

معرفی رزین اپوکسی: ویژگی‌ها، کاربردها و نحوه‌ی کار با رزین اپوکسی

## چکیده

اگرچه رزین‌های اپوکسی در اوایل دهه 1890 وجود داشتند اما استفاده از آن‌ها از اوایل سال 1950 رواج یافت. رزین‌های اپوکسی به دلیل خواص مکانیکی برجسته، استحکام چسبندگی بالا، مقاومت حرارتی خوب و مقاومت الکتریکی بالا، مورد توجه بسیاری از دانشمندان قرار گرفته اند و به طور گسترده در کاربردهای مختلفی همچون پوشش‌ها، محصولات الکترونیکی، چسب، کامپوزیت‌های تقویت شده با الیاف و صنایع تزئینی استفاده می‌شوند. خواص نهایی سیستم پخت شده تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع رزین اپوکسی، عامل پخت و فرآیند پخت می‌باشد. بر همین اساس شناخت هر چه بهتر رزین‌های اپوکسی و نحوه‌ی دستیابی به خواص نهایی مورد نیاز، اولین قدم در کار با رزین اپوکسی می‌باشد. هدف این مقاله معرفی رزین‌های اپوکسی، ویژگی‌های آن، انتخاب رزین مناسب برای پروژه‌های مختلف، چالش‌ها و باید و نبایدهای کار با این ماده‌ی شیمیایی می‌باشد.

## مقدمه:

رزین اپوکسی به نوعی از پیش پلیمرهای واکنش پذیر و حاوی گروه‌های اپوکساید اطلاق می‌شود. این رزین‌ها با حضور کاتالیزورها و یا با بسیاری از واکنش دهنده‌ها مانند آمین‌ها، فنل‌ها، تیول‌ها و غیره واکنش می‌دهند و پس از ایجاد پیوندهای عرضی به پلیمری سخت و سفت تبدیل می‌شوند. این رزین کاربردهای زیادی جهت دستیابی به اهداف مختلف را دارا می‌باشد زیرا محصولی بادوام است و می‌تواند در کنار مواد مختلفی از جمله سیمان، چوب، سنگ یا فلز استفاده شود. رزین‌های اپوکسی نسبت به سایر انواع رزین‌ها دارای خواص مکانیکی بالاتر و مقاومت حرارتی و شیمیایی بیشتری می‌باشند [1].

در ادامه به معرفی ویژگی‌های رزین اپوکسی پرداخته شده است.

## 1. ویژگی‌های رزین اپوکسی

بسیاری از افرادی که برای اولین بار در مورد رزین اپوکسی می‌شنوند یا می‌خوانند این سوال را از خود می‌پرسند که رزین اپوکسی چیست؟ به این سوال می‌توان با ذکر خواص ویژه‌ی آن‌ها پاسخ داد. رزین‌های اپوکسی دامنه‌ی وسیعی از خواص و ویژگی‌ها را شامل می‌شوند که این خواص به نوع‌ها، رزین و فرمولاسیون بکارگرفته بستگی دارد. البته بسته به سازنده و محصول، ممکن است تا یک هفته زمان ببرد تا آمیزه به خواص نهایی خود برسد. با این حال، هنگامی که فرآیند پخت کامل شود خواص نهایی زیر تقریباً برای همه محصولات در نظر گرفته می‌شود [1,2]:

- ✓ مقاومت در برابر سایش بسیار بالا
- ✓ مقاومت متوسط در برابر ضربه
- ✓ انقباض بسیار کم پس از تبدیل مایع به جامد
- ✓ مقاومت خوب در برابر اشعه ماوراء بنفش (نه در همه‌ی اپوکسی‌ها)
- ✓ چسبندگی بالا به چوب، فلز، سنگ
- ✓ مقاومت در برابر رطوبت
- ✓ مقاومت حرارتی بالا
- ✓ عایق الکتریکی
- ✓ مقاومت اسیدی بالا و... [1,2]

بسته به هدف و کاربرد، سیستم‌های مختلفی برای پخت رزین اپوکسی در نظر گرفته می‌شود که هر کدام از سیستم‌ها و متریاال بکار رفته خواص متفاوتی را شامل می‌شوند. از این رو شناخت سیستم‌های مختلف پخت رزین‌های اپوکسی به دستیابی به نیازهای اساسی کمک خواهد کرد.

## 2. روش‌های پخت رزین‌های اپوکسی

بطور کلی رزین‌های اپوکسی برای تقویت خواص، پایداری ابعادی و دستیابی به ویژگی‌های ذکر شده نیاز به پخت دارند. منظور از پخت رزین اپوکسی ایجاد اتصالات عرضی بین زنجیرهای آن می‌باشد که به آن شبکه‌ای شدن<sup>1</sup> نیز گفته می‌شود. شبکه‌ای شدن رزین‌های اپوکسی غالباً از واکنش آنها با موادی که به پخت کننده<sup>2</sup> و یا سخت کننده<sup>3</sup> معروف هستند، صورت می‌گیرد. نوع عامل پخت و روش پخت تعیین کننده موارد مختلفی از جمله: سرعت واکنش پخت، میزان حرارت ناشی از واکنش، ویسکوزیته سیستم، زمان ژل شدن، حرارت لازم برای پخت و خواص نهایی آن خواهد بود. از این رو بسته به نوع خواص نهایی مورد نیاز، می‌توان عامل پخت مورد نظر را انتخاب کرد. در ادامه به معرفی انواع سیستم پخت اپوکسی و هاردنرها می‌پردازیم [3].

### 2.1 معرفی سیستم‌های دو جزئی

سیستم‌های دو جزئی اپوکسی همانطور که از نامشان پیداست از دو جزء تشکیل می‌شوند.

جزء یک شامل رزین اپوکسی با وزن مولکولی کم و جزء دوم هاردنر یا کاتالیزور. دو جزء باید به نسبت مشخص، طبق دستورالعمل کارخانه تولیدکننده، با یکدیگر مخلوط شوند تا بعد از گذشت مدت زمان مشخص به خواص نهایی خود دست یابند. در صورت رعایت نکردن نسبت اختلاط سیستم خشک نخواهد شد حتی اگر از میزان هاردنر بیشتری نسبت به میزان ذکر شده استفاده شود [3].

<sup>1</sup> Cross Linking

<sup>2</sup> Curing agent

<sup>3</sup> Hardener

انواع هاردنر در سیستم‌های دو جزئی شامل موارد زیر می‌باشد:

### 2.1.1 معرفی انواع هاردنر اپوکسی

متداول‌ترین هاردنرهایی که برای پخت رزین اپوکسی در نظر گرفته می‌شوند آمین‌های چند عاملی و رزین‌های پلی آمین هستند. پس از واکنش اتم‌های هیدروژن فعال گروه‌های آمین نوع اول و دوم با گروه‌های اپوکسی واکنش داده و تشکیل پلیمر شبکه‌ای می‌دهد [3].

نوع دیگر، هاردنر پلی آمید می‌باشد که از طریق پیوندهای آمیدی به یکدیگر متصل شده‌اند. رنگ این هاردنرها تیره بوده و عمده کاربرد آن‌ها در پوشش‌های اپوکسی می‌باشد و کمتر در موارد تزئیناتی از آن استفاده می‌شود. از معایب هاردنرهای پلی آمید می‌توان به گرانبوی بالا و رنگ تیره اشاره کرد. سایر هاردنرهای رایج شامل آمین‌های آروماتیک، و آمیدو آمین‌ها می‌باشد که هر کدام به منظور دستیابی به هدف مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرند [3].

### 2.1.2 مدت زمان خشک شدن سیستم دو جزئی رزین

زمان خشک شدن و زمان پخت اپوکسی بسته به نوع رزین و هاردنر، متفاوت است. رزین‌های اپوکسی بسته به نوع هاردنر آن بعد از گذشت چند ساعت تا یک روز، به صورت سطحی خشک می‌گردند به طوری که می‌توان آن را با ابزار مربوطه برش و شکل داد. اما هفت روز طول می‌کشد تا پیوندهای شیمیایی بین رزین و هاردنر تا حدودی تکمیل گردد و رزین به حداکثر سختی خود دست یابد [3].

### 2.2 معرفی سیستم‌های تک جزئی

اپوکسی تک جزئی یک پیش پلیمر است که قبلاً با مقدار مناسب کاتالیزور یا سخت کننده مخلوط شده است که تنها در صورت قرار گرفتن در معرض حرارت یا نور یووی واکنش نشان می‌دهد و پلیمریزه می‌شود. ترکیبات اپوکسی تک جزئی جهت حذف ضایعات، سرعت بخشیدن به بهره‌وری و در عین حال کاهش نگرانی در مورد نسبت اختلاط و پات لایف طراحی شده‌اند. این سیستم‌ها دارای ویژگی‌های عملکردی برجسته، دوام طولانی مدت و کاربرد آسان هستند. این ترکیبات در صنایع الکترونیک، هوافضا، پزشکی، برق، خودروسازی، فرآوری نفت/ شیمیایی و صنایع نوری استفاده می‌شوند [2,3].

پس از شناخت سیستم‌های پخت و ویژگی‌های هر کدام، بررسی میزان ویسکوزیته و پات لایف از عوامل مهمی است که قبل از خرید رزین اپوکسی لازم است در نظر گرفته شود که در ادامه به آن پرداخته شده است.

3. کدام سیستم رزین اپوکسی برای پروژه‌ی من مناسب تر است؟

در انتخاب سیستم رزین اپوکسی نکته‌ای که باید در نظر گرفته شود این است که کدام یکی برای پروژه‌ی موردنظر ما مناسب تر است؟

فاکتورهای متعددی وجود دارد که در انتخاب سیستم رزین اپوکسی تاثیر گذارند. به طور مثال ویژگی آنتی باکتریالی کفیوش اپوکسی جهت اجرا در بیمارستان‌ها یا ویژگی مقاومت آن در برابر اسید زمانی که قرار

است در معرض عوامل خورنده‌ی اسیدی قرار بگیرد. اما برای کاربردهای عمومی مسئله‌ی مهم این است که آیا ویسکوزیته و سرعت پخت سیستم اپوکسی می‌تواند نیاز ما را به خوبی پاسخگو باشد؟

در ادامه به معرفی این دو ویژگی از رزین اپوکسی، پرداخته شده است.

### 3.1 رزین‌های اپوکسی با ویسکوزیته کم / رزین‌های ریخته گری

ویسکوزیته جریان پذیری مایعات را توصیف می‌کند. بر این اساس، هنگامی که یک مایع روان باشد، از ویسکوزیته کم برخوردار است. بنابراین اگر به یک متریل روان نیاز دارید، باید یک رزین با ویسکوزیته پایین خریداری کنید. همچنین حباب‌های هوا نیز از این سیستم‌ها به راحتی حذف می‌شوند. ویسکوزیته‌ی پایین می‌تواند برای برخی کاربردها پراهمیت باشد [5].

- ✓ ریخته گری انواع قالب
- ✓ تولید زیورآلات رزین اپوکسی
- ✓ میزهای رزینی طرح رودخانه
- ✓ پر کردن شکاف‌ها و سوراخ‌های چوب و...

### 3.2 رزین‌های اپوکسی با ویسکوزیته بالا

ویسکوزیته‌ی این رزین‌ها تقریباً شبیه به عسل بوده و روانی کمتری دارند. می‌توان از این دست رزین‌ها برای انجام پروژه‌هایی در زمینه ساخت آثار هنری، رزین و ژئود، جواهرات رزینی، ظروف اپوکسی و آب بندی سطوح بهره گرفت. در مورد رزین‌های بسیار ویسکوز، قطعاً باید دستورالعمل‌های سازنده در مورد حداکثر ضخامت لایه در یک مرحله کار جدی گرفته شود. هر چه ویسکوزیته‌ی رزین مصرفی بالاتر باشد بالا آمدن و خروج حباب‌های هوا نیز دشوارتر خواهد شد [6].

### 3.3 زمان پات لایف

یک فاکتور بسیار مهم هنگام کار با رزین‌های اپوکسی، زمان پات لایف است. این اصطلاحات برای توصیف بازه زمانی استفاده می‌شود که مخلوط می‌تواند بر روی سطح اجرا شود. پس از اختلاط جزء یک و جزء دو با یکدیگر، به دلیل شروع واکنش، ویسکوزیته کم کم افزایش می‌یابد تا جایی که نمونه حالت ژله‌ای شکل به خود می‌گیرد و دیگر امکان ریخته‌گری آن وجود نداشته و نمی‌توان از آن استفاده نمود [3].

#### 4. رزین اپوکسی برای چه مواردی استفاده می‌شود؟

امروزه رزین‌های اپوکسی طیف وسیعی از کاربردها را شامل شده و در طراحی بسیاری از محصولات در حوزه‌های مختلف بکارگرفته می‌شود. این رزین‌ها به دلیل استحکام بالا و چسبندگی عالی به سطوح مختلف، مقبولیت گسترده‌ای در کاربردهای مختلف (روکش‌ها، رزین‌های الکتریکی، ریخته‌گری، کامپوزیت‌ها و غیره)

دارا می‌باشد. در ادامه تعدادی از این کاربردها در دو دسته‌ی تزئیناتی، صنعتی و ساختمانی آورده شده است [1]:

کاربردهای صنعتی و ساختمانی شامل:

- ✓ کفپوش‌های اپوکسی با قابلیت‌های مختلف (آنتی استاتیک، آنتی باکتریال و...)
- ✓ چسب‌های همه‌کاره
- ✓ محمل در سیمان و ملات
- ✓ فوم‌های سفت و سخت
- ✓ پوشش‌های غیر لغزنده
- ✓ جامد کردن سطوح شنی در حفاری نفت
- ✓ پوشش‌های صنعتی
- ✓ پلاستیک‌های تقویت شده با الیاف
- ✓ آب بندی سطح بتن
- ✓ ماتریس سازه در صنعت هوافضا
- ✓ تعمیرات سریع با رزین UV مخصوص
- ✓ درزگیرهای ضد آب برای کف گاراژ
- ✓ رزین به عنوان روکش یا ژل کت برای ساخت قایق [1,6].

کاربردهای تزئیناتی شامل موارد زیر می‌باشد:

- ✓ کفیوش‌های سه بعدی
- ✓ رزین اپوکسی و چوب
- ✓ ساخت بدلیجات
- ✓ تصاویر هنری رزین
- ✓ رزین ژئود و ظروف پتری رزین
- ✓ میز و مبلمان‌های رزینی
- ✓ رزین اپوکسی تابلو آبستره
- ✓ ظروف پذیرایی
- ✓ بستن منافذ چوب یا جلادهی به آن [1,7].

## 5. سوالات متداول در خصوص کار با رزین‌های اپوکسی

کار با رزین نیازمند رعایت نکاتی است که بدون در نظر گرفتن آن‌ها نتیجه‌ی مطلوبی از کار بدست نخواهد آمد. در ادامه به مهم‌ترین نکات کار با رزین اپوکسی می‌پردازیم.

### 5.1 اپوکسی به چه سطحی می‌چسبد و به چه سطحی نمی‌چسبند؟

سطوحی که رزین اپوکسی به خوبی به آن‌ها می‌چسبند شامل: چوب، فولاد، چدن، آلومینیوم، سنگ، بتن، آجر، فایبرگلاس، سرامیک، سیمان، و کاشی [7].

سطوحی که رزین اپوکسی به آن نمی‌چسبد یا چسبندگی به آن ضعیف است شامل: موم و کاغذهای مومی، پلاستیک پلی اتیلن، سطوح چرب، سیلیکون، ونیل یا لاستیک، کیسه‌ها و ظروف پلاستیکی، ملامین، سطوح روغنی، آکریلیک، شیشه، نوار چسب، چوب مرطوب [8].

### 5.2 چگونه از رزین اپوکسی روی چوب استفاده کنیم؟

فرآیند اعمال رزین روی چوب پس از اطمینان از تمیزی و خشک بودن سطح چوب انجام می‌گیرد. سطوح غیر متخلخل بهتر است سمباده زده شوند. برای جلوگیری از ایجاد حباب هوا توصیه می‌شود اپوکسی به تدریج ریخته شود. احتمال سوختن چوب در صورت استفاده از رزین و هاردنر در مقدار زیاد وجود دارد (به دلیل افزایش دمای مخلوط). برای حذف حباب‌ها می‌توانید از شعله‌ی مستقیم یا اشیا نوک تیز استفاده کنید. مرحله آخر این است که سازه‌ی چوبی را در یک محیط امن قرار داده و زمان کافی برای خشک شدن کامل آن در نظر بگیرید.

### 5.3 آیا رزین‌های اپوکسی سمی یا خطرناک هستند؟

رزین مایع و هاردنر مربوطه حاوی موادی هستند که نباید مستقیماً روی پوست ریخته شوند. تماس مستقیم پوست از طریق اجزای موجود در حالت خام تا حدی می‌تواند باعث تحریک پوست یا حتی واکنش‌های آلرژیک شود. به طور کلی، توصیه می‌کنیم همیشه پروژه‌های دارای رزین اپوکسی را فقط در اتاق‌هایی با تهویه بسیار خوب انجام دهید. علاوه بر این، همیشه باید از چشمان خود با عینک محافظ مناسب محافظت کنید و در حالت ایده آل نیز از ماسک تنفسی فیلتردار استفاده کنید. دستورالعمل‌های ایمنی مربوطه روی بسته بندی باید رعایت شود [9].

### 5.4 چگونه می‌توان رزین اپوکسی را رنگ کرد؟

رزین‌های اپوکسی معمولاً بی‌رنگ و کاملاً شفاف هستند. به همین دلیل است که اغلب برای کاربردهایی که اشیاء یا کلسیون‌ها در رزین ریخته می‌شوند استفاده می‌شود. با این حال، در برخی شرایط ممکن است بخواهید رزین را رنگ کنید [10].

انواع مختلف رنگ‌های زیر برای رنگ آمیزی رزین مناسب هستند:

- ✓ رنگدانه‌های رنگی پودری
- ✓ جوهرهای الکی
- ✓ کنسانتره رنگ به شکل مایع
- ✓ رنگ‌های ایر براش [10]

### 5.5 چرا به رزین اپوکسی پلیمر ترموست می‌گویند؟

رزین ترموست یا گرماسخت، پلیمری است که با استفاده از روش‌های پخت مانند گرما یا تشعشع، پخته می‌شود و با ایجاد پیوندهای عرضی به شکل جامد در می‌آید. فرآیند پخت در پلیمرهای ترموست و رزین اپوکسی پخت شده غیرقابل برگشت می‌باشد. چنانچه پلیمرهای ترموست در معرض حرارت قرار بگیرند ذوب نشده و فرآیند تخریب در آن‌ها اتفاق می‌افتد. رزین اپوکسی پخت شده نیز در دسته پلیمرهای ترموست قرار می‌گیرد [1].

### 5.6 چگونه می‌توان رزین اپوکسی را از مناطق ناخواسته حذف کرد؟

چسبندگی بالا به سطوح از ویژگی‌های بارز رزین‌های اپوکسی می‌باشد. اما این ویژگی حذف و جدا کردن آن را پس از پخت نسبتاً دشوار می‌سازد.

روش مکانیکی یکی از روش‌های جدا کردن اپوکسی پخت شده است اما این روش ممکن است کمی دشوار باشد.

روش دیگری که برای این کار توصیه می‌شود این است که سطح مورد نظر را با حلال استون در مکانی با تهویه مناسب خیس کنید و سپس حدود یک ساعت صبر کنید. پس از این مدت، سطح باید کمی نرم شده باشد. مطمئن شوید که حلال استن کاملاً تبخیر شده باشد. سپس می‌توانید محل را با تفنگ حرارتی تا دمای حدود 200 درجه سانتیگراد گرم کنید [11]. با این حال، گرم کردن باید بسیار آهسته و با احتیاط انجام شود، زیرا سایر قسمت‌های ساخته شده از پلاستیک یا چوب ممکن است آسیب ببیند یا بسوزد.

#### 5.7 آیا روکش‌های رزین اپوکسی ضد آب هستند؟

پس از پخت، رزین‌های اپوکسی ضد آب هستند. اما در حین اجرا چنانچه در معرض رطوبت قرار داشته باشند دچار مشکل می‌شوند. لازم به ذکر است که در برخی شرایط ویژه مانند زمانی که رطوبت در زیرآبند کفیوش اپوکسی وجود دارد، کفیوش اپوکسی دچار تاول شده و قابلیت خود را از دست می‌دهد. برخی از محصولات اپوکسی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که در شرایط مرطوب نیز قابل اجرا باشند و هیچ آسیبی نبینند [4].

#### 5.8 چه تغییراتی می‌توان در فرمولاسیون رزین اپوکسی اعمال کرد؟

تولیدکنندگان اپوکسی معمولاً با تغییر در فرمولاسیون رزین‌ها استفاده از آن را برای اهداف مختلف آسان‌تر می‌کنند. گروهی از شرکت‌ها هستند که مواد خام اپوکسی رزین را از تولید کنندگان عمده می‌خرند و سپس آن را برای کاربری‌های مختلف فرموله می‌کنند.

صدها روش وجود دارد که فرموله کننده‌ها می‌توانند فرمولاسیون رزین را تغییر دهند برخی از این روش‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

- ✓ اضافه کردن پرکننده‌های معدنی (تالک، سیلیکا، الومین و غیره)
- ✓ اضافه کردن نرم کننده‌ها
- ✓ اضافه کردن کاهنده‌ی ویسکوزیته
- ✓ اضافه کردن رنگ کننده‌ها، حجم دهنده‌ها، تسریع کننده‌ها، تقویت کننده‌ها و غیره

این تغییرات برای کاهش هزینه، بهبود عملکرد و کاربری آسان‌تر انجام می‌شوند. در نتیجه یک فرموله کننده هزاران نوع فرمول مختلف را می‌فروشد که هر کدام برای نیاز خاصی طراحی شده‌اند.

نتیجه گیری:

رزین‌های اپوکسی طیف وسیعی از ویژگی‌ها را شامل می‌شوند. خواص مختلفی از جمله استحکام مکانیکی بالا، دوام طولانی مدت، مقاومت حرارتی خوب، عایق حرارتی و... که آن را برای کاربردهای مختلف ساختمانی و صنعتی مناسب کرده است.



سیستم پخت رزین اپوکسی عمدتاً به دو صورت دو جزئی و تک جزئی در بازار موجود می‌باشند. در سیستم‌های دو جزئی به‌هاردنر با گروه عاملی فعال و در سیستم‌های تک جزئی به حرارت یا نور UV جهت سخت شدن نیاز است. سیستم‌های تک جزئی عمدتاً جهت سرعت بخشیدن به بهره‌وری، کاهش نگرانی در مورد نسبت اختلاط و پات لایف طراحی شده‌اند.

علاوه بر سیستم پخت، ویسکوزیته‌ی رزین اپوکسی یکی دیگر از پارامترهای اثر گذار در پروژه‌های کار با رزین اپوکسی است که باید در نظر شود. بر این اساس قبل از انتخاب رزین، توجه به نوع آن و خصوصیات مربوطه امری ضروری است.

منابع:

- [1] By Clayton A., Epoxy Resins: Chemistry and Technology, Second Edition, 1988
- [2] Panda H., Epoxy Resins Technology Handbook (Manufacturing Process, ...), 2019
- [3] Ernest W. Flick, Epoxy Resins, Curing Agents, Compounds, and Modifiers, 2012
- [4] <https://trid.trb.org/> Effects of Water on Epoxy-resin Systems
- [5] <https://www.dic-global.com/Diluted Type Epoxy Resins>
- [6] <https://www.coppindustries.com/Selecting the Right Epoxy Resin for Your Application/>
- [7] <https://www.thoughtco.com/What Is Epoxy Resin Used In?>
- [8] <https://resinaffairs.com/What Materials Does Epoxy Resin Not Stick to>
- [9] <https://www.aeromarineproducts.com/epoxy-resin-safety-guide>
- [10] Coloring Epoxy Resin – Your Guide to Adding Color to Epoxy Resin
- [11] <https://www.bobvila.com/articles/how-to-remove-epoxy/>

