.
 44. Hussein G, Ismail H, Attyia Kairy ME. Physicochemical investigation of the decomposition products of ammonium metal carboxylates: ammonium ferric oxalate hydrate. *J Anal Appl Pyrolysis*. 1995;31:157-167. [https://doi.org/10.1016/0165-2370\(94\)00825-L](https://doi.org/10.1016/0165-2370(94)00825-L).
 45. Gaffar MA, Omar MH. Thermal analytical study of different phases of potassium hexacyanoferrate(II) crystal. *J Therm Anal*

- Calorim. 2005;81:477-487. <https://doi.org/10.1007/s10973-005-0809-0>.
46. Shea L. Anna Atkins Biography and Photographs of British Algae: Cyanotype Impressions. Kindle ed.; online; 2015.
 47. Herschel JFW. On certain improvements on photo-graphic processes described in a former communication and on the Parathermic rays of the solar spectrum. *Philos Trans R Soc*. 1843. <https://doi.org/10.1098/rstl.1843.0002>.
 48. Jungles A. Beyond the blue: cyanotype's qualities of light, time, and space [Master's thesis]. [Collegeville]: College of Saint Benedict and Saint John's University; 2019.
 49. Katewatkins [Internet]. 2025 [cited 2025 Feb 26]. Available from: <https://www.katewatkins.co.uk/blog/5-simple-steps-for-getting-started-with-cyanotype-printing>
 50. Lawrence GD, Fishelson S. Blueprint photography by the cyanotype process. *J Chem Educ*. 1999;76(9):1216A-1216B. <https://doi.org/10.1021/ed076p1216>.
 51. Önen N. "Fauxssilles" for the future: cyanotype expressions on plastic waste [Master's thesis]. [Ankara]: İhsan Doğramacı Bilkent University; 2018.
 52. Schaaf LJ, John L, Chuang J, Walz E, Ware M. Sun gardens: cyanotypes by Anna Atkins Chuang J, editor. New York: The New York public library; 2018.
 53. Hinkel B, Reeder R. Digital Negatives: Using Photoshop to create digital negatives for silver and alternative process printing. 1st ed. New York: Routledge; 2007.
 54. Almeida BLd, Cuin A. Cyanotype: an artistic way to talk about (photo) chemistry. *Quarks: Brazilian Electronic J Phys Chem Mater Sci*. 2022; 4(1):34-44. <https://doi.org/10.34019/2674-9688.2022.v4.36460>
 55. Londonphotography [Internet]. 2025 [cited 2025 Mar 23]. Available from: <https://www.londonphotography.org.uk/upcoming/2023/09/20/cyanotype-printing-workshop>.
 56. Muspratt S. Chemistry, theoretical, practical, and analytical as applied and relating to the arts and manufactures. 2nd ed. 1860.
 57. Busquets MA, Estelrich J. Prussian blue nanoparticles: synthesis, surface modification, and biomedical applications. *Drug Discovery Today*. 2020;25(8):1431-1443. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2020.05.014>.
 58. Blasques V, Stefano JS, Camargo JR, Guterres LR, Brazaca LC, Janegitz BC. Disposable Prussian blue-anchored electrochemical sensor for enzymatic and non-enzymatic multi-analyte detection. *Sensors and Actuators Reports*. 2022;4:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.snr.2022.100118>.
 59. Leite L, Pais BJ, Cunha F, Relvas C, Ferreira N. Prussian blue sensor for bacteria detection in personal protection clothing. *Polymers*. 2023;15(4):1-14. <https://doi.org/10.3390/polym15040872>.
 60. Stieglitz M. Historic photographs on cloth. *Hist Photogr*. 1977;1(2):105-110. <https://doi.org/10.1080/03087298.1977.10442895>.
 61. Arnow J. Handbook of alternative photographic processes. New York: Van Nostrand Reinhold; 1982.
 62. Lucas A. Health hazards associated with the cyanotype printing process. *J Environ Pathol Toxicol Oncol*. 1992;11(1):18-20. PMID: 1740763.
 63. Hewitt B. Blueprints on fabric: innovative uses for cyanotype. Hong Kong: Colorado: Interweave Press; 1995.
 64. Stonecreektextiles [Internet]. 2025 [cited 2025 May 16]. Available from: <https://stonecreektextiles.co.uk/>
 65. Brown R. Cyanotypes on fabric: a blueprint on how to produce...blueprints!. Sunk Island: SC Publications; 2006.
 66. Farber R. Historic photographic processes: a guide to creating handmade photographic images. New York: Allworth Press; 1998.
 67. Jeffrey I. Photography: a concise history. London: Oxford University Press; 1981.
 68. Batchen G. Negative/positive a history of photography. London: Routledge; 2020.
 69. Bartoll J, Jackisch B. Prussian Blue: a chronology of the early years. *Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung*. 2010;24(1). url: <https://B2n.ir/wd8695>.
 70. Mike W. A blueprint for conserving cyanotypes. *Topics in Photographic Preservation*. 2003;12:2-18. url: <https://B2n.ir/ek7469>.
 71. Mike W. Mechanisms of image deterioration in early photographs. London: Science Museum; 1994.
 72. Haelg F, Herren P, Fischer A, Ludi W. Neutron diffraction study of prussian blue, Fe₄[Fe(CN)₆]₃.xH₂O. Location of water molecules and long-range magnetic order. *Inorg Chem*. 1980;19(4):956-959. <https://doi.org/10.1021/ic50206a032>.
 73. Popov MY, Vyboishchik AV. Contemporary methods for production of prussian blue. *IOP Conf Ser: Mater Sci Eng*. 2020;962:6-12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/962/2/022035>.
 74. Stulik D, Kaplan A. The atlas of analytical signatures of photographic processes salt print. Los Angeles: Getty Conservation Institute; 2013.
 75. Kirby J. Fading and colour change of prussian blue: occurrences and early reports. *National Gallery Technical Bulletin*. 1993; 14:62-71. url: <https://B2n.ir/wj6869>.
 76. Ware M. Prussian blue: artists' pigment and chemists' sponge. *J Chem Educ*. 2008;85(5):612-621. <https://doi.org/10.1021/ed085p612>.
 77. Singh MR, Sharma A. Prussian blue pigment: Bridging the historical palette to modern innovations. *Hist Sci Technol*. 2024;14(1):213-235. <https://doi.org/10.32703/2415-7422-2024-14-1-213-235>.
 78. Holtzman H. Alkali resistance of the iron blues. *Ind Eng Chem*. 1945;37(9):855-861. <https://doi.org/10.1021/ie50429a019>.
 79. Acs chemistry for life [Internet]. 2025 [cited 2025 May 23]. Available from: <https://www.acs.org/molecule-of-the-week/archive/p/prussian-blue.html>
 80. Sattar S. The chemistry of photography: still a terrific laboratory course for nonscience majors. *J Chem Educ*. 2017;94(2):183-189. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00400>.
 81. Angela C. Creative cyanotype: techniques and inspiration. The Crowood Press; 2024.
 82. Mrhar P. Cyanotype: historical and alternative photography. 1st ed. www.petermrhar.com/alternative; 2013.
 83. Ware M. Siderotype workshop notes: new cyanotype. Buxton: Derbyshire; 2009.
 84. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Razani N, Jafari R, Saeb MR. Green miles in dyeing technology: metal-rich pumpkin extracts in aid of natural dyes. *Environ Sci Pollut Res*. 2022; 29(23):50608-50616. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19389-3>.
 85. Jafari R, Gharanjig K. Clean production of handmade carpets: toward the red color gamut. *Clean Technol Environ Policy*. 2024;26(8):2597-2609. <https://doi.org/10.1007/s10098-024-02770-w>.
 86. Imani H, Gharanjig K, Ahmadi Z. Eco-friendly single bath dyeing of wool yarns with extracted cochineal dye: optimization and additives effect. *Pigment & Resin Technology*. 2023;52(3):321-330. <https://doi.org/10.1108/PRT-04-2022-0048>.
 87. Jafari R, Gharanjig K, Hosseinneshad M. Substitution of metal ion mordant with biomordants: effect on color and fastness of

- reseda dyed on wool yarns. *J Text Inst.* 2023;114(11):1623-1633. <https://doi.org/10.1080/00405000.2022.2145427>.
88. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Rouhani S, Razani N, Imani H. Environmentally friendly dyeing of wool yarns using of combination of bio-mordants and natural dyes. *Environ Prog Sustain Energy.* 2022;41(5):197-205. <https://doi.org/10.1002/ep.13868>.
 89. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Rouhani S, Imani H, Razani N. Environmentally dyeing using dried walnut husk as bio-mordant: investigation of creating new red and yellow shades on wool. *Journal of Natural Fibers.* 2022;19(15):10953-10963. <https://doi.org/10.1080/15440478.2021.2002783>.
 90. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Jafari R, Imani H, Razani N. Cleaner colorant extraction and environ-mentally wool dyeing using oak as eco-friendly mordant. *Environ Sci Pollut Res.* 2021;28(6):7249-7260. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11041-2>.
 91. Sadeghi-Kiakhani M, Tehrani-Bagha A, Gharanjig K, Hashemi E. Use of pomegranate peels and walnut green husks as the green antimicrobial agents to reduce the consumption of inorganic nanoparticles on wool yarns. *Journal of Cleaner Production.* 2019;231:1463-1473. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.283>.
 92. Hosseinneshad M, Gharanjig K, Imani H, Razani N. Green dyeing of wool yarns with yellow and black myrobalan extract as bio-mordant with natural dyes. *J Natural Fibers.* 2020;19(10):3893-3915. <https://doi.org/10.1080/15440478.2020.1848735>.
 93. Nahavandi , Hosseinneshad M, Gharanjig K, Adeel S, Mahmoudi A. In quest for improvement of dyeing properties using agriculture waste: utilization of oleaster as new bio-mordant for wool yarns. *Environ Sci Pollut Res.* 2023;30:122262. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30603-8>.
 94. Golaz A. Cyanotype toning using botanicals to tone blueprints naturally. New York,: Routledge; 2022.
 95. Dhull SB, Kaur P, Purewal SS. Phytochemical analysis, phenolic compounds, condensed tannin content and antioxidant potential in Marwa (*Origanum majorana*) seed extracts. *Resource-Efficient Technologies.* 2016;2(4):168-174. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.09.003>.
 96. Kapusterynska A, Hamada V, Krvavych A, Konechna R, Kurka M, Novikov V. Investigation of the extract's composition of Viper's bugloss (*Echium vulgare*). *Ukrainica Bioorganica Acta.* 2020;15(1):42-46. <https://doi.org/10.15407/bioorganica.2020.01.042>.
 97. Tousson E, Al-Behbehani B. Black mulberries (*Morus nigra*) as a natural dye for animal tissues staining. *Animal Biology.* 2011;61(1):49-56. <https://doi.org/10.1163/157075511X554419>.
 98. Lambrecht L, Capablanca L, Bou-Belda E, Montava I, Díaz-García P, Gisbert-Payá J. Enhancing polyphenols and tannins concentration on cotton dyed with red tea sustainability. 2023;15(4):1-13. <https://doi.org/10.3390/su15043062>.
 99. Burkinshaw SM, Kumar N. The mordant dyeing of wool using tannic acid and FeSO₄, Part 1: initial findings. *Dyes Pigm.* 2009;80(1):53-60. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2008.05.008>.
 100. Fitz-Binder C, Manian AP, Lenninger M, Ortlieb S, Bechtold TP. Dyeing behaviour of iron(III)-gallic acid complexes on wool as function of pH-dependent iron(III)-complex stoichiometry. *Dyes Pigm.* 2025; 233:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2024.112502>.
 101. Bartolini D, Pallottelli L, Sgarretta D, Varfaj I, Macchiarulo A, Galli F, et al. Natural cellulosic biofunctional textiles from onion (*Allium cepa* L.) skin extracts: A sustainable strategy for skin protection. *Ind Crops Prod.* 2024;212(6). <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118295>.
 102. James C. The book of alternative photographic processes. 3rd Edition. Australia,Brazil,Mexico,Singapore, United Kingdom, United States: Cengage Learning; 2015.
 103. Dusan S, Art K. The atlas of analytical signatures of photographic processes cyanotype. Los Angeles: The Getty conservation Institute; 2013.
 104. Eder JM. History of photography. New York: Dover Publications Inc; 1978.

How to cite this article:

Banayan Ghomi N, Davari R, Gharanjig K. A Review of the History, Application, and Chemistry of Photographic Printing of Cyanotype Based on Prussian Blue Pigments. *J Color Sci Tech.* 2025;19(2):129-145. <https://doi.org/10.30509/jcst.2025.167570.1262> [In Persian].