

Investigation of the Effects of Ethoxylated Surfactants on the Nano-dispersion Properties of Disperse Blue 359 for Inkjet Ink Applications

Mojtaba Jalili

Department of Printing Science and Technology, Faculty of color physics, Institute for Color Science and Technology, P. O. Box: 16765-654, Tehran, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 16-11-2025

Accepted: 21-12-2025

Available online: 05-01-2026

Print ISSN: 1735-8779

Online ISSN: 2383-2169

DOI: 10.30509/jcst.2025.167722.1276

Keywords:

Inkjet

Nonionic surfactant

Ethoxylated Oleic acid

Nanodispersion

Disperse dye

Colloidal stability

ABSTRACT

Formulating inkjet inks requires achieving stable nanodispersions with fine particle sizes and narrow particle size distributions. This study investigated the effects of two non-ionic surfactants- oleic acid 6-mol ethoxylate (K16) and oleic acid 9-mol ethoxylate (K19) - on the dispersion properties of disperse blue 359. Dye concentrates were prepared using a jar mill. Color strength at different milling times (72, 96, 120, and 168 hours), particle size distribution, surface tension, dispersion stability (assessed by turbidity measurements), and rheological properties were evaluated by varying the surfactant type and concentration (0.35% and 0.7% by weight). Results demonstrated that K16 had a shorter ethoxylate chain and a lower hydrophilic-lipophilic balance (HLB) (9.9) than K19 (11.6), leading to faster adsorption and greater effectiveness in reducing particle size and surface tension. At a concentration of 0.7%, both surfactants showed similar dispersion stability and particle size. Samples containing surfactants displayed quasi-Newtonian rheological behavior and lower viscosity, ideal for inkjet applications. In conclusion, the optimal use of non-ionic surfactants with appropriate molecular structures can lead to stable nanodispersions with desirable properties for inkjet inks.

بررسی اثر سطح فعال‌های اتوکسیله بر خواص نانوپراکنه رنگزای آبی دیسپرس ۳۵۹ برای کاربرد در جوهرهای جوهرافشان

مجتبی جلیلی

استادیار، گروه پژوهشی علوم و فناوری چاپ، پژوهشکده فیزیک رنگ، پژوهشگاه رنگ، تهران، ایران، صندوق پستی: ۱۶۷۶۵۴-۶۵۴

چکیده

فرمول‌بندی جوهرهای جوهرافشان نیازمند دستیابی به نانوپراکنه‌های پایدار با اندازه ذرات ریز و توزیع باریک است. در این پژوهش، اثر دو سطح فعال غیر یونی اسید اولئیک ۶ مول اتوکسیله (K16) و اسید اولئیک ۹ مول اتوکسیله (K19) بر خواص پراکنه رنگزای دیسپرس آبی ۳۵۹ مورد بررسی قرار گرفت. کنسانتره‌های رنگزا با استفاده از جارمیل تهیه شدند. اثر نوع سطح فعال و غلظت آن (۰/۳۵ و ۰/۷ درصد وزنی) بر قدرت رنگی در زمان‌های مختلف آسیاب (۷۲، ۹۶، ۱۲۰ و ۱۶۸ ساعت)، توزیع اندازه ذرات، کشش سطحی، پایداری پراکنه (به واسطه اندازه‌گیری تغییرات کدورت) و خواص رئولوژیکی مطالعه شد. نتایج نشان داد که K16 با داشتن عدد تعادل آب‌دوست-چربی‌دوست (HLB) پایین‌تر (۹/۹ در مقابل ۱۱/۶) و زنجیر اتوکسیله کوتاه‌تر، جذب سریع‌تر و کارایی بهتری در کاهش اندازه ذرات و کشش سطحی دارد. در غلظت ۰/۷ درصد، هر دو سطح فعال رفتار مشابهی در پایداری پراکنه و اندازه ذرات نشان می‌دهند. نمونه‌های حاوی سطح فعال رفتار رئولوژیکی شبه نیوتنی و گرانیروی پایین‌تری از خود نشان دادند که برای کاربرد جوهرافشان ایده‌آل است. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که استفاده بهینه از سطح فعال‌های غیر یونی با ساختار مولکولی مناسب می‌تواند منجر به تولید نانوپراکنه‌های پایدار با خواص مطلوب برای جوهرهای جوهرافشان شود.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰

در دسترس به صورت الکترونیکی: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵

شاپا چاپی: ۱۷۳۵-۸۷۷۹

شاپا الکترونیکی: ۲۳۸۳-۲۱۶۹

DOI: 10.30509/jcst.2025.167722.1276

واژه‌های کلیدی:

جوهر افشان

سطح فعال غیر یونی

اسید اولئیک اتوکسیله

نانوپراکنه

رنگزای دیسپرس

پایداری کلئیدی

۱- مقدمه

چاپ جوهرافشان به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین و پرکاربردترین فناوری‌های چاپ غیرضربه‌ای، تحولی شگرف در صنایعی همچون نساجی، بسته‌بندی و الکترونیک‌های چاپی ایجاد کرده است (۱). کیفیت نهایی چاپ در این فناوری به شدت به ویژگی‌های فیزیکی جوهر، از جمله پایداری پراکنه، اندازه ذرات، کشش سطحی و رفتار رئولوژیکی وابسته است (۲).

در میان کاربردهای مختلف، چاپ جوهرافشان تصعیدی بر پایه رنگزاهای دیسپرس، به دلیل وضوح بالا، دوام عالی، مراحل فرایند کمتر و سازگاری بیشتر با محیط زیست، جایگاه ویژه‌ای در صنعت نساجی یافته است (۳، ۴). موفقیت این فرایند مستلزم فرمول‌بندی جوهرهایی با پراکنه یکنواخت و پایدار ذرات رنگزا در محیط آبی است.

در این راستا، تهیه کنسانتره‌ها یا نانوپراکنه‌ها با کیفیت بالا، گام نخست و حیاتی محسوب می‌شود. این کنسانتره‌ها باید دارای ویژگی‌های خاصی باشند تا جوهر نهایی تهیه شده از آنها قابل استفاده در چاپگرهای جوهرافشان باشد. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به اندازه ذرات بسیار ریز (معمولاً کمتر از ۲۰۰ نانومتر) و توزیع اندازه باریک اشاره کرد (۵). ذرات ریز نه تنها باعث افزایش قدرت رنگ‌دهی و شفافیت می‌شوند، بلکه از گرفتگی نازل‌های بسیار ریز هد چاپ (که معمولاً قطر آنها بین ۱۰ تا ۵۰ میکرون است) جلوگیری می‌کنند (۶). علاوه بر این، کنسانتره باید از پایداری فیزیکی و شیمیایی بلندمدت برخوردار باشد تا از ایجاد رسوب، تجمع ذرات و تغییر گرانشی در طول زمان انبارداری و حمل و نقل جلوگیری شود (۷). همچنین، گرانشی پایین و رفتار رئولوژیکی نزدیک به نیوتنی از دیگر الزامات اساسی است تا اطمینان حاصل شود که جوهر می‌تواند به طور پیوسته و قابل اطمینان از نازل‌ها پاشش شده و از تشکیل قطرات سرگردان^۱ جلوگیری کند (۸، ۹).

دستیابی به چنین نانوپراکنه‌های پایدار، به‌ویژه برای رنگزاهای دیسپرس آب‌گریز مانند دیسپرس آبی ۳۵۹، چالشی بنیادی محسوب می‌شود. این رنگزاها به دلیل ماهیت آب‌گریزی و انرژی سطحی پایین، تمایل شدیدی به تجمع و تشکیل کلوخه دارند (۱۰). این تجمعات نه تنها باعث افزایش اندازه ذرات می‌شوند، بلکه منجر به رفتارهای رئولوژیکی ناخواسته از جمله افزایش گرانشی، تشدید رفتار رقیق‌شوندگی بابرش^۲ و تیکسوتروپی^۳ و در نهایت ناپایداری سامانه می‌گردند (۱۱، ۱۲). برای غلبه بر این چالش‌ها، استفاده هم‌زمان از پراکنش‌یارهای پلیمری و سطح‌فعال، راه‌بردی کلیدی و اجتناب‌ناپذیر است (۱۳). پراکنش‌یارهای پلیمری با ایجاد ممانعت

فضایی یا دافعه الکترواستاتیک و یا هر دو سازوکار از تجمع مجدد ذرات جلوگیری می‌کنند (۱۴). در مقابل، سطح‌فعال‌ها نقش مکمل و حیاتی در مراحل اولیه پراکنه یعنی ترشوندگی و خردایش ایفا می‌کنند. آن‌ها با کاهش کشش سطحی و بین‌سطحی، فرایند نفوذ محمل به داخل توده‌های رنگزا و جداسازی ذرات از یکدیگر در حین آسیاب را تسهیل می‌نمایند (۱۵).

سطح‌فعال‌های غیریونی، به ویژه انواع مبتنی بر اسیدهای چرب اتوکسیله، به دلیل سازگاری بالا با سامانه‌های آبی و حساسیت کم به تغییرات pH، گزینه‌ای مطلوب در فرمول‌بندی جوهرها هستند (۱۶). با این حال، عملکرد این سطح‌فعال‌ها به شدت متأثر از ساختار مولکولی آن‌ها، از جمله طول زنجیر اتوکسیله و عدد تعادل آب‌دوست-چربی‌دوست^۴ (HLB) قرار دارد. به عنوان مثال، مطالعات نشان می‌دهند که کاهش طول زنجیر اتوکسیله در سطح‌فعال‌های نونیل‌فنول می‌تواند منجر به افزایش جذب بر سطح رنگدانه‌های آب‌گریز و بهبود ترشوندگی آن‌ها شود (۱۷). همچنین، گزارش شده است که غلظت سطح‌فعال نه تنها بر اندازه نهایی ذرات، بلکه بر پایداری بلندمدت پراکنه نیز تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارد (۱۸). با بررسی اثر سطح‌فعال‌های غیریونی اتوکسیله مختلف در تهیه کنسانتره رنگزای دیسپرس آبی ۳۵۹ مشخص شد که با کاهش طول زنجیر اتوکسیله، رفتار رئولوژیکی از شبه‌نیوتنی به نیوتنی تغییر می‌کند. علاوه بر این سرعت کاهش اندازه ذرات در فرایند آسیاب نیز افزایش یافته و میزان کدورت سامانه نیز کاهش بیشتری نشان می‌دهد (۱۹). از طرفی با مطالعه اثر غلظت این گروه از سطح‌فعال‌ها در تهیه جوهرهای دیجیتالی دیسپرس مشخص شد که غلظت‌های بالای سطح‌فعال با ایجاد کف در سامانه نه تنها باعث کاهش بازده آسیاب می‌شود بلکه با پراکنش‌یار پلیمری در جذب به‌روی سطح رنگزا رقابت کرده و باعث ناپایداری پراکنه می‌شود (۲۰). اگرچه این مطالعات نقش کلیدی سطح‌فعال‌ها را نشان می‌دهند، اما مطالعه هدفمند و مقایسه‌ای اثر هم‌زمان طول زنجیر اتوکسیله و غلظت سطح‌فعال‌های مشابه (مانند اسید اولئیک اتوکسیله) بر تکامل تدریجی خواص پراکنه یک رنگزای دیسپرس خاص در طول فرایند آسیاب، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، بررسی دقیق و مقایسه‌ای اثر دو سطح‌فعال غیریونی اسید اولئیک ۶ مول اتوکسیله (K16) و اسید اولئیک ۹ مول اتوکسیله (K19) در غلظت‌های مختلف بر خواص کنسانتره رنگزای دیسپرس آبی ۳۵۹ است. در این راستا، تأثیر این سطح‌فعال‌ها بر تکامل قدرت رنگی در بازه‌های زمانی مختلف آسیاب (۷۲، ۹۶، ۱۲۰ و ۱۶۸ ساعت)، توزیع اندازه ذرات، کشش سطحی، پایداری (تغییرات کدورت با زمان) و خواص رئولوژیکی به طور هدفمند مورد ارزیابی قرار گرفته

1. Satellite Drops
2. Shear thinning
3. Thixotropy

4. Hydrophilic-lipophilic balance

جهت تهیه نمونه‌های خمیر آسیاب از دستگاه جارمیل با پرل‌های زیرکونیایی به قطر ۱-۰/۸ میلی‌متر استفاده شد. رفتار جذب نمونه‌ها در ناحیه مرئی (۴۰۰-۷۰۰ nm) به وسیله دستگاه طیف‌سنج UV-VIS مدل Bio Spec-1601 شرکت شیمادزو ژاپن بررسی شد. خواص رئولوژیکی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه رئومتر MCR300 شرکت آنتون-پار اتریش اندازه‌گیری شد. برای بررسی رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها برنامه طراحی شده شامل چهار فاز بود. در فاز اول نمونه‌ها به مدت یک دقیقه تحت برش $100s^{-1}$ قرار گرفتند. در فاز دوم به مدت دو دقیقه به نمونه‌ها استراحت داده شد (سرعت برشی صفر). این دو مرحله ابتدایی به منظور حذف تاریخچه رئولوژیکی نمونه‌ها و جهت افزایش اعتبار نتایج صورت گرفت. در مرحله سوم به نمونه‌ها سرعت برشی صفر تا $1000s^{-1}$ وارد شد و در فاز چهارم رفتار نمونه‌ها در دامنه سرعت برشی $1000s^{-1}$ تا صفر بررسی شد. مطالعه کدورت نمونه‌ها با دستگاه کدورت‌سنج مدل 2100 AN شرکت Hach آمریکا صورت گرفت. کشش سطحی نمونه‌ها به وسیله دستگاه اندازه‌گیری کشش سطحی مدل K100MK2 شرکت Kruss آلمان و به روش صفحه ویلهلمی بررسی شد. از هر نمونه سه بار سنجش کشش سطحی به عمل آمد و میانگین نتایج گزارش گردید. همچنین اندازه ذرات نمونه‌ها با روش پراکندگی نور دینامیک به وسیله دستگاه Horiba SZ-100 شرکت Horiba فرانسه اندازه‌گیری شد.

۲-۲- روش تهیه نمونه‌ها

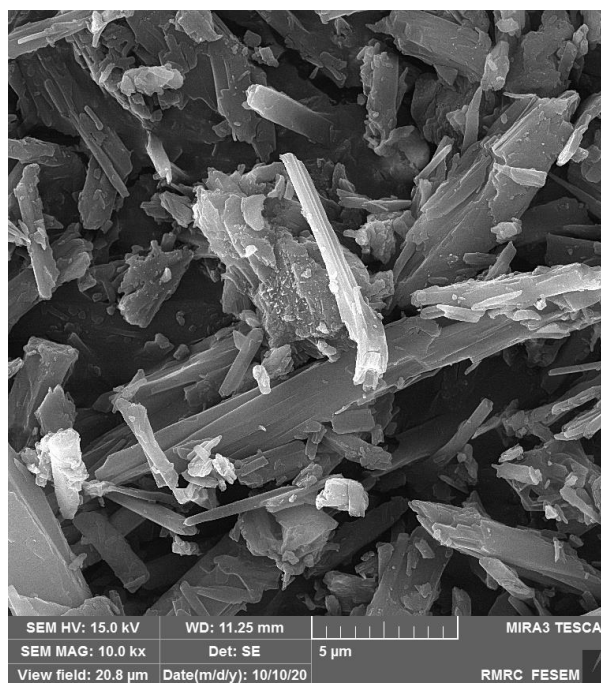
فرمول‌بندی نمونه‌ها در جدول ۱ گزارش شده است. جهت تهیه نمونه‌ها آب دیونیزه و گلیکول وارد بشر شده و اجازه داده می‌شود تا به وسیله هم‌زن مغناطیسی انحلال یکنواخت صورت پذیرد. سپس به ترتیب پراکنش‌یار و سطح‌فعال اضافه می‌شوند و اختلاط ادامه می‌یابد. پس از اینکه محلول یکنواختی حاصل شد، به تدریج پودر رنگزا اضافه می‌شود تا سوسپانسیون یکنواختی حاصل شود. جهت این امر سوسپانسیون به کمک هم‌زن مغناطیسی ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه به هم‌زده می‌شود. در انتها سوسپانسیون به جار انتقال داده می‌شود و باقی‌مانده آب فرمول‌بندی نیز در چند مرحله جهت انتقال کامل نمونه از بشر، اضافه می‌شود. مقدار پرل مصرفی در نمونه‌ها ۱۲۰ گرم بود. جهت خردایش بهینه ذرات رنگزا، سرعت جارمیل روی ۱۴۰ دور بر دقیقه تنظیم شد. همچنین زمان آسیاب نمونه‌ها ۷ روز منظور شده است.

است. این پژوهش به دنبال درک عمیق‌تری از نقش سینتیک و ترمودینامیک جذب سطح‌فعال‌ها و تعیین شرایط بهینه برای دستیابی به نانوپراکنه‌ای پایدار با خواص مطلوب برای کاربرد در جوهرهای جوهرافشان تصعیدی است. نتایج این مطالعه می‌تواند راهنمای ارزشمندی برای بهینه‌سازی فرمول‌بندی جوهرهای آب‌پایه و درک بهتر برهم‌کنش‌های پیچیده در سطح ذرات رنگزا باشد.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و دستگاه‌ها

رنگزای خالص دیسپرس آبی ۳۵۹ خالص از شرکت Tiankun تهیه شد که تصویر میکروسکوپ الکترونی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که ذرات بایکدیگر تجمع کرده و تشکیل کلوخه‌هایی به ابعاد ۵-۱۰ میکرومتر را داده‌اند. پراکنش‌یار پلیمری Tegodisperse 750 که دارای ۴۰ درصد جامد بود از شرکت کالاکار نماینده ایونیک تامین شد. گلیسرین با درجه خوراکی با خلوص ۹۹/۹ درصد و سطح‌فعال غیر یونی اسید اولئیک ۶ مول اتوکسیله (KI6) و ۹ مول اتوکسیله (KI9) از شرکت کیمیاگران امروز تهیه شد. در این پژوهش از آب دیونیزه، با رسانایی الکتریکی $0.2 \mu S/cm$ استفاده شد.



شکل ۱: تصویر میکروسکوپ الکترونی رنگزای دیسپرس آبی ۳۵۹.

Figure 1: Scanning electron microscope image of Disperse Blue 359.

1. Dynamic light scattering (DLS)

جدول ۱: فرمول‌بندی نمونه‌ها.

Table 1: Samples formulations.

Component portion (wt%)					
Components	AB	AC	AD	AE	AF
Disperse Blue 359	14.3	14.3	14.3	14.3	14.3
Polymeric dispersant	17.9	17.9	17.9	17.9	17.9
Glycerol	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
Kl6	0.7	0.35	0	0	0
Kl9	0	0	0	0.7	0.35
Water	60	60.35	60.7	60	60.35

می‌اندازد (نمونه‌های AE و AF).

با افزایش زمان آسیاب ترمودینامیک جذب بر سینتیک آن غالب می‌شود به‌طوری‌که کوچک‌مولکول‌ها از روی سطح واجذب و بزرگ‌مولکول‌ها جذب می‌شوند. به نظر می‌رسد پراکنش‌یار پلیمری روی سطح ذرات جذب و سطح‌فعال‌ها واجذب می‌شوند که این امر باعث شده تا نمونه‌ها در قدرت جذب و انتقال امواج الکترومغناطیس یکسان عمل کنند (شکل ۲b و ۲c). با افزایش زمان آسیاب به ۱۶۸ ساعت و کاهش بیشتر اندازه ذرات، سطح‌فعال‌ها نیز روی سطح ذرات جذب شده و به‌همراه پراکنش‌یار باعث پایداری بیشتر سامانه می‌شوند (۱۶، ۶). نکته حائز اهمیت آن است که در این مرحله با توجه به اینکه طول زنجیر اتوکسیله در kl9 نسبت به kl6 بیشتر است سرعت واجذب آنها کمتر بوده و از طرفی با ایجاد ممانعت فضایی بیشتر سبب پایداری بیشتر پراکنه و در نتیجه قدرت رنگی بیشتر آن می‌شود که شکل ۲d این موضوع را به‌خوبی نشان می‌دهد.

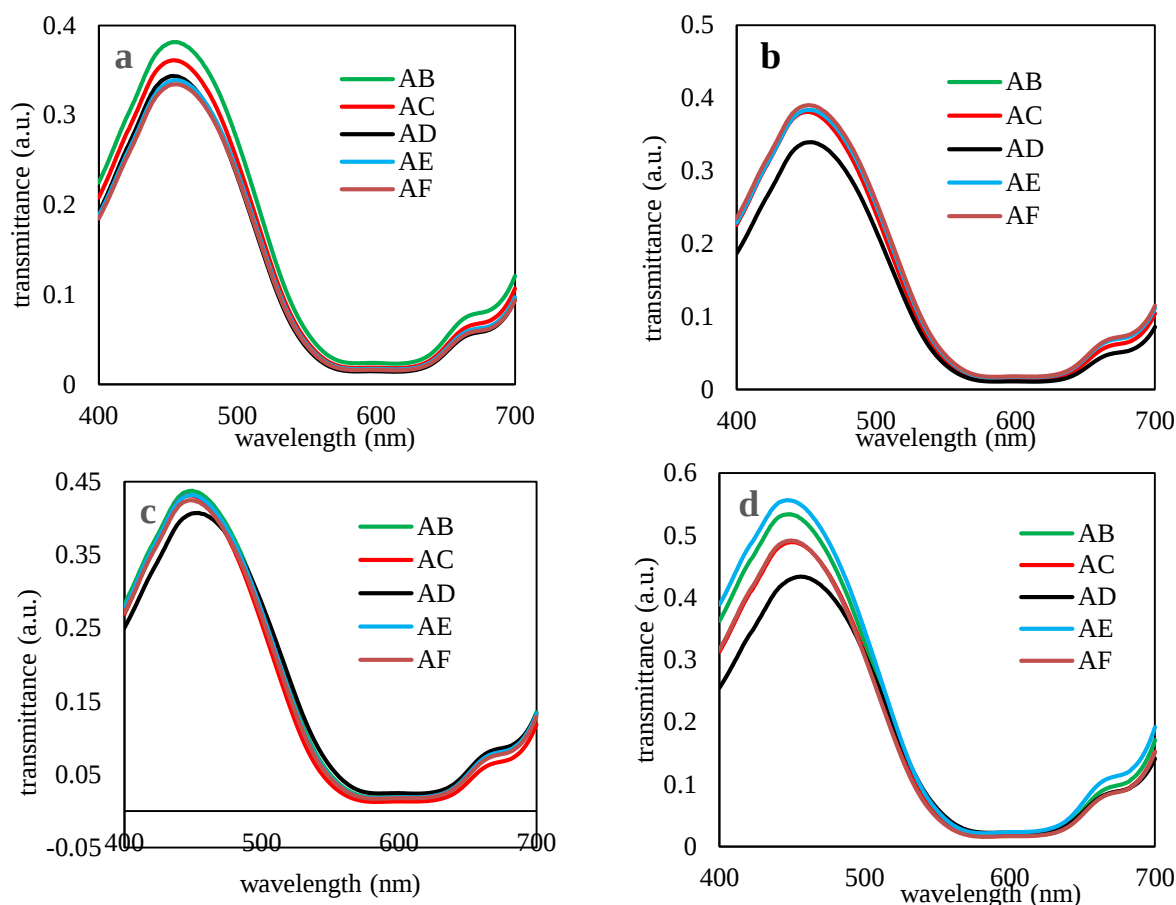
۳-۲- اندازه ذرات

شکل ۲ توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها را در زمان‌های مختلف آسیاب نشان می‌دهد. در واقع اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات در زمان‌های مختلف آسیاب اطلاعاتی از چگونگی عملکرد سطح‌فعال و تاثیر غلظت و طول زنجیر اتوکسیله در اختیار ما قرار می‌دهد. در شکل ۲a مشاهده می‌شود که نمونه AD و دو نمونه AC و AF دارای دو قله توزیع اندازه ذرات هستند در حالی که نمونه‌های AB و AE که دارای ۰/۷ درصد سطح‌فعال هستند دارای یک قله توزیع اندازه ذرات بوده که بیانگر توزیع همگنی از ذرات می‌باشد. به نظر می‌رسد در این نمونه‌ها سطح‌فعال به‌طور یکنواخت روی سطح ذرات جذب شده و کشش بین‌سطحی را به‌صورت یکپارچه کاهش داده است که در نتیجه توزیع اندازه ذرات یکنواخت حاصل شده است. نایک‌نواختی توزیع اندازه ذرات در نمونه AD که فاقد سطح‌فعال است به مراتب شدیدتر است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- قدرت رنگی نمونه‌ها

برای بررسی میزان انتقال در ناحیه مرئی (۴۰۰-۷۰۰ nm)، نمونه‌های غلیظ‌شده با افزایش آب دیونیزه ۳۷۵۰ برابر رقیق شدند. شکل ۲ طیف انتقالی نمونه‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمونه‌ها در محدوده ۴۰۰ تا ۵۵۰ nm دارای یک قله انتقالی هستند که شدت و پهنای آن برای هر نمونه متفاوت است. با توجه به اینکه نمونه‌ها دارای فام آبی هستند هر چه میزان انتقال در این ناحیه بیشتر باشد، قدرت رنگی ادراک شده نیز بیشتر خواهد بود. در واقع میزان انتقال نور در نمونه‌های مایع و یا پراکنه‌های ذرات جامد در مایع متناظر با میزان انعکاس در فیلم‌های جامد است که با افزایش آن، شدت رنگی که مشاهده‌کننده دریافت می‌کند نیز بیشتر می‌شود. مشاهده می‌شود که در زمان‌های اولیه (شکل ۲a) نوع سطح‌فعال تاثیر به‌سزایی در میزان قدرت رنگی دارد. در واقع با کوچک‌تر شدن طول زنجیر اتوکسیله (kl6 در مقایسه با kl9)، میزان HLB سطح‌فعال کاهش (از ۱۱/۶ به ۹/۹) و تمایل آن به جذب روی سطح رنگزا افزایش می‌یابد. از این‌رو از نقطه‌نظر سینتیک سرعت جذب kl6 در مقایسه با kl9 بیشتر است. این موضوع باعث می‌شود تا در خلال جریان آسیاب هم‌زمان با خردایش و کاهش اندازه ذرات رنگزا، سطح‌فعال به‌سرعت روی سطوح تازه تشکیل‌شده جذب و مانع از تجمع مجدد آنها شود. در واقع در حضور سطح‌فعال‌های با HLB کمتر (kl6) سرعت کاهش اندازه ذرات بیشتر می‌شود. با کاهش اندازه ذرات، مساحت سطح ذرات افزایش یافته و به دنبال آن برهم‌کنش نور با نمونه افزایش می‌یابد که این امر باعث افزایش بیشتر قدرت رنگی در زمان‌های اولیه فرایند آسیاب می‌شود (نمونه‌های AB و AC). از طرفی با افزایش طول زنجیر اتوکسیله، خاصیت ترکندگی سطح‌فعال کاسته یافته و علاوه‌براین خاصیت کف‌زایی و یا ایجاد حباب در سامانه افزایش می‌یابد که کاهش اندازه ذرات را به تاخیر



شکل ۲: طیف انتقالی نمونه‌ها با زمان آسیاب: (a) ۷۲ ساعت، (b) ۹۶ ساعت، (c) ۱۲۰ ساعت و (b) ۱۶۸ ساعت.

Figure 2: Transmission spectra of samples at different milling times: (a) 72 h, (b) 96 h, (c) 120 h, and (d) 168 h.

سطح رنگزا داشته و کشش بین سطحی را بیشتر از KL9 کاهش می‌دهد. در نتیجه رنگزا سریع‌تر و یکنواخت‌تر خیس شده و زمینه برای کاهش اندازه ذرات و جلوگیری از تجمع ذرات تازه تشکیل شده فراهم می‌شود. از طرفی با مقایسه توزیع اندازه ذرات AF با AE و AC با AB مشاهده می‌شود که غلظت‌های بالاتر سطح فعال نقش موثرتری در کاهش اندازه ذرات و همچنین در پهنای اندازه ذرات دارد. همچنین توزیع اندازه ذرات نمونه AD نشان‌دهنده نقش بسیار موثر سطح فعال بر اندازه ذره و توزیع آن است.

۳-۳- کشش سطحی

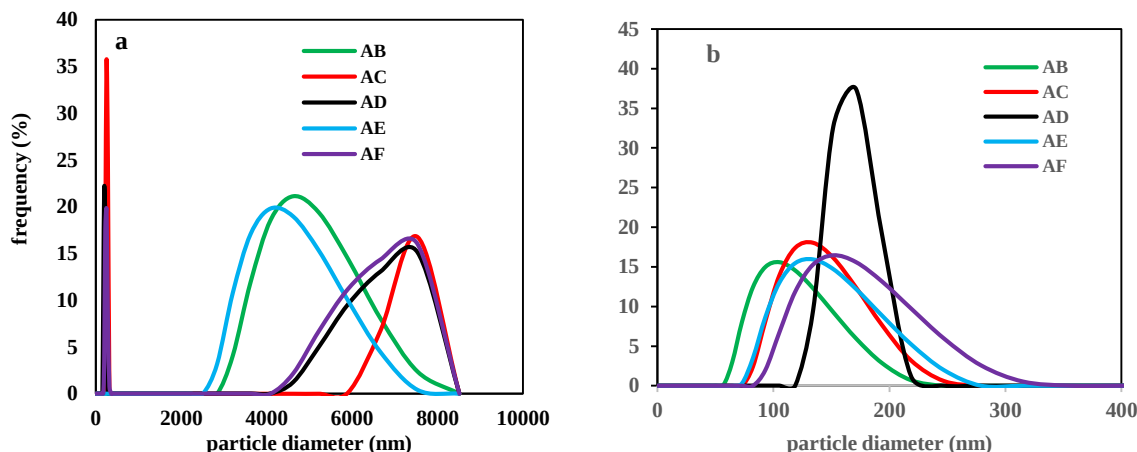
کشش سطحی نمونه‌ها پس از آسیاب در جدول ۲ نمایش داده شده است. با مقایسه مقادیر کشش سطحی نمونه‌ها مشاهده می‌شود که نوع سطح فعال و غلظت آن تاثیر قابل توجهی بر میزان کاهش آن دارند. KL6 نسبت به KL9 در کاهش کشش سطحی موثرتر عمل می‌کند زیرا از طول زنجیر کمتر اتوکسیله و HLB بالاتر برخوردار است.

از طرفی در مقایسه دو نمونه AC و AF که هر یک دارای ۰/۳۵ درصد سطح فعال هستند مشاهده می‌شود که نمونه AC دارای توزیع باریک‌تر از اندازه ذرات است که بیانگر اثر طول زنجیر اتوکسیله بر قدرت جذب روی سطح رنگزا و میزان کاهش کشش بین سطحی دارد. شکل ۳b توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها را پس از ۱۶۸ ساعت نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش زمان آسیاب اندازه ذرات رنگزا در همه نمونه‌ها به‌طور قابل توجهی کاهش یافته است. از طرفی مشاهده می‌شود که نمونه‌ها از توزیع یکنواخت و باریک‌تری برخوردار هستند. جالب توجه است که نمونه‌های دارای سطح فعال KL6 دارای اندازه ذرات کوچک‌تر و از طرفی توزیع باریک‌تری نسبت به نمونه‌های AE و AF هستند. این مطلب نشان می‌دهد که طول زنجیر اتوکسیله تاثیر به‌سزایی در عملکرد فرایند آسیاب رنگزای دیسپرس آبی ۳۵۹ دارد. این رنگزا شدیداً آب‌گریز و دارای انرژی سطحی پایینی (زاویه تماس قرص آن با آب اندازه‌گیری شد که معادل تقریباً ۸۷ درجه بود) است. از این رو سطح فعال KL6 که دارای HLB ۹/۹ است تمایل به جذب بیشتر روی

جدول ۲: کشش سطحی نمونه‌ها.

Table 2: Surface tension of samples.

Sample	AB	AC	AD	AE	AF
Surface tension (mN/m)	39.887	44.075	49.733	42.040	45.386



شکل ۳: توزیع اندازه ذرات نمونه‌ها: (a) پس از ۴۸ ساعت و (b) پس از ۱۶۸ ساعت.

Figure 3: Particle size distribution of the samples: (a) after 48 h and (b) after 168 h.

سطح‌فعال KL9) به‌ترتیب نسبت به نمونه‌های AC و AB (دارای سطح‌فعال KL6) دارای کدورت کمتری هستند. در واقع سرعت جذب و واجذب در نمونه‌های حاوی سطح فعال kl9 کمتر بوده و از این‌رو در خلال فرایند آسیاب در جلوگیری از تجمع مجدد ذرات موثرتر عمل می‌کنند. از طرفی رفتار پایداری پراکنه رنگزا با افزایش غلظت سطح‌فعال از ۰/۳۵ به ۰/۷ درصد تقریباً مشابه می‌شود (نمونه‌های AB و AE) که می‌توان گفت اثر غلظت بر طول زنجیر اتوکسیله غالب شده و عملاً این فاکتور تفاوت محسوسی در پایداری حاصل نکرده است. در صورتی که در غلظت‌های پایین سطح‌فعال رفتار پایداری پراکنه متفاوت است. نمونه AF که دارای سطح‌فعال KL9 است نسبت به نمونه AC که دارای سطح‌فعال KL6 است بسیار پایدارتر می‌باشد که به‌وضوح اثر طول زنجیر اتوکسیله بر پایداری پراکنه را نشان می‌دهد. در واقع با افزایش طول زنجیر اتوکسیله، ازدحام فضایی افزایش یافته و در نتیجه فاصله بین ذرات و پایداری پراکنه افزایش می‌یابد.

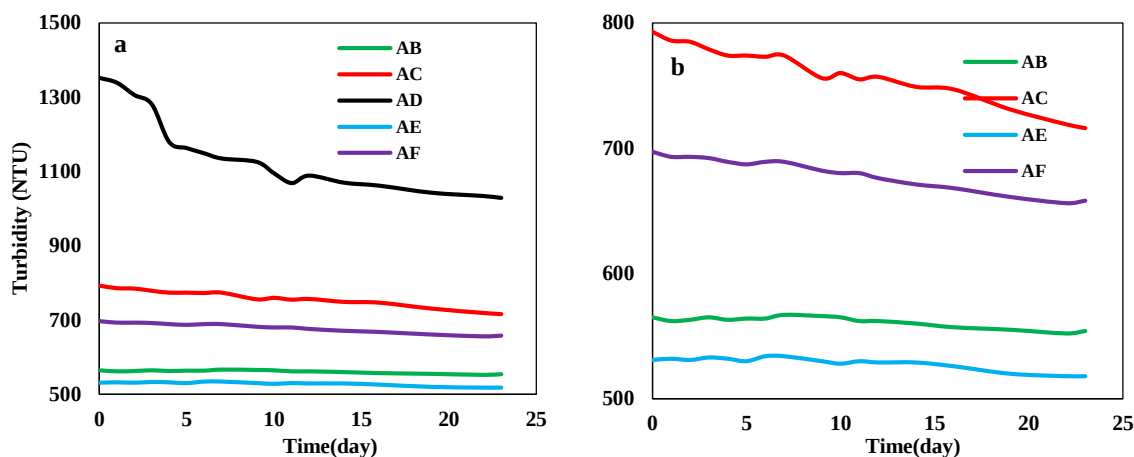
از نکات دیگری که به وضوح در نمودارهای پایداری پراکنه‌ها مشاهده می‌شود آن است که روند تغییرات کدورت تقریباً به‌طور کامل نزولی است. این نکته بیانگر آن است که سطح ذرات رنگزا در نمونه‌ها به خوبی توسط پراکنش‌یار و سطح‌فعال پوشیده شده که مانع از تشکیل تجمع ذرات و در نتیجه رشد آنها می‌شوند.

در سطح‌فعال‌های اسید چرب اتوکسیله با کاهش طول زنجیر اتوکسیله تمایل به آب کمتر شده و از طرفی فعالیت سطحی سطح‌فعال بیشتر شده که منجر به کاهش بیشتر کشش سطحی می‌شود که در نمونه‌ها نیز این موضوع کاملاً واضح است.

از طرفی اختلاف کشش سطحی در غلظت‌های بالا و پایین سطح‌فعال در نمونه‌ها معنی‌دار بوده که حاکی از عدم تشکیل مایسل در این شرایط است. این مطلب بیانگر آن است که سطح‌فعال به همراه پراکنش‌یار می‌تواند نقش موثری در پایداری پراکنه رنگزا نیز داشته باشد.

۳-۴- پایداری پراکنه

به منظور ارزیابی پایداری پراکنه رنگزا تغییرات کدورت نمونه‌ها با زمان اندازه‌گیری و در شکل ۴ نمایش داده شده است. شکل ۴a نشان می‌دهد که کدورت اولیه نمونه AD در مقایسه با سایر نمونه‌ها که دارای سطح‌فعال هستند به مراتب بالاتر است. از طرفی روند تغییرات کدورت این نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها بسیار متمایز بوده و بیانگر نقش بارز سطح‌فعال در پایداری پراکنه رنگزا است. شکل ۴b به‌وضوح اثر غلظت و طول زنجیر اتوکسیله سطح‌فعال را بر میزان کدورت اولیه و تغییرات کدورت را نشان می‌دهد. نمونه‌های AE و AF (دارای



شکل ۴: تغییرات کدورت نمونه‌ها با زمان

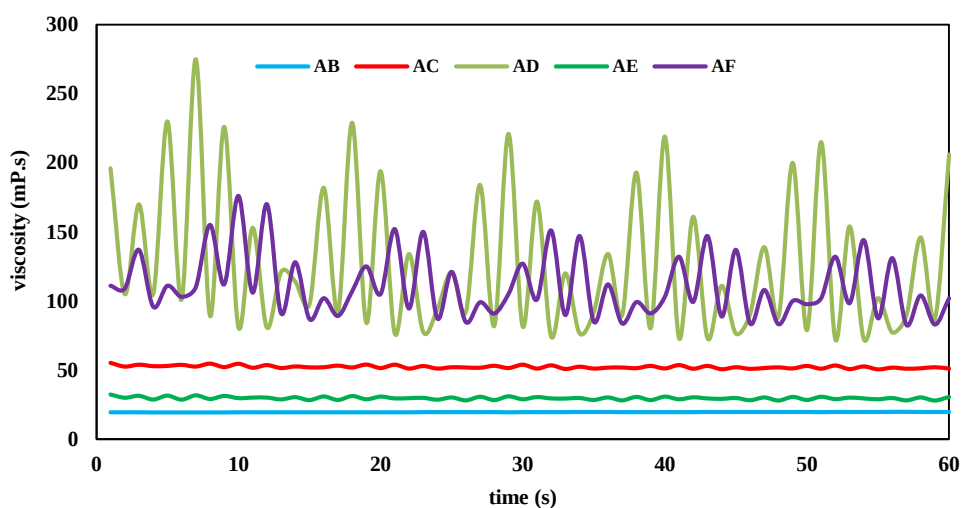
Figure 4: Turbidity evolution of samples.

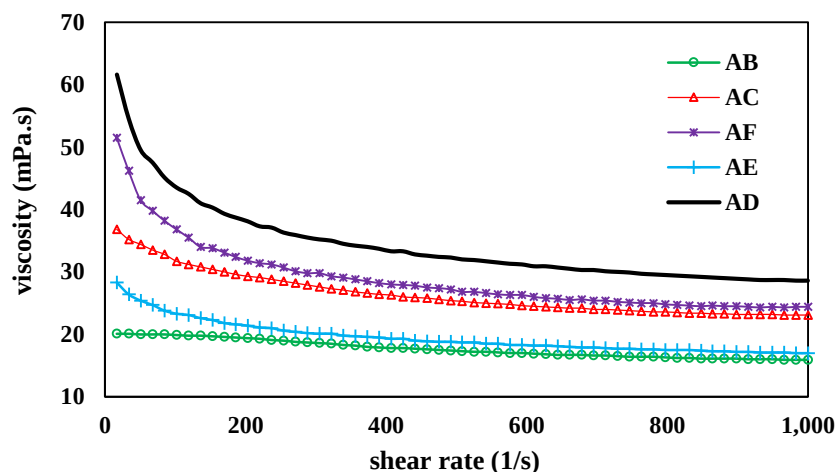
در حالی که رفتار گرانروی نمونه AC کاملاً بدون نوسان و مسطح است. از طرفی مشاهده می‌شود که نمونه AD دارای بیش‌ترین گرانروی بوده و نمونه‌های AB و AC به‌ترتیب نسبت به نمونه‌های AE و AF گرانروی کم‌تری دارند. این مشاهدات را می‌توان به فعالیت سطحی بیشتر KL6 نسبت داد که در مقایسه با KL9 از قابلیت ترک‌کردن بیشتر ذرات و همچنین کاهش بیشتر انرژی بین سطحی برخوردار بوده و به این وسیله برهم‌کنش بین ذرات را بیشتر کاهش داده و باعث یکنواختی بیشتر در پراکنه می‌شود. از طرفی اثر فعالیت سطحی بیشتر KL6 در مقایسه با KL9 بر رفتار گرانروی پراکنه در نمونه‌های AC و AF به‌وضوح مشاهده می‌شود. در مجموع به‌نظر می‌رسد که غلظت بالاتر و طول زنجیر کمتر سطح‌فعال تاثیر مطلوب‌تری بر رفتار گرانروی نمونه‌ها با زمان دارد.

۳-۵- رفتار رئولوژیکی

از مهم‌ترین مولفه‌های جوهرهای جوهرافشان که تعیین‌کننده عملکرد و چاپ‌پذیری آنها است، رفتار رئولوژیکی می‌باشد. جوهرهای جوهرافشان باید گرانروی بسیار پایین در محدوده کمتر از ۱۵ cp و با رفتار تا حد امکان نزدیک به رفتار نیوتنی داشته باشد تا از بروز پدیده‌هایی نظیر گرفتگی هد و یا تشکیل قطرات سرگردان جلوگیری به عمل آورد. شکل ۵ تغییرات گرانروی نمونه‌ها را در سرعت برشی ثابت 100 s^{-1} نشان می‌دهد.

در شکل ۵ مشاهده می‌شود نمونه AD که فاقد سطح‌فعال است رفتار گرانروی بسیار نوسانی با زمان دارد. این رفتار با شدت کمتر در نمونه AF که دارای ۰/۳۵ درصد KL9 است نیز دیده می‌شود. رفتار نوسانی خفیفی نیز در گرانروی نمونه‌های AC و AE مشاهده می‌شود.

شکل ۵: تغییرات گرانروی نمونه‌ها در سرعت برشی ثابت 100 s^{-1} .Figure 5: Viscosity variations of the samples at constant shear rate of 100 s^{-1} .



شکل ۶: رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها.

Figure 6: Rheological behavior of samples.

بهبود قدرت رنگی و کاهش اندازه ذرات می‌شود. در مقابل، K19 با ایجاد سد فضایی قوی‌تر، پایداری بلندمدت پراکنه را افزایش می‌دهد. بررسی توزیع اندازه ذرات نشان داد که نمونه‌های حاوی K16 دارای ذرات ریزتر با توزیع یکنواخت‌تری هستند. همچنین، این نمونه‌ها کشش سطحی کمتری را نشان دادند که نشان از فعالیت سطحی بالاتر K16 دارد. از جنبه رئولوژیکی، نمونه‌های حاوی K16 گرانیروی پایین‌تر و رفتار نیوتنی مطلوب‌تری از خود نشان دادند که برای کاربردهای جوهرافشان بسیار حائز اهمیت است. در غلظت‌های پایین سطح فعال، اثر طول زنجیر اتوکسیله بر پایداری پراکنه مشهود بود. درحالی‌که در غلظت‌های بالا، اثر غلظت بر طول زنجیر غالب شد. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب سطح فعال با توجه به عوامل ساختاری و غلظتی نقشی کلیدی در دستیابی به پراکنه‌های پایدار با خواص بهینه جهت تهیه جوهرهای جوهرافشان دارد.

تقدیر و تشکر

از تمامی همکاران گرامی در پژوهشگاه رنگ کمال تشکر و قدردانی را دارم که زمینه انجام تحقیق و پژوهش را فراهم می‌کنند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

رفتار رئولوژیکی نمونه‌ها در شکل ۶ نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که همه نمونه‌ها در سرعت‌های برشی بالا رفتار کاملاً نیوتنی دارند در حالی که رفتار رئولوژیکی آنها در سرعت‌های برشی پایین به خصوص در نمونه‌های AD، AF و AC رقیق‌شونده‌بارش است. ملاحظه می‌شود که با کاهش طول زنجیر اتوکسیله از شدت رفتار رئولوژیکی رقیق‌شونده با برش در سرعت‌های برشی پایین کاسته می‌شود. به طوری که نمونه AB تقریباً از رفتاری کاملاً نیوتنی در محدوده مورد مطالعه برخوردار است. از طرفی با افزایش غلظت سطح فعال رفتار نمونه‌ها نیوتنی‌تر می‌شود. سطح فعال K16 به واسطه جرم مولکولی و HLB کمتر از نظر سینتیکی فعال‌تر بوده و از این رو کشش بین سطحی را نسبت به K19 بیشتر کاهش داده و باعث کاهش بیشتر برهم‌کنش بین ذرات می‌شود. در نتیجه رفتار رئولوژیکی به نیوتنی نزدیک‌تر می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر سطح فعال‌های غیر یونی اسید اولئیک ۶ و ۹ مول اتوکسیله بر خواص پراکنه رنگزای دیسپرس آبی ۳۵۹ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که طول زنجیر اتوکسیله و غلظت سطح فعال تأثیر معناداری بر خواص نهایی پراکنه دارند. مشاهدات نشان داد که K16 با داشتن HLB پایین‌تر (۹/۹) و زنجیر کوتاه‌تر، سینتیک جذب سریع‌تری دارد و در مراحل اولیه آسیاب موجب

۵- مراجع

1. Suzuki K, Koseki K, Amari T. Dynamics of Droplet Forming in Ink Jet Printer. In: IS&Ts NIP 14: International Conference on Digital Printing Technologies. 1998;14:58-61. https://doi.org/10.2352/ISSN.2169-4451.1998.14.1.Art00014_1
2. Steenweg K, Reinhold I, Mettin T, Struck S, Voit W, Zapka W. The Influence of Surfactants on the Interfacial Tension and Droplet Formation in UV Curable Jet Inks. In: NIP25 and Digital Fabrication. 2009;307-311.

3. Sarma D, Maxwell I, Cartridge D. Improving the Performance Properties of Aqueous Based Ink-Jet. In: NIP26 and Digital Fabrication. 2010; 178-80.
4. Ren G, Wang X, Zhang Z, Zhong B, Yang L, Yang X. Characterization and synthesis of nanometer magnetite black pigment from titanium slag by microwave-assisted reduction method. *Dye Pigm.* 2017;147:24-30. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.07.068>.
5. Agbo C, Acheampong C, Zhang L, Li M, Fu SS. Preparing stable pigment dispersion utilizing polyoxyethylene lauryl ether as dispersant. *Pigment Resin Technol.* 2018;48(1):1-8. <https://doi.org/10.1108/PRT-10-2017-0081>.
6. McKay RB. Influence of organic pigment particles on millbase flow of nitro-cellulose/alcohol-rich liquid inks. *Prog Org Coat.* 1998;33(3):187-95. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(98\)00052-6](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(98)00052-6).
7. Duivenvoorde FL, Laven J, van der Linde R. Diblock copolymer dispersants in polyester powder coatings. *Prog Org Coat.* 2002;45(2):127-37. [https://doi.org/10.1016/S0300-9440\(02\)00046-2](https://doi.org/10.1016/S0300-9440(02)00046-2).
8. Lin Y, Smith TW, Alexandridis P. Adsorption of a Rake-Type Siloxane Surfactant onto Carbon Black Nanoparticles Dispersed in Aqueous Media. *Langmuir.* 2002;18(16):6147-58. [10.1021/la011671t](https://doi.org/10.1021/la011671t).
9. Won YY, Meeker SP, Trappe V, Weitz DA, Diggs NZ, Emert JI. Effect of Temperature on Carbon-Black Agglomeration in Hydrocarbon Liquid with Adsorbed Dispersant. *Langmuir.* 2005;21(3):924-32. [10.1021/la047906t](https://doi.org/10.1021/la047906t).
10. Aoki Y, Hatano A, Watanabe H. Rheology of carbon black suspensions. II. Well dispersed system. *Rheol Acta.* 2003; 42(4):321-5. [10.1007/s00397-003-0298-7](https://doi.org/10.1007/s00397-003-0298-7).
11. Aoki Y, Watanabe H. Rheology of carbon black suspensions. III. Sol-gel transition system. *Rheol Acta.* 2004;43(4):390-5. [10.1007/s00397-004-0355-x](https://doi.org/10.1007/s00397-004-0355-x).
12. Aoki Y. Rheological characterization of carbon black/polystyrene solution systems. *J Appl Polym Sci.* 2008;108(4):2660-6. <https://doi.org/10.1002/app.27650>.
13. Huang J, Shen F, Li X, Zhou X, Li B, Xu R, et al. Chemical modification of carbon black by a simple non-liquid-phase approach. *J Colloid Interface Sci.* 2008;328(1):92-97. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.08.044>.
14. Jiang Z, Jin J, Xiao C, Li X. Effect of surface modification of carbon black (CB) on the morphology and crystallization of poly(ethylene terephthalate)/CB masterbatch. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2012;395:105-15. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2011.12.013>.
15. Nsib F, Ayed N, Chevalier Y. Selection of dispersants for the dispersion of carbon black in organic medium. *Prog Org Coatings.* 2006;55(4):303-310. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2005.11.006>.
16. Siebold A, Nardin M, Schultz J, Walliser A, Oppliger M. Effect of dynamic contact angle on capillary rise phenomena. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2000;161(1):81-87. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(99\)00327-1](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(99)00327-1).
17. Sis H, Birinci M. Wetting and rheological characteristics of hydrophobic organic pigments in water in the presence of non-ionic surfactants. *Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp.* 2014;455:58-66. [10.1016/j.colsurfa.2014.04.042](https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.04.042).
18. Douillard JM, Pougnet S, Faucompre B. The Adsorption of Polyoxyethylenated Octyl and Nonylphenol Surfactants on Carbon Black and Sulfur from Aqueous Solutions. 1992; 154(1). [https://doi.org/10.1016/0021-9797\(92\)90083-X](https://doi.org/10.1016/0021-9797(92)90083-X).
19. Jalili M, Mohammad Raei Naeini M, Bastani S, Ajili N. Optimizing the Surfactant/Polymeric Dispersant Combination in Pigment-Based Aqueous Inkjet Inks. *Prog Color Color Coatings.* 2025;18(2):177-88. https://pccc.icrc.ac.ir/article_82040.
20. Jalili M, Mohammad Raei Naeini M. Sublimation Inkjet Ink Stability via Optimized Surfactant-Dispersant Levels. *J Appl Res Chem -Polymer Eng.* Accepted for publication.

How to cite this article:

Jalili M. Investigation of the Effects of Ethoxylated Surfactants on the Nano-dispersion Properties of Disperse Blue 359 for Inkjet Ink Applications. *J Color Sci Tech.* 2025;19(3):271-280. <https://doi.org/10.30509/jcst.2025.167722.1276> [In Persian]