

## تأثیر سختی میله‌های داول در عملکرد درز روسازیهای بتنی

ابوالفضل حسنی\*<sup>۱</sup>، علی پاژنگ<sup>۲</sup>

۱- استاد بخش مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس  
۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

\* تهران، صندوق پستی ۱۱۱ - ۱۴۱۱۵

[hassani@modares.ac.ir](mailto:hassani@modares.ac.ir)

(دریافت مقاله: شهریور ۱۳۸۲، پذیرش مقاله: خرداد ۱۳۸۵)

**چکیده** - در روسازیهای بتنی، به منظور انتقال بار و جلوگیری از پلکانی شدن درز، به میله داول نیاز است. معمولترین داولهای مورد استفاده برای این منظور، داول فولادی با پوشش اپوکسی با قطر بین ۲۵ تا ۳۸ میلیمتر به منظور دوام در برابر خوردگی است. لیکن خوردگی این نوع داول در طول عمر روسازی، باعث شکست بتن در اطراف داول و در نتیجه شل شدن داول خواهد شد. در این مقاله استفاده از میله‌های پلیمری (GFRP)<sup>۱</sup> به عنوان ابزار انتقال نیرو و جایگزینی برای داولهای فولادی بررسی و مطالعه آزمایشگاهی شده است. نتایج به دست آمده نشانگر ضعف نیروی چسبندگی داولهای GFRP در مقایسه با داولهای فولادی با بتن در ابتدای بارگذاری است. اما نتایج نشان می‌دهد که پس از زایل شدن چسبندگی، نرخ کاهش نیروی چسبندگی و افزایش تغییر مکان در میلگردهای فولادی به مراتب بیش از GFRP است. از طرف دیگر به دلیل یکسان بودن ضریب الاستیسیته GFRP و بتن، تنش جزئی در سطح مشترک این دو نوع مصالح ایجاد می‌شود. در نتیجه به دلیل عدم وقوع پدیده خستگی، ترکهای ناشی از خستگی نیز به وقوع نخواهد پیوست.

**کلید واژگان:** روسازیهای بتنی، انتقال بار، داول، GFRP، میلگرد با پوشش اپوکسی.

### ۱- مقدمه

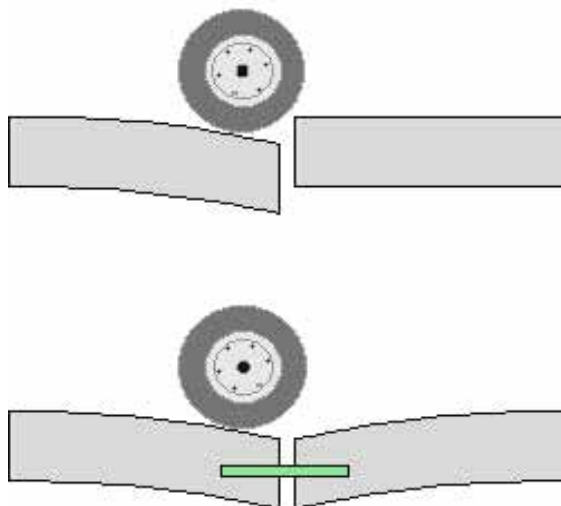
در جاده‌های بتنی میله‌های داول در بین درزها برای انتقال بار از یک دال به دال مجاور به کار می‌روند. تا زمانی که میله‌های داول کاملاً توسط بتن محصور شده، درز بیشترین بازده را خواهد داشت [۱]. اما با توجه به اختلاف در ضریب الاستیسیته فولاد و بتن و همچنین به دلیل سختی بالای داولهای فولادی در

بتن، بارگذاری تکراری درز می‌تواند به بیضوی شدن بتن در اطراف داول فولادی منجر شود [۱]. بدین ترتیب، به دلیل تمرکز تنش در محل اتصال داول و بتن فضایی خالی در اطراف داول ایجاد می‌شود. در مدت زمان بهره‌برداری و با حرکت ترافیک بر روی درز، بتن اطراف میله‌های داول شکسته شده و بدین ترتیب توانایی انتقال بار در محل درزها

1. Glass Fiber Reinforce Polymer

در عملکرد درزها است. کارایی ضعیف در انتقال بار، باعث وقوع خرابی‌هایی نظیر پلکانی شدن، تلمبه‌زنی و شکست گوشه<sup>۳</sup> خواهد شد که با افزایش تغییر شکل درز در زیر بار، تشدید می‌شود [۴].

در هنگام عبور وسایل نقلیه سنگین از روی دالها، داولها تغییر شکل درز و همچنین تنش موجود در بتن را کاهش داده و بدین ترتیب پتانسیل خرابی درز با افزایش کارایی انتقال بار کاهش می‌یابد [۴].



شکل ۱ کارایی انتقال بار [۴]

### ۳- داولهای GFRP به‌عنوان ابزار انتقال

#### نیرو

داولهای GFRP به‌عنوان گزینه‌ای بدون هزینه تعمیر - که هزینه دوره‌ای تعمیرات کلی روسازی را به‌ویژه در محیطهای خورنده کاهش می‌دهد - مطرح است. بنابراین میله‌های GFRP برای انتقال نیرو در داولهای روسازی بزرگراهها، راه‌حلی برای برخورد با مشکل خوردگی در داولهای فولادی است.

کاهش می‌یابد. فضای خالی ایجاد شده در بتن اطراف داوول، باعث جمع شدن آب و مواد دیگر شده و در نهایت باعث خوردگی و قفل شدن درز خواهد شد و بدین ترتیب اجازه انبساط حرارتی به دال داده نخواهد شد که این شرایط می‌خکوب شدن میله‌های داوول را فراهم می‌سازد. در صورت عدم انتقال بار از طریق درزها، بار به بستر منتقل شده و پلکانی شدن<sup>۱</sup> درز اتفاق خواهد افتاد.

تفاوت در میزان نشست دو دال مجاور در محل درز باعث ایجاد ناهمواری در درز شده و حرکت وسایل نقلیه را با مشکل مواجه خواهد کرد و سرانجام، تعمیر یا تعویض دال اجتناب‌ناپذیر خواهد شد [۲].

### ۲- تاریخچه

اکنون استفاده از ابزار انتقال نیرو در درز روسازیهای بتنی بسیار متداول است. تحقیقات اخیر نشان داده است که درزهای با میله‌های داوول، عمر کاری بیشتری را نسبت به درزهای بدون داوول خواهند داشت [۳]. داولها اغلب فولادی و صاف با پوشش اپوکسی با قطر ۲۵ تا ۳۸ میلیمتر و در بعضی موارد مانند روسازی ضخیم فرودگاهها، میله‌هایی لوله‌ای با قطر خارجی ۳۲ تا ۵۰ میلیمتر است [۳]. درزها تواناییهای متفاوتی در انتقال بار دارند. این توانایی همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده به کارایی انتقال بار<sup>۲</sup> موسوم است.

این پارامتر به‌عنوان یکی از مشخصه‌های مهم در طول عمر روسازی مطرح است. همانطور که در شکل مشخص است، حتی برای کارایی انتقال بار ۱۰۰٪، دو طرف درز تغییر شکل پیدا می‌کند. بیشتر مشکلات کاربردی در روسازیهای بتنی، نتیجه ضعف

3. Corner Break

1. Faulting  
2. Load Transfer Effectiveness

اما به اندازه قابل قبول هست. در نتیجه تمرکز تنش چسبندگی اطراف داوول با بتن کمتر شده و در نتیجه بتن با مقاومت پایین تری مورد نیاز خواهد بود [۸].

#### ۴-۴- وزن واحد

وزن واحد میله‌های GFRP بسیار کمتر از فولاد است؛ به بیان دیگر وزن واحد میله‌های GFRP در حدود ۱/۳ برابر وزن واحد فولاد است. نرخ بالای مقاومت در برابر وزن، یکی از مزایای کاربردی آن در صنایع دریایی است. آسانی حمل و نقل، کاهش جراحات، سرعت نصب و جاگذاری از دیگر مزایای آن است [۶].

#### ۴-۵- خصوصیت نارسایی

یکی دیگر از خصوصیت‌های میله‌های GFRP عدم نرسایی آنها است. به بیان دیگر آنها در میدان مغناطیسی و الکتریکی خنثی هستند.

بنابراین استفاده از بتن مسلح GFRP در ریل‌های ترنهای مغناطیسی [۹]، و در باند فرودگاهها و مراکز رادار بسیار سودمند خواهد بود.

#### ۴-۶- رفتار خستگی

خستگی مشخصه‌ای برای تمامی مصالح سازه‌ای مطرح بوده و عدم توجه به آن ممکن است باعث خرابی‌های غیرقابل انتظاری شود؛ به ویژه در اجزایی که برای بارهای دوره‌ای یا تنش با شدت زیاد طراحی می‌شوند. در مقایسه با فولاد، مصالح GFRP از نظر خستگی رفتار بهتری از خود نشان می‌دهند، یعنی در تنشهای کمتر از ۱/۲ برابر تنش نهایی، به دلیل خستگی تخریب نمی‌شوند [۱۰].

بسیاری از سازه‌ها به دلیل خوردگی بخش مسلح کننده خود، به تعمیر نیاز دارند. به همین دلیل، روشهای ساخت و مصالح جدیدی برای محافظت این گونه سازه‌ها در برابر خوردگی، مورد نیاز خواهد بود. روشی واضح در کنترل این نوع خرابی، استفاده از مصالحی است که به طور طبیعی در محیطهای خورنده مقاومت کند که از آن جمله می‌توان به میله GFRP اشاره کرد [۵].

بنابراین عدم خوردگی میله‌های GFRP آن را به عنوان نوعی مصالح قابل ارزیابی در انتقال نیرو در داوولهای روسازیهای بتنی مطرح می‌سازد.

#### ۴-۴- مشخصات میله‌های GFRP ۱

##### ۴-۱- مقاومت در برابر خوردگی

یکی از بارزترین مشخصات میله‌های GFRP، مشخصه ضد خوردگی آن است. در واقع این مشخصه GFRP است که آن را به عنوان گزینه جایگزین فولاد مطرح ساخته [۶].

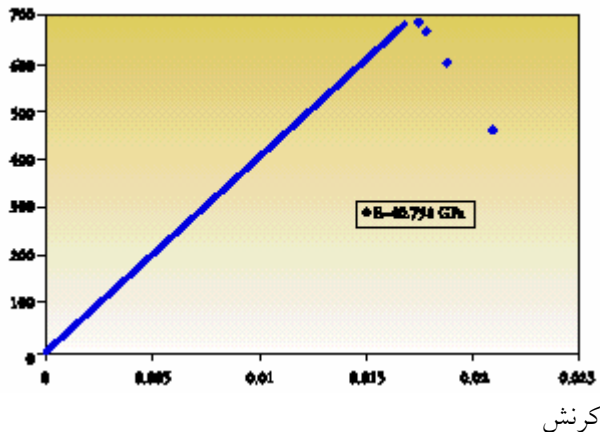
##### ۴-۲- مقاومت

میله‌های GFRP مقاوت کششی بالایی دارد که از مقاومت میلگردهای فولادی به مراتب بیشتر است. به همین دلیل میله‌های GFRP برای سازه‌های بتن مسلح به ویژه اعضای بتنی پیش تنیده مناسب می‌باشد. مقاومت کششی میله‌های GFRP اساساً به پارامترهای مقاومت کششی، اندازه و سطح مقطع الیاف بستگی دارد. مقاومت فشاری میله‌های GFRP عموماً کمتر از مقاومت کششی آن است [۷].

##### ۴-۳- ضریب الاستیسیته

ضریب الاستیسیته میله‌های GFRP با وجود اینکه به اندازه ضریب الاستیسیته فولاد مسلح کننده نیست،

تنش (MPa)



شکل ۲ منحنی عمومی تنش - کرنش میله‌های [GFRP۹]

مطالعات نشان داده است که اگر مدول الاستیسته داوول GFRP کم باشد، ترکهای خستگی بتن اطراف داوول نیز کاهش می‌یابد [۱۱].

#### ۱۰-۴- هزینه

در جدول ۲ مقایسه هزینه‌ای بین قطرهای مختلف GFRP آورده شده است.

جدول ۲ مقایسه قطر- هزینه و وزن میله‌های داوول [۱۱]

قطر داوول	m / هزینه	m / وزن
۵/۸" (۱۶ <sup>mm</sup> )	\$ ۴/۰۶۸	۰/۴۴
۳/۴" (۱۹ <sup>mm</sup> )	\$ ۵/۱۸۳	۰/۵۶
۱" (۲۵ <sup>mm</sup> )	\$ ۱۲/۸۶۰	۰/۹۵
۱-۱/۲" (۳۸ <sup>mm</sup> )	\$ ۲۹/۸۲۲	۲/۲۰

#### ۵- روش آزمایش و تهیه نمونه‌ها

##### ۱-۵- مقدمه

به‌منظور بررسی و مقایسه انتقال بار در داوولهای روسازیهای بتنی، آزمایش بیرون کشیدگی<sup>۲</sup> میلگرد از داخل بتن انجام شد. این آزمایش میزان چسبندگی داوول

2 . Pull Out Test

#### ۷-۴- انبساط حرارتی

ضریب انبساط حرارتی فولاد و بتن بسیار به یکدیگر نزدیک است.

$$\alpha_{con} = 10 \times 10^{-6} \text{ } \frac{1}{c} \text{ } \text{ و } \alpha_{st} = 12 \times 10^{-6} \text{ } \frac{1}{c}$$

ضریب انبساط حرارتی میگردهای GFRP با بتن تفاوت دارد و به‌صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\alpha_{CFRP} = (0.7-1) \times 10^{-6} \text{ } \frac{1}{c}$$

$$GFRP \alpha = (9-10) \times 10^{-6} \text{ } \frac{1}{c}$$

#### ۸-۴- مشخصات فیزیکی

مشخصات فیزیکی میله‌های GFRP در جدول ۱ آورده شده است. منحنی معمول تنش- کرنش میله‌های GFRP در شکل ۲ نشان داده شده است.

#### ۹-۴- کارایی میله‌های GFRP

در این مقاله از واژه کارایی برای اندازه‌گیری بازده درز استفاده شده است. کارایی درز بر پایه اندازه‌گیری تغییر مکان بخشهای بارگذاری شده و بارگذاری نشده درز تعریف می‌شود. ACPA<sup>۱</sup> کارایی بیش از ۷۵ درصد را برای درزها پیشنهاد می‌کند [۱۱].

جدول ۱ مشخصات فیزیکی داوولهای [GFRP۱۱]

قطر داوول (میلیمتر)	برش خمشی (N)-ASTM D	مقاومت برشی (kg/cm <sup>۲</sup> )	مقاومت کششی (kg/cm <sup>۲</sup> )	ضریب الاستیسته (g/cm <sup>۳</sup> × ۱۰ <sup>۵</sup> )
۱۶	۱۲۵۰۰	۱۵۱۷	۶۵/۵	۰.۸۱/۴
۱۹	۲۲۳۰۰	۱۵۱۷	۶۲	۰.۸۱/۴
۲۵	۳۷۹۰۰	۱۵۱۷	۵۵	۰.۸۱/۴
۳۸	۹۵۹۰۰	۱۵۱۷	-	۰.۸۱/۴

1. American Concrete Pavement Association

**۵-۳-۱- میله فولادی بدون پوشش اپوکسی**

همانطور که در مقدمه اشاره شد، یکی از میله‌های مورد استفاده در این تحقیق، میله ساده فولادی بدون پوشش است. برای این کار، آرماتور ساده‌ای از نوع Ck45 با قطر ۳۸ میلیمتر تهیه و سپس با برس سیمی و دستگاه فرز کاملاً زنگ‌زدایی شد. برای انجام آزمایش یک طرف میلگرد به اندازه ۱۰ سانتیمتر رزوه شد تا فک بتواند میلگرد را گرفته و آن را از داخل بتن بیرون بکشد. همچنین به دلیل کوتاه بودن آرماتور مورد مطالعه، میلگرد دیگری به انتهای آن جوش شد تا با دستگاه آزمایش همخوانی داشته باشد.

**۵-۳-۲- میله فولادی ساده با پوشش اپوکسی**

نحوه آماده‌سازی این میله دقیقاً مشابه روش ذکر شده برای میله فولادی بدون پوشش بوده و تفاوت این دو نمونه در پوشش اپوکسی آنها است.

معمولاً برای جلوگیری از زنگ‌زدگی میلگردهای فولادی مورد استفاده در روسازی، با پوشش ضدزنگی پوشانده می‌شوند. این کار از زنگ‌زدگی آرماتور جلوگیری کرده و عمر بهره‌برداری را بیشتر خواهد کرد. این ماده با نام پوشش میانی MIO<sup>۱</sup> حاوی پیگمنت و از نوع دوجزئی است که برای افزایش خواص شیمیایی، مکانیکی و گرمایی به کار می‌رود. جزء A شامل پودر رزین و جزء B سخت‌کننده آن است.

**۵-۳-۳- GFRP**

آخرین آزمایش با استفاده از میلگرد پلیمری GFRP انجام شد. این میلگردها نیز همانطور که در بخشهای قبل توضیح داده شد در داخل بتن جاسازی شد. برای بیرون کشیدن این میلگرد از داخل بتن، تمهید دیگری پیش‌بینی شد. سوراخی به قطر ۱۴/۱ میلیمتر و به طول ۱۰ سانتیمتر در داخل میلگرد ایجاد شد [۱۲] و سپس میلگرد آجدار

بتن را با اندازه‌گیری تغییر مکان به‌ازای بارهای مختلف مشخص می‌سازد.

هدف از این آزمایش وارد آوردن بار محوری خالص به میله داوول و مشاهده نحوه لغزش میله‌های داوول از داخل بتن است در هنگامی که چسبندگی بین داوول و بتن به‌طور کامل از بین می‌رود، [۱۹۹۶] (۷۶-۲۵۳ T AASHTO). این آزمایشهای کششی برای مشخص ساختن نحوه عکس‌العمل میله‌های GFRP فولادی بدون پوشش اپوکسی و همچنین میله‌های فولادی استاندارد با پوشش اپوکسی انجام می‌شود. این تحقیق شامل ساخت ۹ نمونه مکعبی بتنی با سه نوع مختلف میله داوول به شرح ذیل است:

- میله فولادی استاندارد با پوشش اپوکسی
- میله فولادی استاندارد بدون پوشش اپوکسی
- میله GFRP با قطر ۳۸ میلیمتر

**۵-۲- مصالح**

همانطور که در بالا گفته شد، هدف از این آزمایش مشخص ساختن نحوه لغزش بتن اطراف داوول در هنگام انبساط و انقباض است.

در همین راستا از سه نمونه میله‌های فولادی با پوشش اپوکسی، بدون پوشش اپوکسی و میله‌های GFRP برای مقایسه چسبندگی آنها با بتن استفاده شد. به این ترتیب که نمونه‌های مکعبی شکل بتنی با داوولهای مورد آزمایش درون آن ساخته و آزمایش شد.

**۵-۳- روش ساخت نمونه‌ها**

برای ساخت نمونه‌ها از قالبهای چوبی ۳۰×۳۰×۳۰ سانتیمتر استفاده شد [۱۲]. این قالبها همانطور که در شکل ۳ مشخص شده، در چهار وجه خود بر روی چوب کف به طریقی لولا شده‌اند که به راحتی بتوان نمونه را پس از گیرش اولیه، از داخل قالب بیرون آورد.

1. Micaceous Iron Oxide  
2. Hardner

خود، میلگرد توسط گیره به بالا کشیده و بار کششی با نرخ  $0.76$  سانتیمتر بر دقیقه بر نمونه وارد شد [۱۲].  
بار تا جایی ادامه داده شد که حداقل  $12/7$  میلیمتر حرکت در داوول اتفاق افتاد. مقدار حرکت داوول با اتصال دستگاه اندازه‌گیری DCDT<sup>۱</sup> به داوول اندازه‌گیری شد (شکل ۵) [۱۲].

### ۵-۶- نتایج آزمایش

در این آزمایش ۹ نمونه بتنی با مقاومت ۲۸ روزه تحت آزمایش بیرون کشیدگی میلگرد از داخل بتن قرار گرفت و نتایج نیرو- تغییر مکان برای هر ۹ نمونه به دست آمد. به دلیل کمبود قالب، آزمایشها در سه روز متفاوت و در هر مرحله با سه نمونه انجام و میانگین تغییر مکانهای حاصل از هر نوع نمونه با میلگرد خاص در نیروی مشخص محاسبه و در نهایت نمودار نهایی بار- تغییر مکان ترسیم شد. در ادامه نتایج هر یک از نمونه‌ها بحث خواهد شد.



شکل ۵ نمونه آزمایش کششی [۱۲]

### ۵-۶-۱- نمونه GFRP

همانطور که در نمودار ۱ ملاحظه می‌شود، نمودار از دو بخش تشکیل شده است:  
۱- قبل از لغزش و کاهش چشمگیر چسبندگی بین بتن و میله GFRP؛

۲- بعد از لغزش اساسی و افزایش تغییر مکان.

۱۴ میلیمتری در داخل سوراخ قرار گرفت و با چسب اپوکسی در داخل GFRP چسبانده شد (شکل ۳). از این میلگرد آجدار برای خارج ساختن GFRP از داخل بتن استفاده شد.  
به دلیل کوتاه بودن این میلگرد، میلگرد بلند دیگری به آن جوش داده شد.

### ۵-۴- تهیه نمونه‌ها

از سه قالب چوبی برای ساختن ۹ نمونه با سه نوع داوول استفاده شد. سطح داخلی قالبها ابتدا کاملاً با روغن آغشته شد تا بتن به راحتی پس از گیرش اولیه از قالب جدا شود.  
میلگردها دقیقاً در وسط قالب و به فاصله ۸ سانتیمتری از کف قالب قرار گرفت و سپس قالب بتن‌ریزی شد [۱۲].

برای این کار از تعدادی پایه چوبی که سوراخی به قطر ۳۸ میلیمتر در درون آن تعبیه شده بود برای قرار دادن میلگردها در وسط و همچنین در فاصله ۸ سانتیمتری از کف استفاده شد. به این ترتیب هر سه نوع میلگرد به راحتی درون قالب قرار گرفته و آماده بتن‌ریزی شد. در این آزمایش از بتن با عیار ۴۰۰ استفاده شده است.



شکل ۴ نمونه‌های ساخته شده در آزمایشگاه [۱۲]

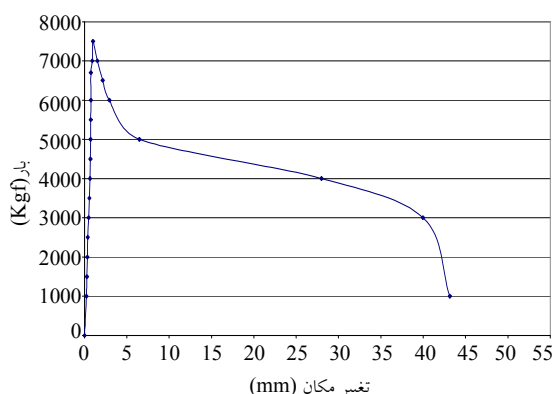
### ۵-۵- روش آزمایش

آزمایش بیرون کشیدن با استفاده از دستگاه جک پیستونی انجام شد. با محکم نگاه داشتن نمونه بتنی در جای

1. Direct Current Displacement Transducer

بیرون کشیدگی میلگرد واقع شدند. این نمودار بار-تغییر مکان در نمودار ۲ ترسیم شده است. همانطور که در نمودار مشخص است، در بخش اول تا رسیدن به حداکثر بار وارد شده، میزان تغییر مکان در حد ۱ میلیمتر بود و حداکثر نیروی چسبندگی برخلاف GFRP برابر ۷۵۰۰ Kgf است. این بدین معناست که چسبندگی اولیه بین میلگرد آهنی و بتن بیش از GFRP و بتن است.

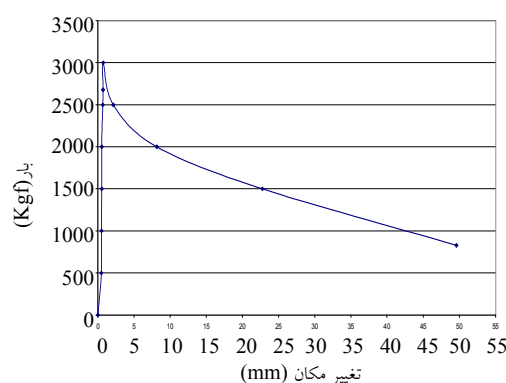
با رجوع مجدد به نمودار ۲ ملاحظه می شود که با تغییر مکان ۱۰ میلیمتری داوول از داخل بتن پس از لغزش میلگرد مقدار بار به اندازه ۲۷۰۰ Kgf از مقدار حداکثر کاسته می شود. این بدین معناست که کاهش چسبندگی تا رسیدن به نقطه ۱۰ میلیمتری در میلگردهای فولادی بدون پوشش اپوکسی، بیشتر از نمونه مشابه با GFRP است.



نمودار ۲ رفتار بار-تغییر مکان میلگردهای فولادی بدون پوشش اپوکسی [۱۲]

اما از نقطه تغییر مکان ۱۰ میلیمتری تا نقطه ۳۰ میلیمتر، تغییر مکان با شیب ملایمتری انجام می شود به طوری که از ۴۷۰۰ Kgf در ۱۰ میلیمتر تغییر مکان به ۳۸۰۰ Kgf در ۳۰ میلیمتر تغییر مکان می رسد. در این نمونه ها به دلیل اختلاف بسیار زیاد در مدول الاستیسیته بین میلگرد و بتن در مرحله اول نمودار، تا قبل از لغزش تنش بسیار زیادی در داخل بتن اطراف میلگرد ایجاد

همانطور که در نمودار مشخص است، حداکثر نیروی چسبندگی بین GFRP و بتن در حدود ۳۰۰۰ Kgf است که موجب تغییر مکانی در حدود ۱ میلیمتر می شود. لازم است ذکر شود که به دلیل یکسان بودن ضریب الاستیسیته GFRP و بتن، این دو مصالح تقریباً با یکدیگر عمل کرده و به همین دلیل در بخش اول نمودار تا رسیدن به بار حداکثر - که همان نیروی چسبندگی بتن و GFRP است - تنش بسیار جزئی در سطح مشترک این دو ماده در بتن ایجاد می شود. به همین دلیل در طول عمر روسازی، به دلیل عدم تمرکز تنش در بتن اطراف داوول و عدم وقوع پدیده خستگی، ترکهای ناشی از خستگی نیز به وقوع نخواهد پیوست. پس از اینکه نیروی وارد بر داوول از مقاومت چسبندگی GFRP و بتن فراتر رفت، در این لحظه میله با نیروی کمتری شروع به لغزش می کند، اما همانطور که مشاهده می شود، چسبندگی خود را به طور کامل از دست نداده است. نکته دیگر آنکه به دلیل سختی یکسان بتن و میله GFRP، کارایی درز در درازمدت تغییر نکرده و بر طبق نظریه ACPA، ۴۵٪ از بار چرخ وسیله نقلیه به داوول مجاور منتقل می شود.

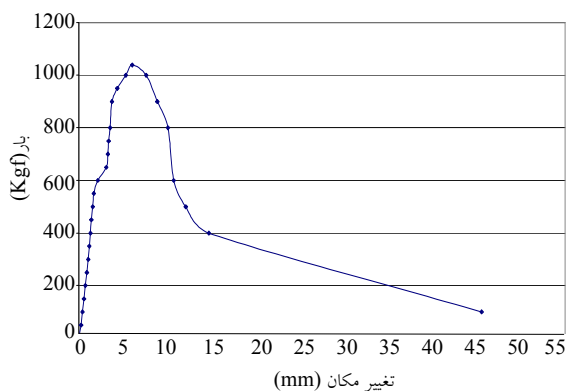


نمودار ۱ رفتار بار-تغییر مکان نمونه های GFRP [۱۲]

### ۵-۶-۲- میله بدون پوشش اپوکسی

در این آزمایش نیز همانطور که برای GFRP ذکر شد، سه نمونه ساخته شده در سه روز مختلف تحت آزمایش

دو سری نمونه گذشته است. در این نمودار نیز مانند نمونه میلگرد بدون پوشش اپوکسی، به دلیل اختلاف بسیار زیاد بین ضریب الاستیسیته بتن و فولاد، تنشهای زیادی در بتن اطراف فولاد به وجود خواهد آمد که به دلیل افزایش دوره‌ای بار و وقوع تنشهای خستگی و در نتیجه، آن ایجاد ترکهای خستگی در بتن اطراف داوول کارایی درز کم شده و آن را سریعتر به مرحله لغزش وارد می‌کند که خود باعث کاهش عمر داوول و کاهش در چسبندگی داوول و بتن و افزایش تغییر مکان خواهد شد.



نمودار ۳ رفتار بار - تغییر مکان میلگردهای فولادی

با پوشش اپوکسی [۱۲]

### ۷-۵- مقایسه نتایج

به منظور بررسی و مقایسه نحوه عملکرد هر سه نوع میلگرد مورد آزمایش، تحت آزمایش بیرون کشیدگی، از نمودار ۴ که خلاصه‌ای از نمودارهای ۱، ۲ و ۳ است استفاده شد. با استفاده از نمودار فوق می‌توان میزان باری را که در آن حرکت ۱۲/۷ میلیمتری داوول اتفاق می‌افتد، به دست آورد [۷۶-۱۹۹۶] (۲۵۳-۷۶). [AASHTO].

همانطور که از جدول ۳ مشخص است، میلگرد با پوشش اپوکسی و بدون پوشش اپوکسی، چسبندگی تقریباً یکسانی داشته و بهتر از میله GFRP به بتن می‌چسبند. اما به دلیل یکسان بودن تقریبی سختی GFRP و بتن و عدم خرابی بتن اطراف داوول به دلیل تمرکز تنش و از بین رفتن چسبندگی آن می‌توان

می‌شود که با عبور مکرر ترافیک، باعث ایجاد تنش خستگی داخل بتن و ایجاد ترکهای خستگی در بتن می‌شود که خود باعث کاهش کارایی درز خواهد شد. این بدین معنا است که به جای انتقال تقریبی نصف بار چرخ به داوول، بیشتر بار به بستر منتقل خواهد شد. بنابراین اختلاف بسیار زیاد در ضریب الاستیسیته داوول و بتن باعث فرسایش بتن در محل تماس آن با داوول در درازمدت خواهد شد.

### ۵-۶-۳- میلگرد با پوشش اپوکسی

در این آزمایش نیز مانند دو نمونه پیشین، نمونه‌های ساخته شده از میلگرد با پوشش اپوکسی تحت آزمایش بیرون کشیدگی واقع شدند. از تغییر مکانهای به دست آمده در بارهای یکسان، میانگین گرفته و نمودار ۳، بار-تغییر مکان، رسم شد.

همانطور که از نمودار مشخص است، حداکثر باری که باعث لغزش اولیه گشته و در واقع چسبندگی بین میلگرد و بتن کاهش چشمگیری می‌یابد، حدود بیش از ۱۰۰۰ Kgf است. اما همانطور که مشخص است، این بار موجب تغییر مکانی حدود ۵ میلیمتر شده که رقم نسبتاً بزرگی نسبت به بقیه نمونه‌ها است. به همین دلیل نمونه داوول پس از آزمایش مورد بازدید قرار گرفت و ملاحظه شد که پوشش اپوکسی روی میلگرد در فواصل مختلف، از میلگرد جدا شده است. میزان جابه‌جایی که بعد از بار ۶۰۰۰ Kgf در نمودار دیده می‌شود نیز به دلیل همین موضوع است. جابه‌جایی اولیه بسیار زیاد تا رسیدن به بار ۱۰۰۰ Kgf نیز به دلیل عدم چسبندگی خوب بین پوشش اپوکسی و بتن است.

مرحله دوم نمودار بعد از لغزش میلگرد و کاهش بسیار سریع مقدار نیروی چسبندگی در فاصله ۵ تا ۱۵ میلیمتر بود که کاهش نیروی را در حدود ۶۰۰۰ Kgf در پی داشت. این بدین معنا است که روند کاهش چسبندگی در میلگرد با پوشش اپوکسی بسیار بیش از



۱- ایجاد تنش بسیار جزئی در سطح مشترک داول GFRP و بتن، تا قبل از لغزش میلگرد، که به دلیل برابری ضریب الاستیسیته بتن و GFRP است.

۲- عدم تمرکز تنش در بتن اطراف داول GFRP و عدم وقوع پدیده خستگی بتن.

۳- عدم قفل شدن درز ناشی از خوردگی داولهای GFRP.

۴- عدم تغییر در کارایی درزهای با داول GFRP در درازمدت که خود به دلیل عدم خوردگی داول و سختی یکسان GFRP و بتن است.

۵- حداکثر باری که میلگرد فولادی با پوشش اپوکسی تا قبل از لغزش می تواند تحمل کند، تقریباً ۱/۷ برابر میلگرد بدون پوشش اپوکسی و در حدود دو برابر میلگرد GFRP است.

۶- شیب ملایم منحنی بار - تغییر مکان در داول GFRP پس از زایل شدن چسبندگی.

۷- بالا بودن کاهش چسبندگی در میلگرد با پوشش اپوکسی که بسیار بیش از دو سری نمونه دیگر است.

۸- ضعف ۵۰ درصدی نیروی چسبندگی داولهای GFRP در مقایسه با داولهای فولادی در سنین اولیه بارگذاری.

۹- نیروی چسبندگی در حدود ۴ برابر میله های GFRP در میلگردهای فولادی با پوشش اپوکسی.

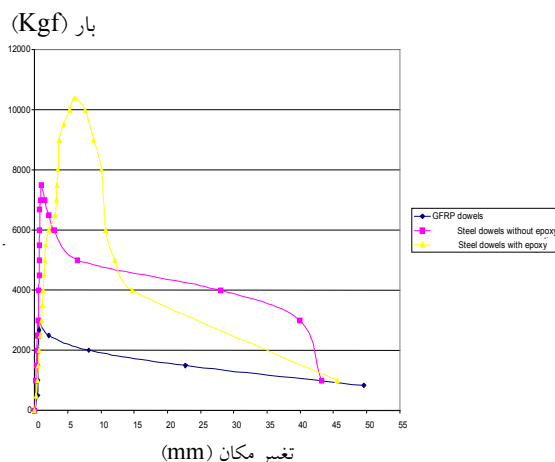
۱۰- بالاتر بودن تغییر مکان اولیه در داولهای فولادی با پوشش اپوکسی در مقایسه با دو نوع نمونه دیگر. این مهم به دلیل پوشش اپوکسی روی میلگرد است.

۱۱- حداکثر نیروی چسبندگی در حدود  $500 \text{ kgf}$  در میلگردهای فولادی بدون پوشش اپوکسی.

این بدین معنا است که چسبندگی اولیه بین میلگرد فولادی و بتن بیش از GFRP و بتن است.

۱۲- کاهش چسبندگی تا رسیدن به نقطه  $10 \text{ mm}$  در میلگردهای فولادی بدون پوشش اپوکسی، بیش از نمونه

چنین نتیجه گیری کرد که GFRP در طول عمر بهره برداری به حداکثر بار چسبندگی خواهد رسید اما به دلیل خوردگی میلگردهای فولادی این امکان وجود دارد که هیچگاه حداکثر نیروی چسبندگی را تجربه نکند.



نمودار ۴ رفتار بار - تغییر مکان سه نمونه داول مورد آزمایش [۱۲]

جدول ۳ میزان باری که در آن  $12/7$  میلی متر حرکت داول اتفاق می افتد [۱۲]

بار (Kgf)	میله داول
۴۵۰۰	میلگرد با پوشش اپوکسی (۳۸ میلی متر)
۴۶۰۰	میلگرد بدون پوشش اپوکسی (۳۸ میلی متر)
۱۸۰۰	میلگرد ۳۸ (GFRP میلی متر)

## ۵-۸- نتیجه گیری

همانطور که در بخشهای گذشته گفته شد، برای بررسی چسبندگی و توانایی انتقال بار داولهای GFRP در مقایسه با داولهای فولادی بدون پوشش اپوکسی و داولهای فولادی با پوشش اپوکسی، نمونه های بتنی مکعبی شکلی تهیه شد. این نمونه ها تحت آزمایش بیرون کشیدگی میلگرد از داخل بتن واقع شدند.

براساس آنچه گفته شد، موارد ذیل قابل نتیجه گیری است:

- [5] Mostofinejad Davood, "An Overview on FRP Reinforced Concrete as a Corrosion-Resistant Element in Offshore Structures", Icompas 2000, 4<sup>th</sup> International Conference on Coasts, Ports, and Marine Structures, Bandar Abbas, Iran.
- [6] Martine, Roderick H., "Fiber Reinforced, Plastic Standards for the offshore Industry," SAMPE Journal, Society for the Advancement of Material and Process Engineering, 1996, pp. 37-41.
- [7] Bedrad, Claude, "Composite Reinforcing Bars: Assessing Their Use in Concrete," Concrete International, 1992, pp. 55-59.
- [8] Yamasaki, Y., Masuda, Y., Tanano, H., and Shimizu, A., "Fundamental Properties of Continuous Fiber Bars," Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, International Symposium, ACI-SP-138, 1993, pp. 715-730.
- [9] Tarricone, Paul, "Plastic Potential," Civil Engineering, 1993, pp.62-64.
- [10] Ehsani, M.R., Saadatmanesh, H. and Tao, S., "Bond of GFRP Rebars to Ordinary, Strength Concrete," Fiber-Reinforced-Plastic Reinforcement for Concrete Structures, International Symposium, ACI-SP-138, 1993, pp. 333-346.
- [11] www.hughesbros.com

[۱۲] پاژنگ علی؛ «کارایی داوولهای GFRP در روسازیهای بتنی»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس، بهار ۱۳۸۱.

مشابه با GFRP است، اما از ۱۰ mm تا ۳۰ mm، تغییر مکان با شیب ملایمتری انجام می‌شود.

۱۳- به دلیل اختلاف بسیار زیاد ضریب الاستیسیته بین میلگرد فولادی و بتن در مقایسه با GFRP و بتن تا قبل از لغزش، تنش زیادی در داخل بتن اطراف میلگرد ایجاد می‌شود که با عبور مکرر ترافیک، باعث ایجاد تنش خستگی داخل بتن و ایجاد ترکهای خستگی ناشی از آن می‌شود. این مسأله کاهش کارایی درز را به نسبت GFRP در پی خواهد داشت.

#### ۶- منابع

- [1] Porter, M.L.; B.W. Hughes; B.A. Barnes; K.P. Viswanath; "NonCorrosive Tie Reinforcing and Dowel Bars for Highway Pavement Slabs"; Submitted to Highway Division of the Iowa Department of Transportation and Iowa Highway Research Board, Project No. HR 343, November 1993.
- [2] Max L. Porter, Robert J. Guinn, Jr. Andrew L. Lundy, "Dowel Bar Optimization", Iowa State University, October 2001
- [3] 7<sup>th</sup> International Conference on Concrete Pavements, "Using Fiber-Reinforced Polymer Load Transfer device in jointed Concrete Pavements"- Orlando, Florida, USA- September 9-13, 2001.
- [4] American Concrete Pavement Association, <http://www.Pavement.com/Pavetech/tech/Fundamentals/fundloadtran.html>.