

■ تالیف: مهندس زیبا حسن آبادی - کارشناس تحقیقات و توسعه شرکت بسپلیمر

تاول در کفپوش‌های رزینی: دلایل و سازوکار ایجاد، نحوه پیشگیری و اصلاح

نیمه تراوا و مواد آلی یا معدنی محلول در آب داخل بتن ایجاد شده و با خود فشار پدیده اسمزی را به دنبال داردند [۱]. تاول‌های پدیده اسمزی معمولاً به پخش کوچکی از سطح محدود نشده و کل سطح را می‌پوشانند. تشخیص تاول ناشی از پدیده اسمزی به دو صورت امکان پذیر است [۱]:

- تا چند هفته پس از اجرای کفپوش خود را نشان نمی‌دهند.
- معمولاً حاوی آبی هستند که با فشار از تاول خارج می‌شود.

حال می‌خواهیم با جزئیات بیشتری به پدیده اسمزی و نحوه تشکیل آن در بتن پردازیم.

۱.۱ پدیده اسمزی چیست؟

پدیده اسمزی به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن حلال (آب) از طریق یک غشای نیمه تراوا از جایی که محلول رقیق تراست به جایی که محلول غلیظ تر است، نفوذ می‌کند. عبور آب از غشای تراوا نسبی را پدیده اسمزی می‌گویند که حرکت از ناحیه رقیق به غلیظ است. به طور کلی هر گونه تغییر در پتانسیل شیمیایی در صورت وجود غشا موجب بروز پدیده اسمزی خواهد شد. غشای نیمه تراوا تنها اجازه عبور آب را می‌دهد. حرکت آب در دو طرف غشاء نیمه تراوا تا جایی ادامه می‌یابد که غلظت دو طرف با یکدیگر برابر شوند و هیچگونه اختلاف پتانسیل شیمیایی وجود نداشته باشد [۲].

۱.۲ فشار اسمزی چیست؟

کشیده شدن آب درون غشای نیمه تراوا از سمت محلول رقیق به محلول غلیظ موجب ایجاد یک فشار اسمزی در قسمت محلول غلیظ می‌شود. حال سوال اینجاست که این پدیده در بتن چگونه اتفاق می‌افتد؟

۱.۳ نحوه ایجاد فشار اسمزی در بتن

در صورت وجود آب زیر کفسازی بتنی، آب به آرامی از قسمت پایینی به ناحیه بالایی نفوذ می‌کند و در راه نمک‌های موجود در بتن را در خود حل می‌کند. نمک‌های محلول در ناحیه بالا باعث ایجاد اختلاف پتانسیل

مقدمه
کفپوش‌های رزینی با هدف ایجاد سطحی یکپارچه و مستحکم با خواص و ویژگی‌های منحصر به فرد طراحی و اجرا می‌شوند. دستیابی به استحکام و مقاومت مورد انتظار، نیازمند رعایت اصولی است که عدم رعایت هر کدام می‌تواند پروژه‌ی نصب کفپوش رزینی را هم از لحاظ جلوه‌ی بصری و هم خواص گوناگون فیزیکی و مکانیکی تهدید کند. یکی از این خطرات ایجاد تاول بر سطح کفپوش رزینی است که بعد از گذشت چندین هفته خود را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - تاول‌ها در کفپوش رزینی [۳]

بررسی‌های نشان می‌دهد که سه دلیل عمده ایجاد تاول در کفپوش رزینی پدیده اسمزی و فشار هیدرواستاتیک و پدیده‌ی کرماتوگرافی است [۱,۵]. این تاول‌ها معمولاً در سیستم‌های کفپوش با ضخامت ۱ تا ۵ میلی‌متر ایجاد می‌شوند. پس ضخامت نهایی کفپوش تأثیر زیادی در تشکیل و یا عدم تشکیل آن دارد. اما این مشکل به طور کلی در ملات‌های اپوکسی مشاهده نشده است، که احتمالاً به دلیل مقاومت بالا در برابر تغییر شکل و نفوذ پذیری پایین آن هاست [۱].

در ادامه به بررسی دو عامل اصلی ایجاد تاول در کفپوش رزینی یعنی پدیده اسمزی و فشار هیدرواستاتیک می‌پردازیم.

۱- تاول در کفپوش رزینی: پدیده اسمزی
یکی از مهمترین دلایل ایجاد این تاول‌های در دسر ساز در کفپوش‌های رزینی پدیده اسمزی است. پدیده‌ای که در صورت وجود منبع آب، غشای

آبی، کیفیت غشای نیمه تراوای ایجاد شده، چسبندگی کفپوش به بتن و همچنین ضخامت کفپوش [۱]. یک بتن که به طور طبیعی خشک شده است، حدود ۵% آب دارد و در صورتی که دیگر شرایط تاول زدن مهیا باشد، این مقدار آب برای تشکیل تاول کافی است حتی اگر هیچ منبع آب دیگری وجود نداشته باشد [۱]. حال سوال اینجاست که چه موادی در بتن سبب بوجود آمدن اختلاف پتانسیل شیمیایی می‌شوند؟

۶ موادی در بتن که ممکن است سبب ایجاد تاول در کفپوش‌ها شود: همانگونه که اشاره شدمک‌های موجود در بتن می‌تواند به سطح بتن مهاجرت کند. تبخیر رطوبت بتن بدین معناست که همواره مقدار زیاد و قابل اندازه گیری از این نمک‌ها بر روی سطح بتن وجود دارد. علاوه بر آب، مواد معدنی یا آلی (سدیم، پتاسیم، کلراید)، ترکیبات بتن و آلودگی‌های موجود در بتن نیز می‌توانند موجب به وجود آمدن تاول شوند. این مواد شامل مواد زیر هستند [۱,۶]:

- مواد باقیمانده از شستشوی کف با اسید
- مواد باقیمانده از نظافت کف با مواد شوینده
- برخی از افزودنی‌های سیمان

• مواد محلول در آب واکنش نداده در سیستم کفپوش
• مقدار پیشتری از سدیم، پتاسیم، سیلیکات در لایه‌ی بالایی نسبت به دال بتنی
۷ روش‌های جلوگیری از ایجاد پدیده اسمزی در بتن:

تاکنون امکان تحقیق در مورد تاول پدیده اسمزی وجود نداشته است و وقوع آن ماهیت غیر قابل پیش‌بینی دارد. با این حال برخی اقدامات وجود دارند که می‌تواند خطر بالقوه تاول کف را کاهش دهد. با این وجود خطر همچنان وجود خواهد داشت. این اقدامات احتیاطی شامل مواد زیر است [۱]:

• میزان رطوبت کف بتنی که قرار است کفپوش بر روی آن اجرا گردد را با استفاده یکی از روش‌های ASTM D۴۲۶۳، ASTM F۱۸۶۹، ASTM F۲۱۷۰، به دقت بررسی کنید.

• آلاینده‌هایی که ممکن است روی بتن ریخته باشد را بررسی کنید.
• اگر وضعیت کف بحرانی است از کفپوش‌های مناسب سطوح مرطوب استفاده کنید.

• اجازه دهد بتن به مدت حداقل ۲۸ روز پس از بتن ریزی خشک شود.
• ترجیحاً به جای استفاده از اسید از روش‌های مکانیکی برای آماده سازی سطح استفاده کنید.

• بتن پایه را با مواد شوینده نشویید.
• از حذف آلودگی‌های بتن اطمینان حاصل کنید.

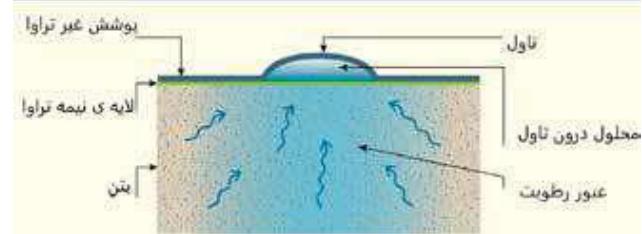
• از نسبت اختلاط دقیق رزین و هاردنر هنگام اجرای کفپوش رزینی اطمینان حاصل کنید.

• در صورت امکان سیستم کفپوش رزینی را در محیطی با دما بین ۲۰ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی گراد اجرا کنید.

۲. تاول در کفپوش رزینی: فشار هیدرواستاتیک

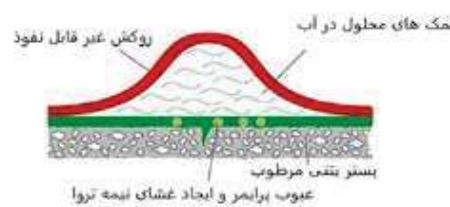
چنانچه بتن غرق در آب باشد، و یا حاوی رطوبت زیادی باشد، سبب ایجاد فشار هیدرواستاتیک در بتن می‌شود. این فشار در بتن تازه یا بتنی که تحت شرایط مناسبی پخت نشده باشد (در معرض هوای سرد و رطوبت بالا قرار داشته و رطوبت آن به طور کامل تبخیر نشده است) وجود دارد. در این مورد

شیمیایی در بتن شده که همین امر منجر می‌شود آب بیشتری از پایین به سمت بالا حرکت کند. تفاوت ریز ساختاری بتن در بالا و داخل بتن سبب می‌شود تا این اختلاف غلظت باقی بماند. اگر آب کافی وجود داشته باشد و غشای نیمه تراوا نیز تشکیل شده باشد، فشار اسمزی ایجاد می‌شود. تحقیقات نشان داده است که فشار اسمزی ایجاد شده می‌تواند بالاتر از ۲,۵ مگاپاسکال باشد [۱,۲,۳,۴].



شکل ۲- پدیده اسمزی و تاول در کفپوش‌های رزینی [۳]

۴. غشای نیمه تراوا چگونه در بتن تشکیل می‌شود؟
غشای نیمه تراوا به لایه‌ای گفتہ می‌شود که دارای خلل و فرج بسیار ریزی است و اجزایی عبور حلال (آب) را می‌دهد، اما مولکول‌های بزرگتر از حلال را از خود عبور نمی‌دهد. یک بتن با کیفیت، دارای منافذی با حداکثر اندازه ۱-۱ mm است و املاح و املاح و اسید را راحتی از آن عبور می‌کند. استفاده از آستری اپوکسی سبب کاهش قطر منافذ بتن شده و منافذ را به اندازه‌ای کوچک می‌کند که در سطح، تشکیل یک لایه‌ی نیمه تراوا دهد. برخی از تحقیقات نشان می‌دهند که فیلم‌های اپوکسی (آستریها) خود می‌توانند به عنوان غشای نیمه تراوا رفتار کنند [۱]. زمانی که حلال‌ها یا نرم کننده‌ها از آستری مهاجرت می‌کنند حفره‌های زیادی را ایجاد می‌کنند [۵].

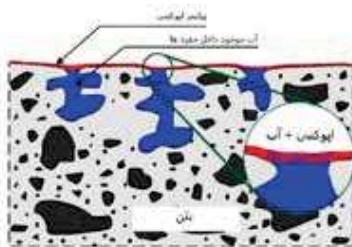


شکل ۳- حفره‌های ایجاد شده در آستری اپوکسی [۴]

۱.۵ نحوه‌ی تشکیل تاول در کفپوش رزینی در اثر پدیده اسمزی
چنانچه مواد محلول در آب و یک غشای نیمه تراوا روی یک سطح سیمانی یا پتی به یکدیگر بررسند و سپس توسط یک سطح غیر قابل نفوذ (مانند کفپوش رزینی) پوشانده شوند و همچنین آب زیادی نیز در بتن وجود داشته باشد، همه چیز برای ایجاد پدیده اسمزی فراهم است. حرکت آب از پایین بتن به سمت بالا سبب ایجاد یک منع آب در زیر غشای نیمه تراوا می‌شود و در نهایت وجود اختلاف پتانسیل شیمیایی موجب به وجود آمدن تاول می‌شود [۱].

• چنین تاول‌هایی معمولاً مملو از آب هستند، گرچه ممکن است بعد از چند سال خشک باشند، زیرا آب ممکن است از غشای نیمه تراوا به عقب برگشته باشد [۳].
• اندازه‌ی تاول به عوامل مختلفی بستگی دارد مانند: غلظت آب در محلول

تداخل در واکنش شبکه‌ای شدن رزین اپوکسی می‌شود. همانگونه که در تصویر مشخص است آب به داخل آستری اپوکسی نفوذ می‌کند و این نفوذ سبب انتقال یون‌های سدیم و پتاسیم به داخل آستری می‌شود[۵].



شکل ۵- نمایی از ایجاد نقص داخل آستری اجرا شده روی بتن تر [۵]

تشکیل تاول‌ها بر روی بتن خشک می‌تواند به علت وقوع دو پدیدهٔ موازی و همزمان باشد. اولی پدیدهٔ کروماتوگرافی نام دارد که عدمت منجر به جدایش جزئی رزین و هادرن در زمان شبکه‌ای شدن می‌شود چراکه بخش از هادرن به داخل رزین کشیده می‌شود[۵].

علاوه بر این زمانی که بتن تخلخل زیادی داشته باشد باز هم یون‌های پتاسیم و سدیم همچون زمانی که بتن تراست به داخل آستری منتقل می‌شوند[۵]. اثر کروماتوگرافی به وضوح در بتن‌های خشک بیشتر از بتن‌های تراست است.



شکل ۶- نمایی از ایجاد نقص داخل آستری روی بتن خشک [۵]

زمانی که محل تلاقي بتن و آستری را در این شرایط بررسی می‌کیم هیچ گونه غشای نیمه تراواهی را مشاهده نکرده و به نظر می‌رسد بیشتر از طریق نفوذ مستقیم باشد. در نهایت می‌توان بیان کرد که تشکیل تاول تاثیر به دلیل نفوذ مستقیم باشد. همچنین می‌توان بیان کرد که در تشکیل تاول، وجود غشای نیمه تراواهی می‌تواند لازم نبوده و محل اتصال بتن و آستری مکانی برای نفوذ یون‌های قابل حل باشد[۵].

از عوامل محیطی دیگر که موجب ایجاد تاول در کفپوش‌های رزینی می‌شود می‌توان به گرمای آزاد شده هنگام پخت بتن و انتقال این گرمای به کفپوش، قرارگیری کفپوش در مععرض آفتاب به صورت پایدار، نوسانات دمایی در مدت زمان‌های کوتاه قبل از پخت کامل مواد کفپوش رزینی، نصب کفپوش رزینی غیراستاندارد، گرمای تجهیزات موجود... اشاره کرد[۱,۵].

در صورتی که شرایط خاص باشد و امکان حذف پدیده اسمزی یا فشار هیدرواستاتیک وجود نداشته باشد، می‌توان از کفپوش‌های رزینی که با فناوری‌های جدید ساخته شده است بهره گرفت. در ادامه با فناوری‌های جدید در این زمینه آشنا خواهید شد.

۴. فناوری‌های جدید جهت پیشگیری از تاول در کفپوش‌های رزینی

خاص تاول‌ها خیلی سریع تر خود را نشان می‌دهند[۳]. استحکام چسبندگی کفپوش اپوکسی به کف بتنی به راحتی می‌تواند بیش از ۱,۵ مگاپاسکال باشد. فشار هیدرواستاتیک باید بالای این مقدار باشد تا بتواند به تنهایی باعث ایجاد تاول شود، اما در عمل هرگز چنین نخواهد شد[۳].

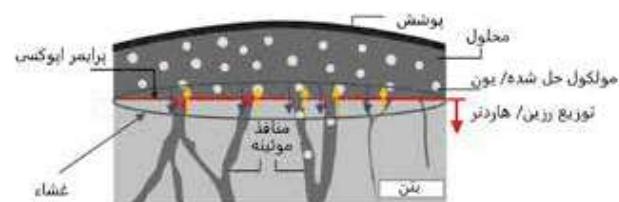
سازوکار ایجاد تاول در این شرایط بدین صورت است که آب یا بخار آب چگال شده بر روی سطح بتن که مرتبط با منافذ یا مویرگ‌های بتن هستند، از ترشیدگی کامل بتن توسط آستری و چسبندگی کامل آن جلوگیری می‌کند. از سوی دیگر رطوبت موجود بر روی بتن به تشکیل پدیده اسمزی قبل از پخت کامل کفپوش رزینی سرعت می‌بخشد که در نهایت منجر به تشکیل تاول می‌شود. این فشار همچنین می‌تواند به دلیل شکستگی لوله و انتقال آب آن به سطح بتن اتفاق بیند[۳].

۳. تاول در کفپوش رزینی: پدیدهٔ کروماتوگرافی

برخی محققان به این نتیجه رسیده‌اند که در تثویرهای موجود یک سری تنافضات در ایجاد غشای نیمه تراوا در بتن وجود دارد[۵]. مایع داخل تاول‌ها عمدتاً مواد معدنی هستند که به طور مستقیم از بتن می‌آیند. اما در برخی موارد مواد آلی نیز در آن مشاهده می‌شود که نشأت گرفته از آستری اپوکسی هستند که به منافذ موئینه بتن نفوذ کرده است. بسته به اندازهٔ منافذها و همچنین اندازهٔ مولکول‌ها یک جدایش در ابعاد میکرو داخل منافذ رخ می‌دهد. این پدیده کروماتوگرافی نام دارد. بدین صورت که اگر رزین و هاردنر به صورت مایع روی سطح ریخته شود توسط منافذ موئینه از یکدیگر جدا می‌شوند[۵].

نوع هاردنر استفاده شده در سیستم کفپوش رزینی نیز در ایجاد تاول تاثیر گذار است. بتن دارای منافذ موئینه زیادی است که میزان این منافذ در بتن‌ها با یکدیگر تفاوت دارد. طبق تحقیقات صورت گرفته در صورت استفاده از آمین‌های آلفاگاما که این جدایش افزایش می‌یابد[۵]. همانگونه که در تصویر مشخص است این جدایش موجب بروز نقص‌ها و ناکارائی در آستری می‌شود و مسیر را برای نفوذ آب بصورت مستقیم بدون تشکیل غشاء باز می‌کند[۵].

هر چه بتن متراکم‌تر بوده و میزان این منافذ موئینه کاهش یابد، احتمال رخدادن پدیده کروماتوگرافی و تاول نیز به مراتب کمتر می‌شود[۵].



شکل ۴- نمایی از فرآیند انتقالات در رخ داد تاول [۵]

۱،۲،۳، سازوکار تشکیل تاول در بتن خشک و تر در اثر پدیدهٔ کروماتوگرافی زمانی که محل تلاقي آستری و بتن را با دقت بیشتری بررسی کنیم، مشاهده می‌شود که سازوکار پدیدهٔ ایجاد تاول علاوه بر پدیدهٔ اسمزی می‌تواند به دلیل فرآیند نفوذ مستقیم آب و املاح باشد[۵].

شکل گیری تاول بصورت چشم گیری به شرایط بتن، فرمولاسیون اپوکسی و شرایط اجرا بستگی دارد. اجرای رزین بر روی بستر ترا باعث ایجاد

جهت مسدود کردن پوشش، تراوایی آن باید کمتر از ۰.۰۵ perms باشد. به طور مثال دو نمونه‌ی CA و CB محصولاتی هستند که در ضخامت‌های بسیار پایین نیز تراوایی بسیار کمی دارند. تمودار زیر تراوایی این دو محصول را نشان می‌دهد. همانگونه که از نمودار مشخص است هر چه ضخامت پوشش بیشتر باشد، تراوایی آن نیز کاهش می‌باید، نمونه‌ی CA در ضخامت بسیار پایین ۱۰ mil (میل) نیز همچنان الزامات استاندارد را برآورده کرده و تراوایی کمتر از ۰.۰۵ perms را دارد [۷].

در صورت به وجود آمدن تاول می‌توانید با دنبال کردن مراحلی که در ادامه آورده شده است سطح آسیب دیده را اصلاح نمایید.

۵. نحوه اصلاح کف در صورت ایجاد تاول

(a) ابتدا با یک وسیله‌ی نوک تیز مانند میخ، تاول‌ها را سوراخ کنید. احتمالاً آب با فشار از داخل تاول خارج شود.

(b) منبع رطوبت را پیدا کنید و آن را برطرف نمایید. (بتن تر، ترکیدن لوله، نفوذ آب‌های زیر زمینی، عدم خشک شدن کامل بتن قبل از اجرای کفپوش و...)

(c) با به کار گیری روش‌های مکانیکی (کفسابی) تمامی تاول‌ها را از بین ببرید.

(d) ۷ تا ۱۰ روز اجازه دهید رطوبت داخل تاول‌ها خشک شود.

(e) پس از گذشت ۷ تا ۱۰ روز مجدد است شود که اطمینان حاصل گردد رطوبتی وجود ندارد.

(f) در صورت نبود رطوبت سطح دوباره کفسابی شود تا سطح برای ترمیم موضعی آماده شود.

(g) آستری مخصوص سطوح مرطوب را اعمال نمایید.

(h) چنانچه محل تاول‌ها کوچک است، آن را با بتونه مخصوص آماده سازی سطح ترمیم نمایید. اما اگر بزرگ است بهتر است از متریال لایه‌ی میانی کفپوش رزینی برای پر کردن حفره‌ها استفاده کنید.

(i) در آخر پس از خشک شدن بتونه از متریال روکش رزینی مورد نظر برای روکش مجدد استفاده کنید.

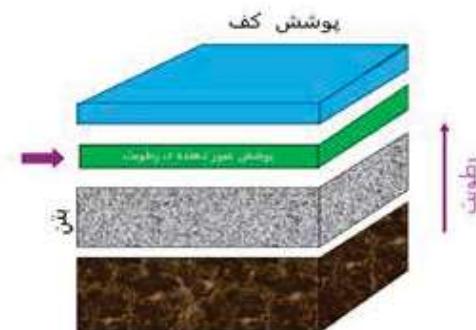
منابع:

- 1: "Osmosis in Resin Flooring": FeRFA, the Resin Flooring Association. July 2003.
- 2: "Osmotic blistering of epoxy coatings on concrete": By Frederick A. Pfaff and Frederick S. Gelfant. December 1997.
- 3: "Moisture induced blistering tech paper": Performance Resin and Coating proREZ. Tech paper.
- 4: "Blistering of epoxy industrial floor on concrete substrate: phenomena and case study": Ignoul S; Van Rickstal F; Van Gemert D. 2004.
- 5: "International Symposium Polymers in Concrete": José Barroso de Aguiar; Saïd Jalali; Aires Camões. 2 - 4 April 2006.
- 6: "Blistering of epoxy coating on concrete floor: phenomena and case study": H. Saricimen, K. Attar, M. Maslehuddin, I. Asfaha, M. Shameem, and M.S. Barry.
- 7: "Create a Better Moisture Shield and Prevent Floor Failures": Shafiq Fazel and Shiying Zheng Evonik Corporation.

همانگونه که گفته شد پدیده‌ی ایجاد تاول به عوامل مختلفی بستگی دارد، که در برخی شرایط غیر قابل پیشگیری هستند. اما روش‌ها و فناوری‌هایی که امروزه در ساخت و طراحی کفپوش‌ها از آن‌ها بهره گرفته شده است، می‌تواند احتمال ایجاد تاول در سطح کفپوش را به صفر برساند. دو فناوری جدید در این زمینه شامل سیستم‌های تنفس پذیر (تراوا) و سیستم‌های سدگر (غیر تراوا) هستند [۷].

۳.۱ سیستم کفپوش تنفس پذیر (تراوا)

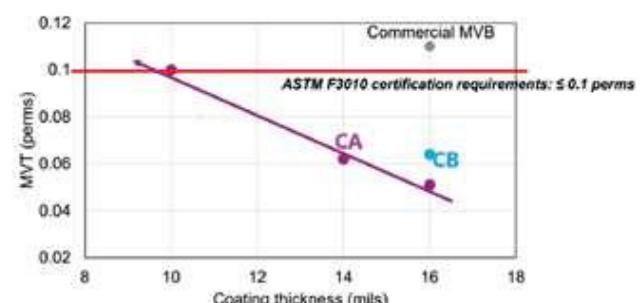
این سیستم‌های تراوا عبور دهنده محلول بوده و به رطوبت موجود در بتن اجازه‌ی تبخیر می‌دهد. البته برای این سیستم لازم است که تمامی لایه‌های بعدی نیز تنفس پذیر باشند. این سیستم بهترین فناوری برای زمانی است که فشار هیدرواستاتیک در بتن وجود دارد. از جمله‌ی این سیستم‌ها می‌توان به کفپوش‌های پلی پورتان سیمان اشاره کرد [۷].



شکل ۷- طراحی کفپوش رزینی مناسب بتن دارای فشار هیدرواستاتیک آب

۳.۲ سیستم کفپوش سدگر (نا تراوا)

قبل ترا اشاره شد که ایجاد یک لایه‌ی نیمه تراوا می‌تواند از عوامل ایجاد تاول، که با حذف آن پدیده اسمزی وجود نخواهد داشت تا سبب ایجاد فشار پدیده اسمزی و در نهایت تاول شود. از این روش ترا داشته باشد و هیچ لایه‌ی که سازگاری و چسبندگی بالایی به سطوح ترا داشته باشد و هیچ لایه‌ی نیمه تراوایی تشکیل ندهند می‌تواند در این زمینه موثر واقع شود. اما چنانچه فشار هیدرواستاتیک و منبع آب وجود داشته باشد این سیستم نمی‌تواند پاسخگوی نیازها باشد. در ادامه استانداردهای رامعرفی می‌کنیم که الزامات آن تعیین می‌کند که میزان تراوایی در پوشش چقدر است [۷].



نمودار ۱- نمودار میزان تراوایی بر حسب ضخامت [۷]

۳.۳ اندازه گیری تراوایی پوشش‌های رزینی از الزامات استانداردهای ASTM F3010 و ASTM E ۹۶-۹۰ این است که