

مزایای اقتصادی استفاده از رنگ های پلی یورتان نانو



شناسنامه

ستاد توسعه فناوری‌های نانو و میکرو

گروه رصد و تولید محتوای بخش ترویج صنعتی

طراحی و اجرا:	توسعه فناوری مهریژن	تلفن:	۰۲۱-۶۳۱۰۰
نظارت:	داود قرابلو	نمابر:	۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰
صندوق پستی:	۱۴۵۶۵-۳۴۴	پایگاه اینترنتی:	www.nano.ir www.INDnano.ir
پست الکترونیک:	IND@nano.ir	اینستاگرام نانو و صنعت:	@INDnano.ir
سال انتشار:	۱۴۰۳	اشکان عبدشاهی، سروش صحرانیان	
نویسندگان:			

محتوای صنعتی و فناوری خود را از طریق پست الکترونیک و پایگاه اینترنتی نانو و صنعت (INDnano.ir) ارسال نمایید.

فهرست مطالب

معرفی.....	۳
مزایا.....	۵
تحلیل هزینه-فایده استفاده از رنگ‌های پلی‌یورتان حاوی نانوذرات.....	۶
شرکت‌های ایرانی تولیدکننده رنگ پلی‌یورتان نانویی.....	۱۰
پی‌نوشت‌ها.....	۱۱
منابع.....	۱۱

معرفی

رنگ‌های پلی‌یورتان یکی از انواع رنگ‌های بسیار مقاوم به شمار می‌روند که در برابر تابش خورشید، شرایط جوی سخت و سایش‌های مختلف تحمل بالایی دارند. این رنگ‌ها معمولاً به عنوان لایه نهایی و حفاظتی بر روی سطوح استفاده می‌شوند و ویژگی‌هایی مانند چسبندگی قوی به سطوح مختلف و مقاومت عالی در برابر رطوبت از بارزترین خصوصیات آن‌ها به حساب می‌آید [۱]. این رنگ‌ها معمولاً از دو جزء تشکیل می‌شوند: یک بخش رزینی و یک بخش سخت‌کننده. زمانی که این دو جزء به نسبت مشخص ترکیب شوند، واکنش‌های شیمیایی به وقوع می‌پیوندد که منجر به ایجاد یک پوشش مستحکم و مقاوم می‌شود [۲]. علت استفاده از رنگ‌های پلی‌یورتان، نیاز به پوشش‌های قوی و پایدار در پروژه‌های مختلف است، چرا که این رنگ‌ها به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی عالی خود، قابلیت چسبندگی به سطوح مختلفی همچون چوب، فلز و بتن را دارند و می‌توانند در برابر تغییرات دما، رطوبت و فشارهای مکانیکی مقاوم باشند [۳]. این ویژگی‌ها به معماران و سازندگان این امکان را می‌دهد که در طراحی و ساخت سازه‌ها از رنگ‌های با کیفیت و دوام بالا استفاده کنند.

رنگ‌های پلی‌یورتان عمدتاً به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند که هر کدام کاربردهای ویژه‌ای دارند:

- **الاستومرها:** این نوع از رنگ‌ها به دلیل خاصیت الاستیکی بالا، تحت فشارهای مختلف شکل خود را حفظ می‌کنند و به طور مؤثر در شرایط مختلف عمل می‌نمایند [۴].
- **ترموپلاستیک‌ها:** این رنگ‌ها سطحی صیقلی دارند و از ورود مایعات جلوگیری می‌کنند. آن‌ها به ویژه در محیط‌های تشنه‌اکه نیاز به دوام زیادی وجود دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۵].

رنگ‌های پلی‌یورتان به طور گسترده در صنعت ساختمان و دکوراسیون داخلی استفاده می‌شوند. برخی از کاربردهای آن‌ها شامل موارد زیر است [۶]:

- **پوشش‌دهی سطوح چوبی:** این رنگ‌ها برای پوشش‌دهی مبلمان، درها و پنجره‌ها استفاده می‌شوند و از چوب در برابر رطوبت و آسیب‌های محیطی محافظت می‌کنند.
- **رنگ آمیزی فلزات:** در صنایع مختلف مانند سقف‌های فلزی رنگ‌های پلی‌یورتان به عنوان یک گزینه ایدئال برای پوشش‌دهی سطوح فلزی مورد استفاده قرار می‌گیرند و از زنگ‌زدگی و تخریب سطحی جلوگیری می‌کنند.
- **استفاده در پروژه‌های صنعتی:** این رنگ‌ها در محیط‌های صنعتی برای پوشش‌دهی ماشین‌آلات و تجهیزات نیز کاربرد دارند و می‌توانند در برابر مواد شیمیایی و سایش مقاومت کنند.
- **دکوراسیون داخلی:** رنگ‌های پلی‌یورتان به عنوان رنگ‌های تزئینی برای دیوارها و سقف‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند و جلوه‌ای زیبا به فضا می‌بخشند.
- **هوافضا:** در ساخت و پوشش قطعات داخلی هواپیماها، برای افزایش عمر و بهبود عملکرد سطوح از رنگ‌های پلی‌یورتان استفاده می‌شود.
- **کشتی‌سازی:** این رنگ‌ها به منظور عایق‌سازی، جلوگیری از نفوذ آب به بدن کشتی و حفاظت در برابر خوردگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
- **خطوط لوله:** برای محافظت از خطوط لوله نفت و گاز، از پوشش‌های پلی‌یورتان بهره می‌برند که برخی از این لوله‌ها در زیر آب و برخی دیگر در بالای سطح قرار دارند.

رنگ‌های قدیمی‌تر به دلیل محدودیت‌های موجود در خواص مکانیکی خود، چالش‌های بسیاری را در هنگام استفاده به همراه داشتند. یکی از معایب اصلی این رنگ‌ها، میزان پایین مقاومت در برابر ساییش و خراش بود که به معنای نداشتن خواص مقاومتی مطلوب در برابر انواع آسیب‌های مکانیکی است [۷]. این کمبود مقاومت باعث می‌شود که رنگ‌های قدیمی به راحتی دچار آسیب شوند و نتوانند فشارهای وارده را به‌طور مؤثر تحمل کنند. همچنین، حساسیت به دما و رطوبت یکی دیگر از مشکلات اصلی بود، به‌طوری‌که بسیاری از این رنگ‌ها با تغییرات دما و رطوبت، خاصیت خود را از دست داده و دچار پوسته‌پوسته شدن می‌شدند [۸]. این ضعف‌ها منجر به آسیب‌های زودرس و کاهش کیفیت پوشش می‌شد، که در نهایت زیبایی و استحکام سازه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌داد.

با پیشرفت‌های انجام شده در زمینه فناوری نانو، فرصت‌هایی نوین برای بهبود خواص رنگ‌های پلی‌یورتان فراهم آمده است. افزودن نانوذرات به فرمولاسیون این رنگ‌ها می‌تواند به‌طور محسوسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را ارتقا بخشد [۹]. افزودن انواع گوناگونی از نانوذرات به‌عنوان عاملی مؤثر در رنگ‌های پلی‌یورتان، می‌تواند ویژگی‌های عملکردی و کیفی این رنگ‌ها را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد. در همین راستا، انواع مختلفی از نانوذرات وجود دارند که معمولاً به این رنگ‌ها اضافه می‌شوند و شامل مواردی همچون نانوذرات سیلیکایی، نانوذرات اکسیدروی، نانوذرات اکسید تیتانیوم، نانوذرات کربنی، نانوذرات نقره و... می‌شوند [۹].

نانوذرات به دلیل اندازه کوچک و نسبت بالای سطح به حجم، ویژگی‌های خاصی از خود نشان می‌دهند که می‌توانند بهبودهای قابل توجهی در خواص مواد به ارمغان آورند. نانوذرات به‌طور گسترده‌ای بر خواص رنگ‌های پلی‌یورتان تأثیر می‌گذارند و باعث بهبود ویژگی‌های آن‌ها می‌شوند [۱۰].

یکی از مهم‌ترین مزایای نانوذرات، افزایش مقاومت در برابر ساییش است (همچون نانوذرات سیلیکایی) [۱۰]. [۷]. این نانوذرات به‌عنوان تقویت‌کننده‌های ساختاری عمل کرده و با ایجاد پیوندهای قوی‌تر در شبکه رنگ، استحکام کششی و فشاری را افزایش می‌دهند [۱۰]. این پیوندهای بین‌ذره‌ای در مقیاس نانو، توزیع تنش بهتر در رنگ را ممکن می‌سازد و مانع از خرابی زودرس می‌شود.

علاوه بر این، نانوذرات می‌توانند به کاهش نفوذپذیری رنگ کمک کنند. وقتی که نانوذرات به رنگ اضافه می‌شوند، ساختارهای متراکم و غیرقابل نفوذی ایجاد می‌کنند که مانع از ورود رطوبت و سایر مواد مضر به داخل رنگ می‌شوند [۱۲]. این خاصیت به‌ویژه در محیط‌های مرطوب اهمیت دارد.

نانوذرات گوناگونی همچون نانوذرات کربنی می‌توانند مقاومت حرارتی رنگ را بهبود بخشند [۱۲]. نمونه‌هایی از نانوذرات مانند نانو سیلیکون دی‌اکسید و نانو آلومینا دارای خواص حرارتی خوبی هستند و می‌توانند شبکه‌های حرارتی را در رنگ تشکیل دهند که از تغییرات ساختاری در دماهای بالا جلوگیری کرده و استحکام رنگ را حفظ می‌کنند [۱۳].

در زمینه مقاومت در برابر UV، نانوذرات مختلفی از جمله نانوذرات اکسیدروی و نانوذرات اکسید تیتانیوم با جذب و پراکنده کردن اشعه‌های UV می‌توانند از تخریب و تجزیه رنگ در معرض نور خورشید جلوگیری کنند [۱۴]. این ویژگی به‌ویژه برای کاربردهای بیرونی اهمیت دارد، زیرا نور UV می‌تواند به تدریج ساختار پلیمرها را تضعیف کند. همچنین نانوذرات به دلیل سطح بالای ویژگی چسبندگی خود، می‌توانند به شکل بهتری با سطوح مختلف (مانند چوب، فلز و بتن) پیوند برقرار کنند و این امر به افزایش دوام و استحکام پوشش کمک می‌کند [۱۵].

از طرفی نانوذرات دیگری همچون نانوذرات نقره می‌توانند بر پایداری شیمیایی رنگ تأثیر بگذارند و واکنش‌های نامطلوب شیمیایی را کاهش دهند تا از آسیب دیدن مواد در شرایط محیطی مختلف جلوگیری کنند [۱۶]. علاوه بر این، نانوذرات می‌توانند ساختار میکروسکوپی رنگ را بهبود بخشیده و توزیع مولکول‌ها را در داخل ماتریس رنگ تغییر دهند [۱۷]. این تأثیر می‌تواند باعث توزیع بهینه‌تر تنش‌ها و بهبود خواص مکانیکی رنگ شود. به این ترتیب، نانوذرات می‌توانند به افزایش طول عمر و کارایی رنگ‌های پلی‌یورتان کمک کنند. در نهایت، استفاده از نانوذرات در ترکیبات رنگ‌های پلی‌یورتان نه تنها خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را بهبود می‌بخشد، بلکه به تولید رنگ‌هایی با کیفیت بالا و عملکرد بهتر در برابر چالش‌های محیطی منجر می‌شود. این تأثیرات شامل بهبود مقاومت مکانیکی، افزایش پایداری نوری به‌ویژه در برابر اشعه UV، کاهش نفوذپذیری رنگ به مایعات و رطوبت، خواص ضد میکروبی با جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها و افزایش چسبندگی رنگ به سطوح مختلف است. در نتیجه، نانوذرات می‌توانند عملکرد کلی رنگ‌های پلی‌یورتان را بهبود بخشیده و آن‌ها را برای استفاده در شرایط مختلف و سخت مناسب‌تر کنند. این پیشرفت‌ها به سازندگان و طراحان این امکان را می‌دهد که با اطمینان بیشتری از رنگ‌های پلی‌یورتان در پروژه‌های مختلف استفاده کنند و به استانداردهای بالاتری در صنعت رنگ و پوشش دست یابند.



شکل ۱- تصویر انواع رنگ‌های پلی‌یورتان

مزایا

از بارزترین نکات مثبتی که در صورت استفاده از نانوذرات در رنگ‌های پلی‌یورتان می‌توان نام برد، عبارت‌اند از: **■ بهبود مقاومت مکانیکی**
 اضافه کردن نانوذرات می‌تواند باعث افزایش سختی و مقاومت در برابر سایش و ضربه رنگ شود [۷].

■ افزایش پایداری نوری
 نانوذرات می‌توانند به‌ویژه در برابر اشعه UV مقاومت رنگ را افزایش دهند که این موضوع به حفظ رنگ و کیفیت آن در برابر تابش آفتاب کمک می‌کند [۱۴].

■ کاهش نفوذپذیری
 با افزودن نانوذرات، خصوصیات ضد نفوذ رنگ بهبود یافته و از نفوذ رطوبت و مایعات جلوگیری می‌شود [۱۱].

■ خواص ضد میکروبی

نانوذرات مانند نقره خاصیت ضد باکتریایی را به رنگ می‌دهند که از رشد میکروارگانیسم‌ها جلوگیری می‌کند [۱۶].

■ افزایش چسبندگی

نانوذرات می‌توانند به چسبندگی رنگ به سطوح مختلف کمک کنند و به این ترتیب عمر مفید آن‌ها را افزایش دهند [۱۵].

■ بهبود مقاومت حرارتی

نانوذرات می‌توانند با تشکیل شبکه‌های حرارتی در رنگ که مانع از تغییرات ساختاری در دماهای بالا می‌شود، استحکام رنگ را حفظ نمایند و در نهایت مقاومت حرارتی رنگ را بهبود بخشند [۱۲].

در نتیجه، افزودن نانوذرات به رنگ‌های پلی‌یورتان می‌تواند عملکرد کلی این رنگ‌ها را بهبود بخشد و آن‌ها را برای استفاده در شرایط متفاوت و سخت مناسب‌تر کند.



➤ شکل ۲- مزایای استفاده از نانوذرات در رنگ‌های پلی‌یورتان

تحلیل هزینه-فایده استفاده از رنگ‌های پلی‌یورتان حاوی نانوذرات

در جدول ۱ به مقایسه دو نوع رنگ پلی‌یورتان سفید براق نانویی و غیرنانویی موجود در بازار پرداخته شده است که تمامی مشخصات موجود در آن، در طی تماس با واحد فروش هر شرکت در به دست آمده و ذکر شده‌اند.

➤ جدول ۱- مشخصات دو نوع رنگ پلی‌یورتان نانویی و غیر نانویی

نوع رنگ	زمان ماندگاری (Shelf life) (ماه)	ضخامت فیلم خشک (DFT) (میکرومتر)	جامد حجمی (Volume Solid) (%)	زمان خشک شدن کامل در ۲۵°C (ساعت)	مقاومت در برابر حرارت (پوسته) (m ² /L)	پوشش تئوری (m ² /L)
رنگ پلی‌یورتان نانویی	۶ ماه	۵۰	۴۵±۲	۱۲	۱۲۰°C	۹

ادامه جدول ۱- مشخصات دو نوع رنگ پلی یورتان نانویی و غیر نانویی

نوع رنگ	زمان ماندگاری (Shelf life) (ماه)	ضخامت فیلم خشک (DFT) (میکرومتر)	جامد حجمی (Volume Solid) (%)	زمان خشک شدن کامل در ۲۵°C (ساعت)	مقاومت در برابر حرارت (پوسته)	پوشش تئوری (m ² /L)
رنگ پلی یورتان غیرنانویی	۶ ماه	۴۰	۴۴±۲	۱۶	۱۰۰°C	۸

مطابق با جدول ۱، زمان ماندگاری که بیانگر مدت زمانی است که رنگ مدنظر می تواند عملکرد بهینه خود را حفظ کند، برای هر دو نوع رنگ پلی یورتان نانویی و غیرنانویی ۶ ماه است. همچنین ضخامت فیلم خشک تشکیل شده بر روی سطح پس از رنگ آمیزی، برای رنگ پلی یورتان نانویی به میزان ۱۰ میکرومتر بیشتر از رنگ پلی یورتان غیرنانویی است که عموماً به معنای پوشش دهی بهتر، مقاومت بیشتر در برابر شرایط محیطی و سایش، و دوام طولانی تر رنگ پلی یورتان نانویی است.

از طرفی، درصد جامد حجمی (Volume Solid) در رنگ ها که نشان دهنده غلظت و مقدار ماده جامد در رنگ است و افزایش آن عموماً باعث پوشش دهی بهتر، دوام بیشتر و کاهش نیاز به حلال می شود، برای رنگ پلی یورتان نانویی نسبت به نوع غیرنانویی به طور تقریبی ۱ درصد بیشتر است که نشان از برتری رنگ پلی یورتان نانویی نسبت به همتای خود دارد.

همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده، زمان خشک شدن کامل در دمای محیط (۲۵°C)، برای رنگ پلی یورتان نانویی به میزان ۴ ساعت کمتر از نوع غیرنانویی است که حاکی از سریع تر خشک شدن رنگ نانویی در مقایسه با نوع غیرنانویی و افزایش سرعت عمل در به کارگیری رنگ نانویی دارد. رنگ پلی یورتان نانویی دارای مقاومت در برابر حرارت به صورت ناپیوسته بیشتری به میزان ۲۰°C نسبت به رنگ پلی یورتان غیرنانویی است که آن را برای کاربردهایی با تحمل دمای بالاتر، بسیار ایدئال تر می سازد.

در انتها بایستی اشاره کرد که به ازای مصرف ۱ لیتر از هر دو نوع رنگ پلی یورتان (که دارای وزنی معادل تقریباً ۱ کیلوگرم هستند)، رنگ پلی یورتان غیرنانویی قادر به رنگ آمیزی سطحی به میزان ۸ مترمربع است، حال آنکه رنگ پلی یورتان نانویی ۱ مترمربع بیشتر از این میزان، یعنی ۹ مترمربع را قادر است رنگ آمیزی نماید. در واقع این ویژگی نیز یک امتیاز مثبت دیگر برای رنگ پلی یورتان نانویی در مقایسه با نوع غیرنانویی است که سبب می شود به ازای حجم یکسانی از هر دو نوع رنگ، سطح مقطع بیشتری را به ازای مصرف رنگ پلی یورتان نانویی در مقایسه با رنگ غیرنانویی، رنگ آمیزی کرد.

در جدول ۲، لیست قیمت دو محصول رنگ پلی یورتان نانویی و غیرنانویی مقاوم به شرایط نامساعد هوایی و مقاوم در برابر نفوذ رطوبت و خوردگی به ازای ۱ کیلوگرم از هر محصول ذکر شده است، که از اطلاعات آن می توان به عنوان مقایسه ای از نوع هزینه فایده برای دو نوع رنگ پلی یورتان معمولی و پلی یورتان تولید شده بر پایه نانوذرات استفاده کرد.

جدول ۲- فرضیات تحلیل هزینه فایده^۱

نوع	قیمت ۱ کیلوگرم (تومان)
رنگ پلی‌یورتان نانویی	۸۵۰,۰۰۰
رنگ پلی‌یورتان غیرنانویی	۱,۱۴۲,۰۰۰

در جدول ۳ نیز به بررسی هزینه-فایده استفاده از دو نوع رنگ پلی‌یورتان نانویی و غیرنانویی پرداخته شده است که شامل اطلاعاتی از قبیل قیمت، میانگین عمر مفید و میزان درصد حجمی بهینه شده این دو نوع محصول است. همچنین برای انجام مقایسه میزان عمر مفید و قیمت هر یک از رنگ پلی‌یورتان های نانویی و غیرنانویی، از رابطه درصد حجمی زیر استفاده می‌شود.

فرمول درصد حجمی بهینه شده برابر است با:

$$P_i = \frac{\sum C_w - \sum C_n}{\sum C_w} \times 100 \quad (1)$$

P_i : درصد حجمی بهینه شده در صورت استفاده از رنگ پلی‌یورتان نانویی؛

C_w : هزینه موارد با فناوری نانو؛

C_n : هزینه موارد بدون فناوری نانو.

به عنوان مثال، درصد حجمی بهینه شده قیمت دو نوع رنگ پلی‌یورتان نانویی و غیرنانویی به روش زیر محاسبه می‌شود:

$$P_i = \frac{850,000 - 1,142,000}{850,000} \times 100 = -34,3\% \quad (2)$$

جدول ۳- بررسی هزینه - فایده استفاده از رنگ‌های پلی‌یورتان نانوساختار و غیرنانوساختار

نوع	وزن (کیلوگرم)	قیمت کل (تومان)	میانگین زمان ماندگاری (ماه)	درصد حجمی بهینه شده	
				خرید رنگ پلی‌یورتان	عمر ماندگاری
رنگ پلی‌یورتان نانوساختار	۱	۸۵۰,۰۰۰	۶	-۳۴,۳٪	°
رنگ پلی‌یورتان غیرنانوساختار	۱	۱,۱۴۲,۰۰۰	۶		
اختلاف قیمت و عمر ماندگاری				۲۹۲,۰۰۰ تومان	°

همان طور که از جدول ۳ پیداست، کارایی و زمان ماندگاری هر دو نوع رنگ پلی یورتان نانویی و غیرنانویی یکسان و برابر با ۶ ماه است که از این حیث هر دو نوع رنگ طول عمر بهره‌وری یکسانی دارند. از طرفی رنگ پلی یورتان نانویی به میزان ۲۹۲,۰۰۰ تومان (۳۴,۳٪) از رنگ پلی یورتان غیرنانویی ارزان تر است که به نوبه خود یکی از بارزترین شاخص‌های مفید رنگ پلی یورتان نانویی در مقابل رنگ پلی یورتان غیرنانویی به حساب می‌آید. حال برای آنکه این میزان اختلاف قیمتی را بهتر متوجه بشویم، از آنجا که مساحت یک پالایشگاه یا پتروشیمی متوسط معمولاً بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ هکتار متغیر است (به طور مثال مساحت پتروشیمی بندر امام نزدیک به ۲۷۰ هکتار است) [۱۸]، جهت رنگ‌آمیزی اجزای مختلفی که در معرض رطوبت قرار دارند، می‌توان به طور تقریبی چند مورد زیر را در نظر گرفت:

■ ساختمان‌ها و تأسیسات: شامل مخازن، برج‌های تقطیر و ساختمان‌های اداری که معمولاً نیاز به رنگ‌آمیزی دارند.

■ لوله‌کشی و تجهیزات: شامل لوله‌ها، شیرآلات و تجهیزات دیگر که در معرض رطوبت هستند.

با این اوصاف اگر به طور تقریبی فرض کنیم که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از کل مساحت یک پتروشیمی متوسط (مثلاً همان پتروشیمی بندر امام با مساحت ۲۷۰ هکتار) نیاز به رنگ‌آمیزی داشته باشد، می‌توان گفت که حدود ۵۴ تا ۸۱ هکتار (۵۴۰,۰۰۰ تا ۸۱۰,۰۰۰ مترمربع) باید در نظر گرفته شود که میانگین این مساحت یعنی ۶۷,۵ هکتار (۶۷۵,۰۰۰ مترمربع) را به عنوان مساحت پیشنهادی جهت رنگ‌آمیزی تجهیزات در نظر می‌گیریم.^۲ حال از آنجا که هر ۱ کیلوگرم از هر دو نوع رنگ پلی یورتان نانویی و غیرنانویی به ترتیب مساحتی معادل ۸ و ۹ مترمربع را می‌تواند پوشش دهد، می‌توان مقدار مورد نیاز از هر یک از رنگ‌های نامبرده را مطابق با رابطه زیر محاسبه کرد:

$$(۳) \quad \text{میزان مصرف رنگ پلی یورتان نانویی به ازای } ۶۷۵,۰۰۰ \text{ مترمربع} = \frac{۶۷۵,۰۰۰}{۹} = ۷۵,۰۰۰ \text{ kg}$$

$$(۴) \quad \text{میزان مصرف رنگ پلی یورتان غیرنانویی به ازای } ۶۷۵,۰۰۰ \text{ مترمربع} = \frac{۶۷۵,۰۰۰}{۸} = ۸۴,۳۷۵ \text{ kg}$$

اکنون قیمت تمام شده رنگ‌آمیزی با استفاده از دو نوع رنگ پلی یورتان نانویی و غیرنانویی به ازای مساحتی معادل ۶۷۵,۰۰۰ مترمربع (برحسب تومان) را به شرح زیر محاسبه می‌کنیم:

$$(۵) \quad ۷۵,۰۰۰ \times ۸۵۰,۰۰۰ = ۶۳,۷۵۰,۰۰۰,۰۰۰ \text{ هزینه تمام شده رنگ پلی یورتان نانویی به ازای } ۶۷۵,۰۰۰ \text{ مترمربع}$$

$$(۶) \quad ۸۴,۳۷۵ \times ۱,۱۴۲,۰۰۰ = ۹۶,۳۵۶,۲۵۰,۰۰۰ \text{ هزینه تمام شده رنگ پلی یورتان غیرنانویی به ازای } ۶۷۵,۰۰۰ \text{ مترمربع}$$

این رقم‌ها بدین معنی است که به ازای هر ۶۷۵,۰۰۰ مترمربع رنگ‌آمیزی تجهیزات یک پتروشیمی، در صورت استفاده از رنگ پلی یورتان نانویی به جای رنگ پلی یورتان غیرنانویی، به میزان ۳۲,۶۰۶,۲۵۰,۰۰۰ تومان (به ارزش پول امروز) مطابق با رابطه زیر، صرفه جویی ارزی در خرید رنگ پلی یورتان برای مصرف‌کننده صورت گرفته است:

$$C_1 = 75,000 \times 850,000 = 63,750,000,000 \quad (7)$$

$$C_2 = 84,375 \times 850,000 = 71,718,750,000 \quad (8)$$

$$\Delta C = 71,718,750,000 - 63,750,000,000 = 7,968,750,000 \quad (9)$$

C_1 = هزینه رنگ‌کاری با استفاده از رنگ پلی‌یورتان نانویی به ازای ۶۷۵,۰۰۰ مترمربع از تجهیزات یک پتروشیمی
 C_2 = هزینه رنگ‌کاری با استفاده از رنگ پلی‌یورتان غیرنانویی به ازای ۶۷۵,۰۰۰ مترمربع از تجهیزات یک پتروشیمی
 ΔC = تفاوت هزینه رنگ پلی‌یورتان نانویی و غیرنانویی به ازای ۶۷۵,۰۰۰ مترمربع از تجهیزات یک پتروشیمی
 حال اگر بر اساس آمار، تعداد پتروشیمی‌های فعال در سطح کشور را ۶۸ مورد در نظر بگیریم و متراژ ۶۷۵,۰۰۰ مترمربعی را به‌طور میانگین برای هر کدام از این پتروشیمی‌ها فرض کنیم و با فرض اینکه تنها نیمی از این تعداد پتروشیمی‌ها قصد رنگ‌آمیزی تجهیزات خود جهت مراقبت از رطوبت و خوردگی را داشته باشند، در صورت استفاده از رنگ پلی‌یورتان نانویی به جای سایر انواع دیگر می‌توان میزان صرفه‌جویی ارزی (برحسب تومان) حاصل از استفاده از این نوع رنگ‌های نانویی را به شرح زیر محاسبه کرد [۱۹]:

$$(10) \quad 1,108,612,500,000 = 32,606,250,000 \times (1/2) \times 68 = \text{میزان تفاوت قیمت دو محصول نانویی و غیرنانویی}$$

این رقم بدین معنی است که اگر میانگین هزینه مورد نیاز جهت ساخت یک مدرسه با ۶ کلاس درس را مبلغی نزدیک به ۹,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ تومان تصور کنیم، تنها با استفاده از مابه‌التفاوت رنگ پلی‌یورتان نانویی و غیرنانویی مورد استفاده در پتروشیمی‌های فعال در سطح کشور که مطابق با رابطه (۱۰) به دست آمده است، می‌توان تعداد ۱۲۳ مدرسه ۶ کلاسه جدید ساخت و تحویل جامعه داد [۲۰]:

$$(11) \quad 123 = 1,108,612,500,000 \div (9,000,000,000) = \text{تعداد مدرسه ۶ کلاسه جدید ساخته شده}$$

شرکت‌های ایرانی تولیدکننده رنگ پلی‌یورتان نانویی



۱- شرکت رنگ ترک تزئینی آسیا

نشانی: تهران، خیابان فاطمی غربی، خیابان سیندخت شمالی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۸۰۰۱

رایانامه: info@crackpaint.com

وب‌گاه: www.crackpaint.com



۲- شرکت تولیدی صنعتی پکاشیمی

نشانی: تهران، کیلومتر ۳۵ اتوبان تهران-قم، شهرک صنعتی

شمس‌آباد، بلوار بهارستان، فاز ۴، روبه‌روی خیابان بوعلی سینا، قطعه ۵۵ tm

تلفن: ۰۲۱-۸۳۲۵۰۰۰

رایانامه: zeinal@pekachemie.com

وب‌گاه: www.pekachemie.com



۳- شرکت رنگسازی سیکلمه

نشانی: خراسان رضوی، مشهد، شهرک صنعتی توس،

فاز ۲، اندیشه ۳، دانش ۲

تلفن: ۰۵۱-۳۵۴۱۰۴۵۸

رایانامه: info@siklameh.com

وبگاه: www.siklameh.com



۴- شرکت تولیدی صنعتی و شیمیایی گیتی آسا

نشانی: اصفهان، کیلومتر پنج بزرگراه آزادگان،

مقابل پالایشگاه، خیابان ۲۳

تلفن: ۰۳۱-۳۳۸۰۲۴۹۷

رایانامه: info@gitiassa.com

وبگاه: www.gitiassa.com



۵- شرکت بهسان اکسیر فام

نشانی: تهران، خیابان میرزای شیرازی،

نبش خیابان هجدهم، پلاک ۱، واحد ۶

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۳۳۷۵۹

رایانامه: pfarahani1359@gmail.com

وبگاه: www.behsannano.com

پی‌نوشت‌ها

۱- قیمت‌ها مربوط به سال ۱۴۰۳ است.

۲- این مقدار می‌تواند بسته به طراحی خاص و نوع تجهیزات متفاوت باشد، اما این یک تخمین کلی است. برای برآورد دقیق‌تر، نیاز به جزئیات بیشتری از طرح و تجهیزات خاص آن پتروشیمی خواهد بود.

منابع

۱- N. Raju, "Structural engineering of polyurethane coatings for high performance applications," Prog. Polym. Sci., 2007, doi: <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2006.05.003>.

۲- J. Fang Xue, Dongmei Jia, "Facile preparation of a mechanically robust superhydrophobic acrylic polyurethane coating," J. Mater. Chem. A, 2015, doi: <https://doi.org/10.1039/C5TA02780B>.

۳- B. G. Krzysztof Kowalczyk, "Preparation and characterization of anticorrosion polyurethane paints and coatings based on novel Zn-free phosphates," J. Coatings Technol. Res., 2014.

- ۴ C. Hepburn, Polyurethane elastomers. 2011.
- ۵ Nitthiyah Jeyaratnama and M. R. Islam, "Type of thermoplastic polyurethane paints," RSC Adv., 2016, doi: <https://doi.org/10.1039/C6RA14525F>.
- ۶ A. Das and P. Mahanwar, "A brief discussion on advances in polyurethane applications," Adv. Ind. Eng. Polym. Res., 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.07.002>.
- ۷ Y. Bautista, J. Gonzalez, J. Gilabert, M. J. Ibañez, and V. Sanz, "Low level of wear and scratch resistance of polyurethane paints," Prog. Org. Coatings, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.09.022>.
- ۸ S.F. Zhang, R.M. Wang, Y.F. He, P.F. Song, and Z.M. Wu, "Waterborne polyurethane-acrylic copolymers crosslinked core-shell nanoparticles for humidity-sensitive coatings," Prog. Org. Coatings, 2013, doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.01.003>.
- ۹ "Synthesis of ZnO nanoparticles and studying its influence on the antimicrobial, anticorrosion and mechanical behavior of polyurethane composite for surface coating," Dye. Pigment., 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2015.05.037>.
- ۱۰ S. More, "Abrasion resistance of acrylic polyurethane coatings reinforced by nano-silica," Prog. Org. Coatings, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.07.034>.
- ۱۱ W. Suter, "Polyurethane Adhesive Nanocomposites as Gas Permeation Barrier," Macromolecules, 2003, doi: <https://doi.org/10.1021/ma035077x>.
- ۱۲ "Robust superhydrophobic coating with carbon nanotubes and silica nanoparticles in the matrix of fluorinated polyurethane," Surfaces and Interfaces, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2024.103890>.
- ۱۳ D. J. Mills, S. S. Jamali, and K. Paprocka, "Investigation into the effect of nano-silica on the protective properties of polyurethane coatings," Surf. Coatings Technol., 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.08.056>.
- ۱۴ S. Saha, D. Kocaefe, C. Krause, and T. Larouche, "Effect of titania and zinc oxide particles on acrylic polyurethane coating performance," Prog. Org. Coatings, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2010.09.021>.
- ۱۵ N. Karak, "Polymer Nanocomposites for Adhesive, Coating, and Paint Applications," Prop. Appl. Polym. Nano-composites, 2016.
- ۱۶ M. S. Z. Farrokhi, A. Ayati, M. Kanvisi, "Recent advance in antibacterial activity of nanoparticles contained polyurethane," 2018, doi: <https://doi.org/10.1002/app.46997>.
- ۱۷ L. Liangsong Cheng, "The use of nanoparticles in polyurethane paints to improve the microscopic structure of renA," 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/polym12020407>.
- ۱۸ www.wikipedia.org
- ۱۹ <https://petrofan.iotbiz.ir>
- ۲۰ <https://www.jahannews.com/news/875538/>