



بررسی آزمایشگاهی تعیین مقاومت چسبندگی بین بتن و میلگرد در مقاطع دایروی

هادی زرین طلا^۱، مهدی درویش هاشمی^۲، محمد عزیزافشاری^۳

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد شهر بناب، h.zartala@hotmail.com

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد شهر بناب

چکیده

امروزه کاربرد سازه‌های بتنی بسیار رایج تر از دیگر سازه‌های مورد استفاده در ساختمان‌ها شده است به طوری که در اغلب کشورهای جهان نسبت مصرف بتن به فولاد از ۱۰ به ۱ نیز فراتر رفته است کل بتنی که در سال ۹۱ میلادی در جهان مصرف شده است بالغ بر ۳ بیلیون تن یعنی یک تن به ازای هر نفر در جهان تخمین زده می‌شود. تنها ماده‌ای را که بشر به این میزان مصرف می‌کند، آب است. [۱] چسبندگی بین فولاد و بتن در سازه‌های بتن آرمه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که بستگی به طرح اختلاط بتن و شکل و نحوه قرار گرفتن فولاد دارد. سنجش چسبندگی بین فولاد و بتن توسط آزمایشهای مختلفی صورت می‌گیرد که یکی از آنها آزمایش بیرون کشیدگی (pull-out) است. در این تحقیق اثر طول میلگرد مدفون شده در بتن، اثر مقدار پوشش بتن روی میلگرد و اثر مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن، بر روی چسبندگی بین بتن و فولاد توسط آزمایش بیرون کشیدگی با سه آزمایش بررسی شده و نتایج زیر به دست آمده است.

۱- با افزایش طول آرماتور داخل نمونه بتنی در میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود.

۲- با افزایش قطر نمونه بتنی، میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه، میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: مقاومت فشاری ۱، مقاومت چسبندگی ۲، پوشش بتنی ۳

۱- مقدمه

با توجه به اهمیت چسبندگی بین فولاد و بتن و تاثیر آن در رفتار عضو بتن آرمه لازم است مطالعه گسترده‌ای در باره‌ی عوامل موثر بر این چسبندگی و رابطه آن با متغیرهای مرتبط انجام گیرد. از جمله‌ی متغیرهای مذکور می‌توان به مقاومت فشاری بتن، مقدار طول آرماتور مدفون شده در داخل بتن و مقدار پوشش بتن روی میلگرد اشاره کرد. در آزمایشگاه تاثیر این عوامل بوسیله‌ی آزمایشهای مختلفی که مهمترین آنها آزمایش بیرون کشیدگی (PULL-OUT) است، اندازه‌گیری می‌شود. مقایسه‌ی نتایج بدست آمده ما را برای شناخت هرچه بیشتر رابطه‌ی چسبندگی بین بتن و فولاد با متغیرهای مذکور رهنمود خواهد کرد.

۲- پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت شدت پیوستگی بتن فولاد و بتن از همان اوایل کاربرد بتن آرمه در صنعت ساختمان، همواره نحوه همکاری و رفتار بتن و آرماتور در کنار همدیگر مورد توجه دانشمندان و پژوهشگران قرار گرفته و در این زمینه کارهای زیادی انجام گرفته است آزمایشی که در این مورد بیشتر مورد توجه است آزمایش بیرون کشیدگی (pull-out) است. در این آزمایش نیرو به میلگرد فولادی که در یک نمونه بتنی مدفون است وارد می شود و در مدت افزایش نیرو مقدار تنش چسبندگی اندازه گیری می شود. این آزمایش چسبندگی بین فولاد و بتن مربوط به هیت در سال ۱۸۷۷ میلادی می باشد. در سال ۱۹۰۹ میلادی ابرامز آزمایشات دیگری در این مورد انجام داد خلاصه ای از بزرگترین پیشرفتها در مطالعه خواص چسبندگی در قرن اخیر در ACI Commite 408 آورده شده است.

۱-۲- آزمایش بیرون کشیدگی (Pull - out)

در این آزمایش آرماتور در داخل یک قالب بتنی استوانه ای یا مکعبی قرار داده شده و نیروی لازم برای بیرون کشیدن آرماتور از داخل بتن را به دقت اندازه گیری می کنند. این آزمایش به دو روش قابل انجام می باشد. ۱- آرماتور در مرکز نمونه ی بتنی. ۲- آرماتور در خارج از مرکز نمونه ی بتنی.

۱-۱-۲- روش اول: آرماتور در مرکز نمونه بتنی

این روش که بیشتر با استفاده از نمونه های استوانه ای انجام می شود به این صورت می باشد که آرماتور را در داخل یک قالب استوانه ای با قطر تقریبی ۷/۵ الی ۲۰ سانتیمتر و متناسب با قطر آرماتور در طول مدفون ۱۵ الی ۳۰ سانتیمتر قرار داده و نمونه را پس از بتن ریزی و عمل آوری بتن در شرایط مورد نظر تحت آزمایش قرار می دهند. نحوه ی اعمال نیرو به نمونه نیز بدین صورت می باشد که نمونه ی بتنی را بر روی تکیه گاهی که معمولاً از یک صفحه فلزی نسبتاً صلب که در مرکز آن یک سوراخ جهت عبور آرماتور به قطر تقریبی ۲ الی ۳ برابر قطر میلگرد وجود دارد قرار داده و توسط جکهای هیدرولیکی قابل کنترل، نیروی کششی بتدریج به میلگرد اعمال می شود [۲].

۱-۲-۲- روش دوم: آرماتور در خارج از مرکز نمونه ی بتنی

ضخامت پوشش بتنی روی میلگرد که در تیرها و ستونهای بتن آرمه اغلب کم می باشد که می تواند از عوامل موثر در مقدار مقاومت پیوستگی نهایی آرماتورها باشد. به جهت تاثیر ضخامت این پوشش نمونه هایی طراحی شده است که در آن نمونه ی مورد آزمایش از یک بلوک بتنی مکعبی (مکعب مستطیل) تشکیل شده که میلگرد در یکی از وجوه آن طوری قرار داده می شود که ضخامت پوشش بتنی روی آن در حد ضخامت پوششهای متداول در سازه های بتن آرمه باشد [۲].

۳- مشخصات نمونه ها

میلگرد مورد استفاده در تمام آزمایشها **AII** و سیمان تیپ دو صوفیان می باشد. نظر به اینکه هدف بررسی تأثیر شدت مقاومت پیوستگی بر روی نمونه های استوانه ای است و نمونه های استوانه ای ساخته شده دارای طول، قطر و مقاومت فشاری ۲۸ روزه مختلفی می باشد. به همین علت در این مقاله سه نوع آزمایش انجام گرفته که در زیر به شرح آنها می پردازیم:

۱-۳- آزمایش اول

در این آزمایش ۵ نوع نمونه بتنی و از هر کدام ۴ عدد ساخته شده که جمعاً ۲۰ نمونه موجود می باشد. که دارای قطر ۱۲۰ میلیمتر و مقاومت فشاری طرح شده ی ۲۵ نیوتن بر میلیمتر مربع ، ثابت و طول متغیر است که طول نمونه ها بترتیب ۱۰۰-۱۵۰-۲۰۰-۲۵۰-۳۰۰ میلیمتر می باشد.

۳-۲- آزمایش دوم

در این آزمایش ۶ نوع نمونه بتنی و از هر کدام ۴ عدد ساخته شده که جمعاً ۲۴ نمونه موجود می باشد. که دارای طول ۲۰۰ میلیمتر و مقاومت فشاری طرح شده ۲۵ نیوتن بر میلیمتر مربع ای ثابت و قطر متغیر است که قطر نمونه ها بترتیب ۵۹/۲-۸۶/۴-۱۰۵/۶-۱۲۰-۱۵۳/۶-۱۹۲ میلیمتر می باشد.

۳-۳- آزمایش سوم

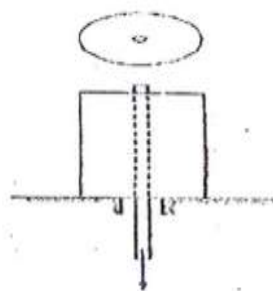
در این آزمایش ۴ نوع نمونه بتنی و از هر کدام ۴ عدد ساخته شده که جمعاً ۱۶ نمونه موجود می باشد. که طول ۲۰۰ میلیمتر و قطر ۱۲۰ میلیمتر ثابت و مقاومت فشاری ۲۸ روزه متغیر است که میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بترتیب ۱۶/۱-۲۰/۳-۲۵/۶-۳۲ نیوتن بر میلیمتر مربع می باشد.

۴- یک سری نمونه شاهد

هدف از آزمایش نمونه های شاهد دستیابی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های طرح شده است برای هر نمونه یک نمونه شاهد داریم که طول آن ۳۰ سانتیمتر و قطر آن ۱۵ سانتیمتر می باشد نمونه های شاهد پس از ۲۸ روز نگهداری در آب تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفتند تا مشخص شود که شدت مقاومت پیوستگی بین بتن و فولاد با چه مقدار مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن بوده است و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن برای هر نمونه اندازه گیری شده و میانگین آنها ملاک مقاومت فشاری است.

۵- روش شکستن نمونه ها

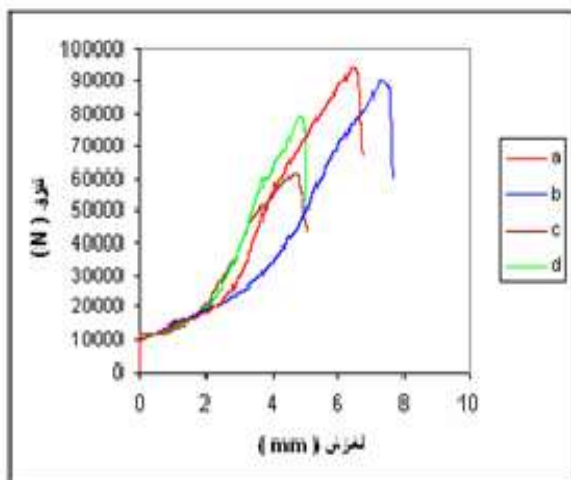
نمونه های ساخته شده پس از ۲۸ روز نگهداری در آب جهت انجام آزمایش بیرون کشیدگی به آزمایشگاه مقاومت مصالح منتقل شدند. برای انجام آزمایش نیز از دستگاه کشش مستقیم میلگرد استفاده شد. ظرفیت دستگاه کشش ۱۰۰ تن می باشد و برای شکستن نمونه ها از یک صفحه فولادی به ضخامت ۱ سانتیمتر که در مرکز آن یک سوراخ به قطر ۴ سانتی متر وجود داشت بعنوان تکیه گاه بلوک بتنی استفاده شد این صفحه بر روی یک چهار پایه فلزی روی دستگاه قرار گرفت. هدف اندازه گیری ماکزیمم نیروی کششی قابل تحمل توسط نمونه ها می باشد. چون سرعت کشش بروی مقاومت پیوستگی بین فولاد و بتن تأثیر گذار است. تمام نمونه ها با یک سرعت خاص تحت آزمایش قرار گرفته شده است. سرعت دستگاه کشش بر روی عدد ۱/۲۵ میلیمتر بر دقیقه تنظیم شده است که علت آن برای نزدیکی با واقعیت های عملی و رعایت استاندارد می باشد. [۳]



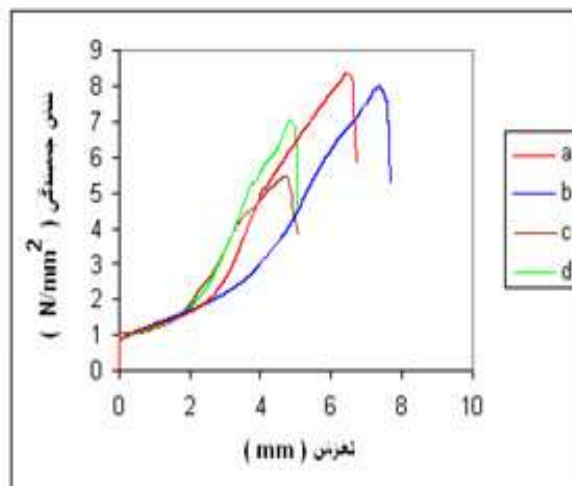
شکل ۱: آزمایش مقاومت چسبندگی (PULL-OUT) [۲]

۶- نحوه ترسیم نمودار های نیرو - لغزش و تنش چسبندگی - لغزش

این آزمایشها توسط دستگاه کشش (یونیورسال) انجام گرفته است دستگاه قابل اتصال به کامپیوتر بوده و نمودار نیرو - لغزش توسط خود کامپیوتر ترسیم می شد. سپس با استفاده از داده های نمودار نیرو - لغزش و با استفاده از رابطه $\tau = \frac{F}{\pi L d}$ (τ تنش چسبندگی ، F نیروی کششی ، L طول میلگرد مدفون در بتن و d قطر میلگرد) تنش چسبندگی محاسبه گردیده و نمودار تنش چسبندگی - لغزش ترسیم شده است. [۴] چون نمونه ای با مشخصات فنی $D=120mm$ و $L=200mm$ و $f'_c=25.6 N/mm^2$ در هر سه آزمایش اول ، دوم و سوم وجود دارد، بنابراین فقط به نمودار نیرو - لغزش و تنش چسبندگی - لغزش ، نمونه با مشخصات بالا اکتفا کردیم که در شکل ۲ و ۳ آورده شده است.



شکل ۲: نمودار نیرو - لغزش



شکل ۳: نمودار تنش چسبندگی - لغزش

پارامترهای مورد استفاده در تمامی آزمایشها عبارتند از:

D قطر نمونه استوانه ای

f'_a میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه بدست آمده

ρ نسبت سطح مقطع میلگرد به سطح مقطع بتن

L طول نمونه استوانه

$\tau_{(max)a}$ میانگین حداکثر تنش چسبندگی

f'_c مقاومت فشاری ۲۸ روزه طرح شده

f'_t مقاومت فشاری ۲۸ روزه بدست آمده

MAX τ حداکثر تنش چسبندگی

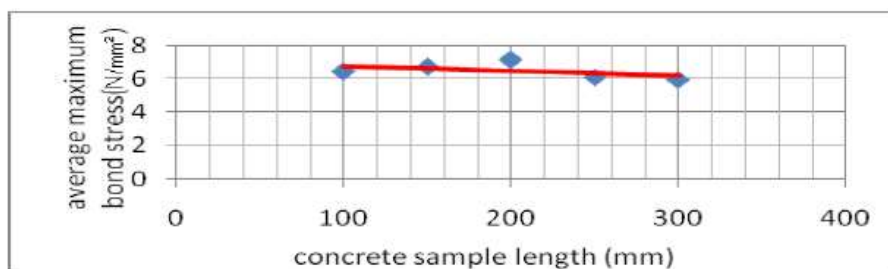
Fmax حداکثر نیروی کششی

۷- آزمایش اول

در این آزمایش قطر و مقاومت فشاری طرح شده نمونه ثابت بوده و طول نمونه متغیر بود و نتایج آزمایش مطابق جدول ۱ بدست آمد.

جدول ۱: نتایج آزمایش اول

ردیف	نمونه های آزمایش	D(mm)	L(mm)	(N/mm ²) f'_c	(N/mm ²) f'_t	(N/mm ²) f'_a	ρ	F _{max} (N)	τ_{max} (N/mm ²)	$\tau_{(max)a}$ (N/mm ²)
۱	a	۱۲۰	۱۰۰	۲۵	۲۴		۰/۰۲۲	۳۴۵۰۰	۶/۰۱	
	b	۱۲۰	۱۰۰	۲۵	۲۷		۰/۰۲۲	۴۴۴۰۰	۷/۸۷	
	c	۱۲۰	۱۰۰	۲۵	۲۵		۰/۰۲۲	۳۳۲۱۰	۵/۸۷	
	d	۱۲۰	۱۰۰	۲۵	۲۶	۲۵/۵	۰/۰۲۲	۳۴۵۵۰	۶/۱۳	۶/۴۵
۲	a	۱۲۰	۱۵۰	۲۵	۲۵/۵		۰/۰۲۲	۵۷۷۰۰	۶/۸۰	
	b	۱۲۰	۱۵۰	۲۵	۲۶/۵		۰/۰۲۲	۵۹۰۰۰	۶/۹۵	
	c	۱۲۰	۱۵۰	۲۵	۲۶		۰/۰۲۲	۶۴۰۵۰	۷/۵۵	
	d	۱۲۰	۱۵۰	۲۵	۲۳	۲۵/۲۵	۰/۰۲۲	۴۶۲۰۰	۵/۴۴	۶/۶۸
۳	a	۱۲۰	۲۰۰	۲۵	۲۶/۱		۰/۰۲۲	۹۲۱۸۰	۸/۱۵	
	b	۱۲۰	۲۰۰	۲۵	۲۴/۱		۰/۰۲۲	۸۰۴۹۰	۷/۱۲	
	c	۱۲۰	۲۰۰	۲۵	۲۷/۵		۰/۰۲۲	۶۱۳۲۰	۵/۴۲	
	d	۱۲۰	۲۰۰	۲۵	۲۴/۷	۲۵/۶	۰/۰۲۲	۷۹۹۵۰	۷/۰۶	۶/۹۴
۴	a	۱۲۰	۲۵۰	۲۵	۲۷/۵		۰/۰۲۲	۹۱۶۱۰	۶/۴۸	
	b	۱۲۰	۲۵۰	۲۵	۲۶/۳		۰/۰۲۲	۱۱۸۶۷۰	۸/۳۹	
	c	۱۲۰	۲۵۰	۲۵	۲۵/۴		۰/۰۲۲	۷۲۴۶۰	۵/۱۲	
	d	۱۲۰	۲۵۰	۲۵	۲۶	۲۶/۳	۰/۰۲۲	۶۴۱۱۰	۴/۵۳	۶/۱۳
۵	a	۱۲۰	۳۰۰	۲۵	۲۴/۳		۰/۰۲۲	۱۰۳۳۳۰	۶/۰۹	
	b	۱۲۰	۳۰۰	۲۵	۲۶/۵		۰/۰۲۲	۱۱۵۹۰۰	۶/۸۳	
	c	۱۲۰	۳۰۰	۲۵	۲۷/۶		۰/۰۲۲	۹۶۰۹۰	۵/۶۶	
	d	۱۲۰	۳۰۰	۲۵	۲۵/۹	۲۶/۰۷	۰/۰۲۲	۹۲۹۸۰	۵/۴۸	۶



شکل ۴: نمودار طول نمونه بتنی - میانگین حداکثر تنش چسبندگی

۱-۷- نتیجه گیری

با توجه به شکل ۴ نتیجه ای که از نمودار می توان گرفت که نمودار رسم شده تقریباً به خط افقی نزدیک است و این بدان معناست که برای طولهای مختلف میلگرد که در داخل بتن مدفون است در مقدار میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی تغییرات قابل ملاحظه ای مشاهده نمی شود.

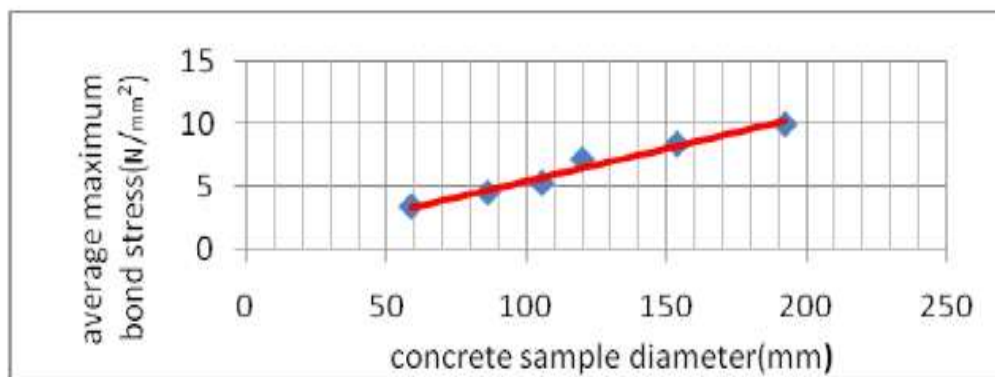
یعنی تنش چسبندگی بمقدار طول میلگرد در داخل بتن بستگی ندارد.

۸- آزمایش دوم

در این آزمایش طول و مقاومت فشاری نمونه طرح شده ثابت و قطر نمونه متغیر بود که نتایج آزمایش مطابق جدول ۲ بدست آمد.

جدول ۲: نتایج آزمایش دوم

$\tau_{(\max)a}$ (N/m ²)	τ_{\max} (N/mm ²)	F_{\max} (N)	ρ	f'_a (N/mm ²)	f'_t (N/mm ²)	D(mm)	نمونه های آزمایش	ردیف
	۳/۶۶	۴۱۴۰۰	۰/۰۹۲		۲۵/۹۰	۵۹/۲۰	a	
	۳/۳۳	۳۷۷۰۰	۰/۰۹۲		۲۶/۸۰	۵۹/۲۰	b	
	۳/۵۰	۳۹۶۲۰	۰/۰۹۲		۲۵/۱۰	۵۹/۲۰	c	
۳/۴۲	۳/۲۰	۳۶۱۷۰	۰/۰۹۲	۲۶/۱۰	۲۶/۶۰	۵۹/۲۰	d	
	۴/۳۴	۵۱۴۱۰	۰/۰۴۳		۲۴/۴۰	۸۶/۴۰	a	۲
	۴/۰۷	۴۶۱۳۰	۰/۰۴۳		۲۶/۰۰	۸۶/۴۰	b	
	۵/۳۴	۶۰۴۴۰	۰/۰۴۳		۲۴/۷۰	۸۶/۴۰	c	
۴/۵۲	۴/۱۴	۴۶۹۱۰	۰/۰۴۳	۲۵/۴۰	۲۶/۵۰	۸۶/۴۰	d	
	۴/۹۳	۵۵۸۳۰	۰/۰۲۹		۲۳/۸۰	۱۰۵/۶۰	a	۳
	۵/۴۲	۶۱۳۹۰	۰/۰۲۹		۲۵/۵۰	۱۰۵/۶۰	b	
	۵/۲۶	۵۹۴۹۰	۰/۰۲۹		۲۶/۴۰	۱۰۵/۶۰	c	
۵/۲۹	۵/۵۵	۶۲۸۷۰	۰/۰۲۹	۲۵/۷۰	۲۷/۱۰	۱۰۵/۶۰	d	
	۸/۲۳	۹۳۱۸۰	۰/۰۲۲		۲۶/۱۰	۱۲۰	a	۴
	۸/۰۰	۹۰۴۹۰	۰/۰۲۲		۲۴/۱۰	۱۲۰	b	
	۵/۴۲	۶۱۳۲۰	۰/۰۲۲		۲۷/۵۰	۱۲۰	c	
۷/۱۷	۷/۰۶	۷۹۹۵۰	۰/۰۲۲	۲۵/۶۰	۲۴/۷۰	۱۲۰	d	
	۸/۷۲	۹۸۷۳۰	۰/۰۱۳		۲۷/۶۰	۱۵۳/۶۰	a	۵
	۷/۶۱	۸۶۱۴۰	۰/۰۱۳		۲۶/۳۰	۱۵۳/۶۰	b	
	۸/۷۶	۹۹۱۲۰	۰/۰۱۳		۲۴/۵۰	۱۵۳/۶۰	c	
۸/۳۴	۸/۴۴	۹۵۴۷۰	۰/۰۱۳	۲۶/۰۵	۲۵/۸۰	۱۵۳/۶۰	d	
	۱۰/۴۳	۱۱۷۰۰۰	۰/۰۰۸		۲۳/۱۰	۱۹۲	a	۶
	۱۰/۳۰	۱۱۶۵۱۰	۰/۰۰۸		۲۷/۷۰	۱۹۲	b	
	۱۰/۰۰	۱۱۳۰۴۰	۰/۰۰۸		۲۶/۹۰	۱۹۲	c	
۹/۹۴	۹/۰۳	۱۰۲۱۵۰	۰/۰۰۸	۲۵/۷۷	۲۵/۴۰	۱۹۲	d	



شکل ۵: نمودار قطر بتنی - میانگین حداکثر تنش چسبندگی

۸-۱- نتیجه گیری

با توجه به نمودار شکل ۵ مشاهده می شود که با افزایش قطر نمونه بتنی (D) و ثابت ماندن قطر میلگرد (d) یا بعبارت دیگر با کمتر شدن مقدار سطح مقطع فولاد به سطح مقطع بتن (ρ) تنش چسبندگی افزایش می یابد. از طرفی طبق آیین نامه بتن ایران مقدار حداقل پوشش بتنی روی میلگرد ها از رابطه زیر بدست می آید: [۵]

$$\left. \begin{array}{l} 2.5 \text{ سانتیمتر} \\ \text{قطر میلگرد} \end{array} \right\} \text{بیشترین مقدار} = \text{حداقل پوشش بتن}$$

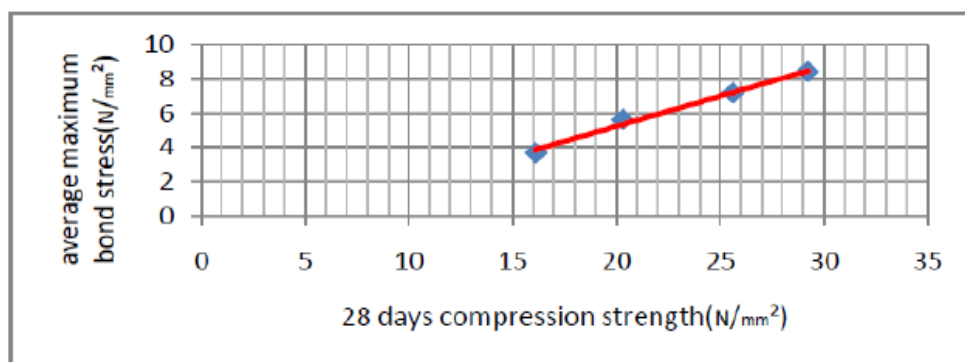
که در صورت نیاز به چسبندگیهای بالاتر این حداقل مقدار کافی نخواهد بود و نباید چنین تصور شود که با رعایت این مقادیر می توان تنش چسبندگی دلخواه را بدست آورد.

۹- آزمایش سوم

در این آزمایش طول و قطر نمونه ثابت و مقاومت فشاری طرح شده متغیر بود که نتایج آزمایش مطابق جدول ۳ بدست آمد.

جدول ۳: نتایج آزمایش سوم

$\tau_{(max)a}$ (N/mm ²)	τ_{max} (N/mm ²)	F_{max} (N)	ρ	(N/mm ²) f'_a	(N/mm ²) f'_t	(N/mm ²) f'_c	L(mm)	D(mm)	نمونه های آزمایش	گروه
	۳/۴۴	۳۸۹۱۰	۰/۰۲۲		۱۶/۵	۱۵	۲۰۰	۱۲۰	a	۱
	۳/۹۷	۴۵۰۰۰	۰/۰۲۲		۱۶/۱	۱۵	۲۰۰	۱۲۰	b	
	۳/۷۸	۴۲۷۵۰	۰/۰۲۲		۱۴/۲	۱۵	۲۰۰	۱۲۰	c	
۳/۶۷	۳/۵۲	۳۹۸۴۰	۰/۰۲۲	۱۶/۱	۱۷/۶	۱۵	۲۰۰	۱۲۰	d	
	۷/۱۳	۸۰۷۴۰	۰/۰۲۲		۱۹/۴	۲۰	۲۰۰	۱۲۰	a	۲
	۶/۴۷	۷۳۲۸۰	۰/۰۲۲		۲۲/۳	۲۰	۲۰۰	۱۲۰	b	
	۳/۴۲	۳۸۷۰۰	۰/۰۲۲		۲۰/۹	۲۰	۲۰۰	۱۲۰	c	
۵/۶۲	۵/۴۹	۶۲۱۸۰	۰/۰۲۲	۲۰/۳	۱۸/۶	۲۰	۲۰۰	۱۲۰	d	
	۸/۲۳	۹۳۱۸۰	۰/۰۲۲		۲۶/۱	۲۵	۲۰۰	۱۲۰	a	۳
	۸	۹۰۴۹۰	۰/۰۲۲		۲۴/۱	۲۵	۲۰۰	۱۲۰	b	
	۵/۴۲	۶۱۳۲۰	۰/۰۲۲		۲۷/۵	۲۵	۲۰۰	۱۲۰	c	
۷/۱۷	۷/۰۶۹	۷۹۹۵۰	۰/۰۲۲	۲۵/۶	۲۴/۷	۲۵	۲۰۰	۱۲۰	d	
	۱۱/۷۰	۱۳۲۳۳۰	۰/۰۲۲		۲۸/۶	۳۰	۲۰۰	۱۲۰	a	۴
	۸/۹۴	۱۰۱۱۵۰	۰/۰۲۲		۲۸/۲	۳۰	۲۰۰	۱۲۰	b	
	۶/۷۴	۷۶۳۱۰	۰/۰۲۲		۲۹/۵	۳۰	۲۰۰	۱۲۰	c	
۸/۴۲	۶/۲	۸۹۵۶۰	۰/۰۲۲	۲۹/۲	۳۰/۵	۳۰	۲۰۰	۱۲۰	d	



شکل ۶: نمودار مقاومت فشاری ۲۸ روزه - میانگین حداکثر تنش چسبندگی

۹-۱- نتیجه گیری

با توجه به نمودار شکل ۶ با افزایش مقاومت ۲۸ روزه بتن f'_c از مقدار ۱۵ نیوتن بر میلیمتر مربع تا مقدار ۳۰ نیوتن بر میلیمتر مربع میانگین حداکثر تنش چسبندگی $\tau_{(max)a}$ نیز افزایش می یابد. با توجه به رابطه $f_b = \lambda_1 \lambda_2 f_{bd} \leq f_{bm}$ که در آن $f_{bm} = 0/65 \sqrt{f'_c}$ و برای

میلگردهای با قطر مساوی یا کمتر از ۲۵ میلیمتر $f_{bd} = f_{bm}$ است. [4] بنا بر این $f_b = \lambda_1 \lambda_2 \times 0/65 \sqrt{f'_c}$ از طرفی در مواردی که پوشش بتنی روی میلگردها بیشتر از قطر میلگرد باشد $\lambda_1 = 1$ بوده و همچنین برای ضریب λ_2 اگر پوشش بتن روی میلگرد بزرگتر از ۲/۵ برابر قطر میلگرد باشد $\lambda_2 = 1.25$ خواهد بود بر این اساس شدت مقاومت چسبندگی بتن برای مقاومت‌های مذکور بصورت جدول ۴ بدست می‌آید:

جدول ۴: مقایسه مقاومت پیوستگی (f_b) بتن و میانگین حداکثر تنش چسبندگی $\tau_{(\max)a}$

f'_a (N/mm ²)	f_b (N/mm ²)	$\tau_{(\max)a}$ (N/mm ²)
۱۶/۱	۳/۲۶	۳/۶۷
۲۰/۳	۳/۶۶	۵/۶۲
۲۵/۶	۴/۱۱	۷/۱۷
۲۹/۲	۴/۳۹	۸/۴۲

از مقایسه f_b و $\tau_{(\max)a}$ مشاهده می‌شود برای مقاومت ۱۶/۱ نیوتن بر متر مربع اعداد بدست آمده نزدیک به هم اند اما با افزایش مقاومت f'_a مقادیر $\tau_{(\max)a}$ افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به افزایش f_b دارد بطوریکه برای مقاومت ۲۹/۲ نیوتن بر میلیمتر مربع حدود دو برابر می‌باشد.

۱۰- نتیجه گیری کلی

۱- با افزایش طول آرماتور داخل نمونه بتنی در میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی تغییرات قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود.

۲- با افزایش قطر نمونه بتنی میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی افزایش می‌یابد.

۳- با افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی افزایش می‌یابد و در مقایسه با رابطه مقدار میانگین ماکزیمم تنش چسبندگی بدست آمده افزایش قابل ملاحظه‌ای دارد.

مراجع

- [۱] رمضانیان پور، علی اکبر، "تکنولوژی بتن پیشرفته"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۳.
- [۲] سلیمانی مهدی، ۱۳۷۹، بررسی مقاومت چسبندگی بین فولاد و بتن تحت تاثیر نوع و ویژگیهای فولاد و سرعت کشش، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تبریز.
- [۳] رمضانیاپور علی اکبر، طاحونی شاپور، پیرایش، منصور، دست نامه اجرای بتن، انتشارات علم و ادب، تابستان ۱۳۸۰.
- [۴] Mr . G.B.KIM , Prof. P. WALDRON , Dr . Pilakoutas , Bond Behaviour of Reinforcing Bars in GRC. Centre of Cement and Concrete , The University of Sheffield , UK , October
- [۵] طاحونی شاپور، طراحی سازه های بتن مسلح (بر مبنای بتن ایران) موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، آذر ماه ۱۳۷۵.