

بررسی آزمایشگاهی مقاومت چسبندگی بین دو بتن قدیم و جدید

هادی زرین طلا*، عضو هیأت علمی، گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب، بناب، ایران
 مهدی درویش هاشمی، عضو هیأت علمی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بناب، بناب، ایران
 ابراهیم زرین طلا، دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

*h.zartala@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۹۴/۶/۶ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۱۰/۳۰

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] بعضی مواقع این سازه‌ها به علت وجود نقص در سیستم باربری‌شان در شرایط عادی یا بحرانی، نیاز مبرمی به مقاوم‌سازی اعضای آسیب پذیر پیدا می‌کند. روش‌های مختلفی برای تقویت این اعضا وجود دارد که یکی از آنها توسعه ابعاد مقطع به وسیله بتن تازه می‌باشد. در این روش، میزان چسبندگی بتن تازه به بتن سخت شده نقش مهمی در انتقال نیروها ایفا می‌کند. در این تحقیق آزمایشگاهی به اندازه‌گیری تنش چسبندگی ایجاد شده بین بتن سخت شده قدیمی (هسته) و بتن تازه (جداره) در نمونه‌های استوانه‌ای پرداخته و تأثیر تغییرات سه عامل: طول نمونه، ضخامت جداره و مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن جداره بر روی تنش چسبندگی بررسی می‌شود. در این آزمایش از روش Push-out برای شکستن نمونه‌ها استفاده شده است.

کلید واژگان: سازه‌های بتنی، مقاوم‌سازی، تنش چسبندگی، بتن سخت شده قدیمی، بتن تازه، آزمایش Push-out، نمونه‌های استوانه‌ای

۱- مقدمه

می‌سازد و مانند سایر سازه‌های مرکب دیگر، می‌تواند تا از بین رفتن چسبندگی، به وظیفه خود عمل کند. [۲]
 چسبندگی بین لایه‌های رویه و زیرین (بتن جدید و قدیم) یکی از مهمترین عواملی است که بر پایایی و دوام قسمت تعمیر تأثیر می‌گذارد. هرچه قدرت چسبندگی این دو لایه بیشتر باشد تحمل ناسازگاری‌های موجود بین لایه‌ها بیشتر می‌شود. آیین نامه‌ها و استانداردهای مختلف مقدار مقاومت کششی این ناحیه را ۱/۵ مگا

عدم لغزش بین دو بتن قدیم و جدید مجاور هم، به علت وجود چسبندگی است که بین آن دو بوجود می‌آید به بیان دیگر عمل نیروهای اتصالی را که مانع لغزش دو بتن نسبت به هم می‌شود چسبندگی می‌نامند. همچنین می‌توان گفت چسبندگی نامی است که به تنش برشی مابین دو بتن قدیم و جدید مجاور متصل به هم اطلاق می‌شود که به دلیل انتقال نیرو بین آن دو بوجود می‌آید. این چسبندگی، تشکیل یک عضو مرکب با مصالح بتنی را امکان پذیر

در محیط مقطع واقع در انتهای عضو نصب شده‌اند برای تحمل نیروهای بزرگ وارده استفاده می‌گردد. (۴) توسعه و تقویت مقطع عضو: در این نوع مقاوم‌سازی عضو بتنی، آرماتورهای تقویتی به صورت لایه‌ای یا جلدی برای توسعه ابعاد مقاطع تیرها، ستون‌ها، دال‌ها و دیوارها به من منظور افزایش ظرفیت باربری یا استحکام بیشتر آنها بکار می‌رود. وقتی صحبت از توسعه ابعاد مقطع عضو بتنی به میان می‌آید نکته اساسی رفتار مشترک بتن قدیمی و بتن تازه است که در اثر چسبندگی ایجاد شده بین آن دو حاصل می‌شود. این مقاله به بررسی و اندازه مقدار تنش چسبندگی بین بتن سخت شده و بتن تازه در نمونه‌های استوانه‌ای پرداخته و نتایج بدست آمده را با نمونه‌های کامل استوانه‌ای مقایسه می‌کند.

۲- نمونه‌های مورد استفاده در آزمایش

در آزمایشگاه‌های تکنولوژی بتن برای تعیین پارامترهایی مانند مقاومت فشاری و کششی بتن، از نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی شکل استفاده می‌شود. در این تحقیق، برای بررسی چسبندگی بتن به بتن سخت شده از نمونه‌های استوانه‌ای استفاده گردیده است. نمونه‌های مکعبی به علت بوجود آمدن تمرکز تنش در گوشه‌های آن و احتمال تأثیرگذاری بر نتایج بدست آمده در آزمایش، مناسب این تحقیق نمی‌باشند. نمونه‌های استوانه‌ای به دوصورت با هسته مرکزی و بدون هسته مرکزی تهیه شده‌اند.

۲-۱- نمونه‌های استوانه‌ای با هسته مرکزی

این نمونه‌ها مطابق شکل (۱) از دو قسمت استوانه‌ای هسته مرکزی و جداره تشکیل می‌شوند. در یک مقطع عرضی از نمونه، مرکز هسته و جداره روی هم قرار می‌گیرد و جداره به صورت متحدالمرکز با هسته، آن را احاطه می‌کند.

پاسکال توصیه می‌کند. [۳] فیبریچ نشان داد بین درصد سطح سنگدانه‌های لایه سطحی بتن و چسبندگی بعد از عملیات آماده‌سازی رابطه وجود دارد و بهترین چسبندگی وقتی اتفاق می‌افتد که این مقدار بین ۳۰ الی ۴۰ درصد باشد. [۴] سیلف و ربراند نشان داد تأثیر زبری بر چسبندگی بسیار کم است. با مقایسه‌ی نتایج حاصل برای دو عملیات ماسه پاشی و جت آبی مقدار مقاومت چسبندگی مشابهی بدست آورد هر چند مقدار بدست آمده برای گسیختگی چسبندگی ناشی از آماده سازی سطح بوسیله‌ی ماسه پاشی کمی بیشتر بود. [۵].

کورارد و بیسونت نیز از جمله کسانی هستند که بر تأثیر کم زبری روی چسبندگی تأکید کرده و ترک‌های ایجاد شده در اثر عملیات بر روی سطح بتن را تعیین کننده کیفیت اتصال می‌دانند. [۶] مقاوم‌سازی سازه‌های آسیب پذیر در برابر نیروهای تهدید کننده، مخصوصاً نیروی زلزله اهمیت زیادی دارد. عمده ترین دلایل آن به شرح زیر می باشد: [۷]

الف- هزینه مقاوم‌سازی سازه در برابر نیروهای تهدید کننده در مقایسه با هزینه‌های تخریب و باز سازی این سازه‌ها بسیار کمتر است.

ب- مدت زمان لازم برای مقاوم کردن سازه بسیار کمتر از زمانی است که برای تخریب و نوسازی آن نیاز است.

پ- ممکن است در مدتی که عملیات مقاوم‌سازی اعضای ساختمان در حال انجام است وقفه‌ایی در کارکرد بقیه‌ای قسمت‌های آن ایجاد نشود. اخیراً روش‌های متنوعی جهت مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی بکار می‌رود. موارد زیر نمونه‌های از این روش‌ها است: [۷].

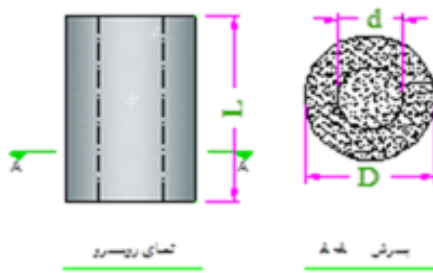
(۱) روش کوتاه سازی دهنه: به وسیله نصب تکیه‌گاه‌های اضافی زیر تیر موجود، طول دهنه آن کاهش می‌یابد.

(۲) مقاوم‌سازی با کامپوزیت‌های FRP: سیستم‌های FRP صفحه‌هایی به نازکی کاغذ می‌باشند که با مواد چسبنده اپوکسی به اعضای بتنی متصل می‌شوند تا ظرفیت حمل بار را افزایش دهند.

(۳) مقاوم‌سازی از طریق پیش تنیدگی خارجی: در این سیستم از تارهای پیش فشرده استاندارد و بولت‌های فولادی با مقاومت بالا که



(ج)



(ب)



(الف)

شکل ۱- نمونه‌های آزمایشی با هسته مرکزی (الف و ب: عکس بتن ساخته شده ج: مشخصات نمونه)

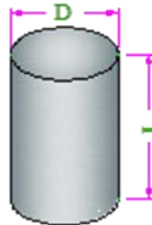
۲-۲- نمونه‌های استوانه‌ای بدون هسته مرکزی

این نمونه‌ها شبیه نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش تعیین مقاومت فشاری است یعنی به صورت یکپارچه و بدون

هسته بتن‌ریزی می‌شوند. شکل (۲) مربوط به این نمونه‌ها می‌باشد.



(ب)



(الف)



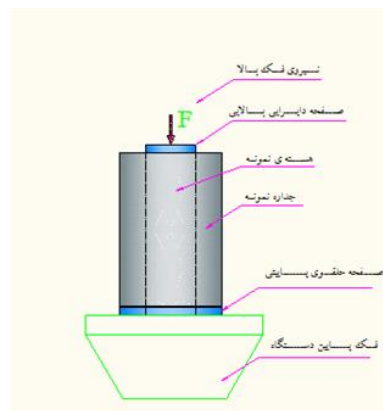
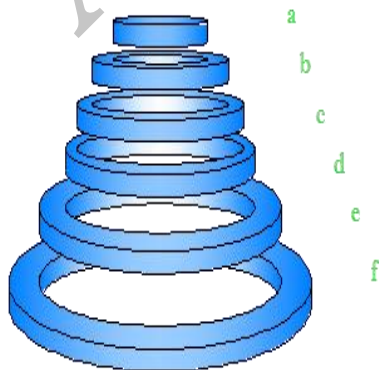
شکل ۲- نمونه‌های بدون هسته (الف: عکس بتن ساخته شده ب: مشخصات نمونه)

۳- معرفی نمونه‌های شاهد

هدف از آزمایش نمونه‌های شاهد، دستیابی به مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه‌های طرح شده است. برای آزمایش‌های اول و دوم به علت ثابت بودن مقاومت فشاری بتن، دو عدد نمونه شاهد نیاز است اما در آزمایش سوم به علت تغییر آن، برای هر یک از مقاومت‌های مورد نظر ۲ عدد نمونه تهیه شده است. نمونه‌های شاهد این آزمایش‌ها از نوع استوانه‌ای منطبق بر استاندارد آیین‌نامه ACI با قطر ۱۵ و طول ۳۰ سانتیمتر انتخاب شده‌اند. نمونه‌های شاهد پس از ۲۸ روز نگهداری در آب تحت آزمایش مقاومت فشاری قرار گرفته و میانگین مقدار بدست آمده برای ۲ عدد نمونه ملاک مقاومت فشاری بتن مصرف شده قرار گرفته است.

۴- نحوه انجام آزمایش و تعیین تنش چسبندگی

در استاندارد ASTM جهت اندازه‌گیری چسبندگی بتن به میلگرد از آزمایش Pull-out استفاده می‌شود. به لحاظ شباهت چسبندگی بتن هسته و جداره به چسبندگی میلگرد به بتن، در این آزمایش از روش Push-out استفاده شده است. اساس این آزمایش بر پایه انتقال نیروی وارده بصورت نیروی برشی خالص، به محل اتصال هسته و جداره نمونه استوانه‌ای است. مقدار مقاومتی که این نمونه در برابر لغزش هسته نسبت به جداره از خود نشان می‌دهد ناشی از مقاومت چسبندگی بوجود آمده بین آن دو است و می‌توان اطمینان داشت تحت این شرایط نیروی اندازه‌گیری شده، مقدار مقاومت چسبندگی بین هسته و جداره بوده و عوامل دیگری همچون لنگر خمشی و غیره در آن تأثیر نداشته است. نمونه‌های تهیه شده بعد از ۲۸ روز عمل آوری در آزمایشگاه، بوسیله دستگاه بتن‌شکن و دیسک‌های فلزی (شکل ۳) تحت آزمایش Push-out قرار گرفته است.



شکل ۳- شمائی از دیسک‌ها و روش قرار گرفتن آنها در بالا و پایین نمونه

۵-۱- آزمایش‌های سری اول

در این آزمایش بررسی تأثیر تغییرات قطر هسته نمونه‌ها بر شدت چسبندگی و مقایسه‌ی آن با نمونه‌های بدون هسته می‌باشد. در این آزمایش ۸ نوع نمونه بتنی ساخته شده، که ۴ نوع آن با هسته‌ی مرکزی و ۴ نوع دیگر، بدون هسته می‌باشد که با احتساب ۲ عدد برای هر کدام (طبق آیین نامه ACI ساخت ۲ عدد از هر نوع نمونه و محاسبه میانگین نتیجه آنها کافی می‌باشد). تعداد نمونه‌ها ۱۶ عدد می‌باشد. در این آزمایش‌ها مقدار قطر هسته‌ای نمونه ($d=8/64\text{cm}$)، قطر بیرونی جداره ($D=15/36\text{cm}$)، مقاومت فشاری بتن هسته و جداره ($f'_{cd} = f'_{cd} = 28 \cdot \text{Kg/cm}^2$)، ثابت، و اندازه طول نمونه (L)، متغیر می‌باشد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها در جدول (۱) و شکل های (۴)، (۵) و (۶) موجود می‌باشند.

در این آزمایش برای ایجاد یک تغییر مکان نسبی بین هسته و جداره، جهت غلبه بر مقاومت چسبندگی، لازم است مطابق شکل (۳) از دیسک‌هایی استفاده شود که در قسمت بالای نمونه، نیروی فک بالای دستگاه را روی تمام سطح جانبی هسته منتقل کند و در پایین نمونه فاصله‌ایی بین فک پایین و قسمت زیرین هسته ایجاد کند تا کل نیروی وارده از بالای هسته، صرف غلبه بر نیروی چسبندگی گردد. دستگاه بتن شکنی که در این تحقیق بکار گرفته شده قابلیت اتصال به کامپیوتر را داشت و مقادیر مربوط به نمودار نیرو- لغزش از دستگاه بدست آمده است. حداکثر تنش چسبندگی از مقاومت مصالح بصورت رابطه (۱) می‌باشد.

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{یا} \quad \tau = \frac{F}{\pi L d} \quad (1)$$

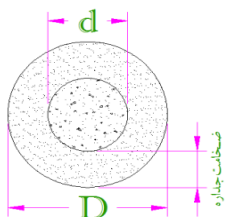
۵- ارائه نتایج حاصل از آزمایش‌ها

جدول ۱- نتایج آزمایش اول با تغییرات طول نمونه

متوسط نسبت تنشها $\frac{\tau_{ka}}{\tau_{wka}} \times 100$	τ_{wka} (Kg/cm ²)	τ_{wk} (Kg/cm ²)	F_{wk} (ton)	τ_{ka} (Kg/cm ²)	τ_k (Kg/cm ²)	F_k (ton)	A (cm ²)	D (cm)	d (cm)	L (cm)	نمونه آزمایش	ردیف
۳۶/۶۲	۱۷/۲۵	۲۱/۴۳	۵/۸۱	۶/۲۵	۵/۶۸	۱/۵۴	۲۷۱/۲۹	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۱۰	A	۱
		۱۳/۰۸	۳/۵۴		۶/۸۲	۱/۸۵	۲۷۱/۲۹	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۱۰	B	
۳۸/۸	۲۴/۶۵	۲۳/۴۴	۹/۵۳	۹/۶۱	۸/۷۵	۳/۵۶	۴۰۶/۹۴	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۱۵	A	۲
		۲۵/۹۰	۱۰/۵۴		۹/۶۱	۳/۹۱	۴۰۶/۹۴	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۱۵	B	
۳۱/۵۵	۲۸/۰۸	۲۰/۳۳	۱۱/۰۳	۸/۸۹	۱۰/۱۷	۵/۵۱	۵۴۲/۵۸	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۲۰	A	۳
		۳۵/۸۳	۱۹/۴۴		۸/۸۹	۴/۸۲	۵۴۲/۵۸	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۲۰	B	
۳۵/۲۵	۲۶/۴۴	۲۴/۷۷	۱۶/۸۰	۹/۳۲	۱۰/۰۸	۶/۸۳	۶۷۸/۲۴	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۲۵	A	۴
		۲۸/۱۲	۱۹/۰۷		۸/۵۳	۵/۷۸	۶۷۸/۲۴	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۲۵	B	
۳۹/۷۳	۲۸/۷۳	۱۸/۶۴	۱۵/۱۷	۱۱/۱۷	۱۰/۴۲	۸/۴۸	۸۱۳/۸۸	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۳۰	A	۵
		۳۸/۸۳	۳۱/۶۰		۱۱/۹۲	۹/۷۰	۸۱۳/۸۸	۱۵/۳۶	۸/۶۴	۳۰	B	

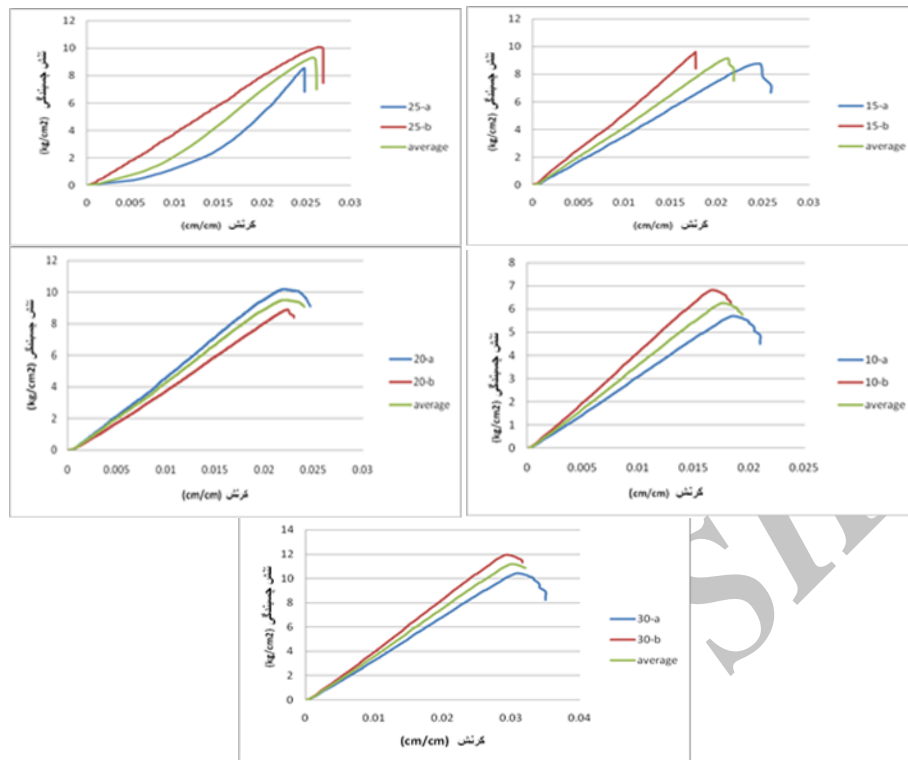
* پارامترهای مورد استفاده شده در آزمایش‌ها

τ_k : حداکثر تنش چسبندگی بین هسته و جداره
 τ_{wk} : حداکثر تنش برشی متناظر نمونه بدون هسته
 τ_{wka} : متوسط حداکثر تنش برشی متناظر نمونه بدون هسته
 L : طول نمونه
 d : قطر هسته نمونه

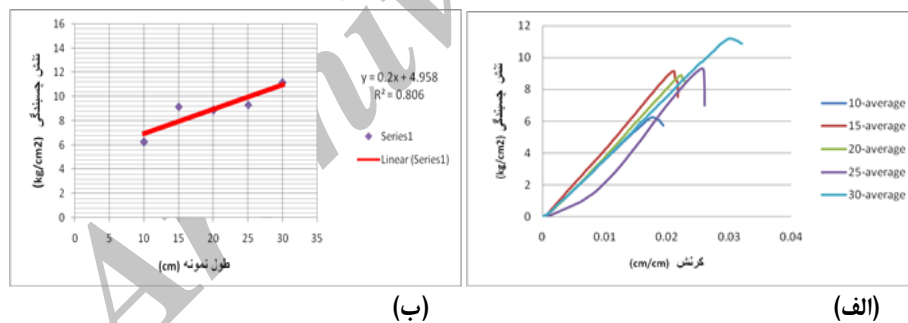


F_k : حداکثر نیروی برشی بین هسته و جداره
 F_{wk} : حداکثر نیروی برشی متناظر نمونه بدون هسته
 τ_{ka} : متوسط حداکثر تنش چسبندگی بین هسته و جداره
 A : سطح تماس هسته و جداره ی بتن
 D : قطر بیرونی جداره ی نمونه استوانه‌ای
 A_{ed} : مساحت قاعده هسته
 A_{D} : مساحت قاعده جداره
 $f'_{cd} = 280$ (Kg/cm²): مقاومت فشاری ۲۸ روزه بدست آمده جداره نمونه
 $f'_{cd} = 280$ (Kg/cm²): مقاومت فشاری ۲۸ روزه بدست آمده هسته نمونه
 f_d (Kg/cm²): حداکثر تنش فشاری وارده بر هسته
 f_D (Kg/cm²): حداکثر تنش فشاری وارده بر جداره

شکل ۴- شمای مقطع هسته و جداره بتن



شکل ۵- تنش - کرنش نمونه‌های a و b و متوسط آنها برای طول‌های ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتیمتری



شکل ۶- الف: متوسط تنش چسبندگی-کرنش، ب: تغییرات حداکثر تنش چسبندگی با طول نمونه بتنی

با مقایسه نمودارهای شکل (۶-الف) مشاهده می‌شود شکل کلی منحنی‌های حاصل تقریباً مشابه هم است. با شروع اعمال نیرو بوسیله دستگاه بتن‌شکن، منحنی تنش چسبندگی-کرنش با یک شیب تقریباً ثابتی سیر صعودی دارد که در نهایت در کرنشی بین ۰/۰۱۵ تا ۰/۰۳۰ مقدار مقاومت چسبندگی بین هسته و جداره ی نمونه به حد نهایی خود رسیده و منحنی تنش-کرنش سیر نزولی پیدا می‌کند. البته همانطوری که مشاهده می‌شود شکل منحنی ۶-الف کمی متفاوت تر است و ممکن است بعلت وجود ناصافی‌های بسیار ریز روی نمونه باشد

۵-۱-۱- بررسی نتایج آزمایش‌های سری اول

در این آزمایش ضخامت جداره با ثابت بودن قطر هسته و قطر بیرونی جداره، مقدار ثابت ۳/۳۶ سانتیمتر و طول نمونه‌ها به ترتیب ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتیمتر می‌باشد. شکل (۵) مربوط به منحنی تنش چسبندگی-کرنش این طول نمونه‌ها است. در هر یک از این نمودارها، سه منحنی تنش چسبندگی-کرنش ترسیم شده که دو منحنی مربوط به نمونه‌های a و b هر یک از طولها و سومین منحنی مربوط به متوسط تنش و کرنش محاسبه شده برای آن دو می‌باشد.

در نظر گرفتن ۲ عدد برای هر نوع نمونه، جمعاً ۲۰ عدد نمونه وجود دارد. در این آزمایش مقدار طول نمونه ($L=20\text{cm}$)، قطر جداره نمونه ($D=19/20\text{ cm}$) و مقاومت فشاری بتن هسته و جداره ($f'_{cd} = f'_{cd} = 280\text{ kg/cm}^2$) ثابت و قطر هسته نمونه (d)، متغیر می‌باشد. با ثابت بودن قطر بیرونی جداره و تغییر قطر هسته، ضخامت جداره اطراف هسته تغییر می‌کند. در جدول (۲) مقدار این ضخامت برای این سری از آزمایش‌ها آورده شده و با تقسیم آن بر اندازه قطر هسته مربوطه، نسبت آنها محاسبه شده است. نتایج حاصل از شکست نمونه‌ها در جدول (۲) و شکل‌های (۷) و (۸) موجود می‌باشد.

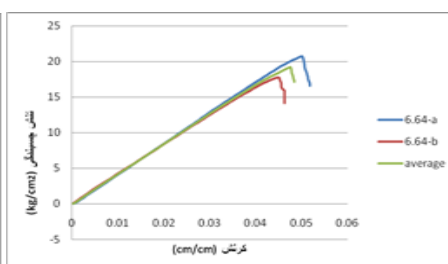
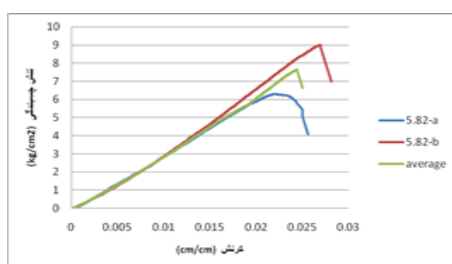
که با اعمال نیرو در مراحل اولیه خرد شده و موجب افزایش کرنش در این مرحله شده است لیکن تنش و کرنش نهایی آن در حد بقیه ی نمونه‌ها است. در شکل (۶-ب) با ترسیم منحنی‌های متوسط تنش-کرنش برای طول متغیر نمونه‌ها در یک نمودار، امکان مقایسه آنها با یک دیگر وجود دارد. شیب تقریباً یکسان منحنی‌ها حاکی از رفتار مشابه نمونه‌ها دارد. علاوه بر این حداکثر تنش چسبندگی حاصل برای نمونه‌های با طول ۱۵، ۲۰ و ۲۵ تقریباً یکسان است و فقط برای نمونه‌های به طول ۱۰ و ۳۰ مقدار این تنش کمی متفاوت است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییر طول نمونه‌ها بر روی چسبندگی بین هسته و جداره تأثیر عمده‌ای نخواهد داشت. با رسم بهینه خط گذرنده از این نقاط تأثیر تغییرات طول نمونه روی تنش چسبندگی مشخص شده است. شیب کم $0/2$ (حدود ۱۱ درجه). این خط نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای برای این مقاومت چسبندگی ناشی از تغییر طول نمونه نشان نمی‌دهد.

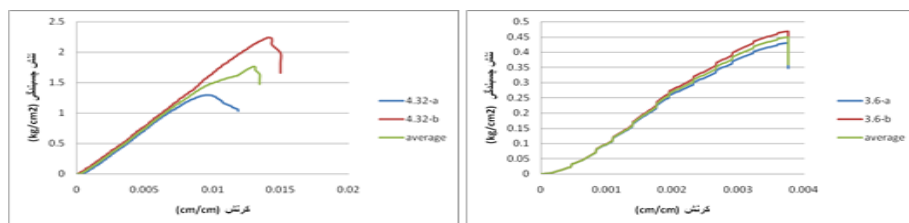
۵-۲- آزمایش‌های سری دوم

در این آزمایش بررسی تأثیر تغییرات طول نمونه‌ها بر شدت چسبندگی و مقایسه‌ی آن با نمونه‌های بدون هسته می‌باشد. در این آزمایش ۱۰ نوع نمونه بتنی وجود دارد که ۵ نوع آن با هسته بتنی و ۵ نوع دیگر، بدون هسته است و با

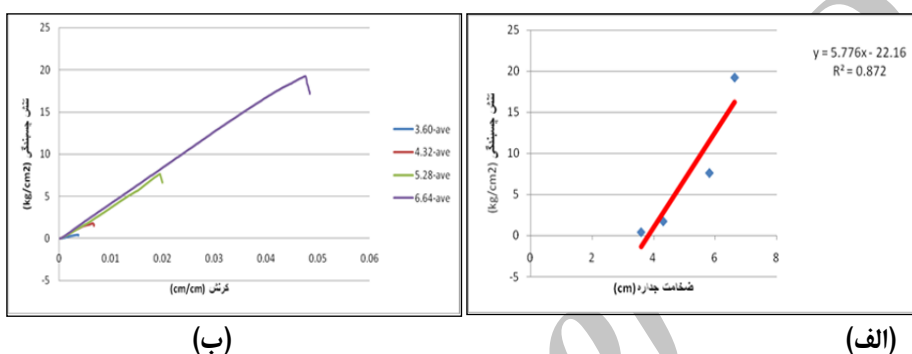
جدول ۲- نتایج آزمایش دوم با تغییرات ضخامت جداره

ردیف	نوع آزمایش	d (cm)	ضخامت جداره (cm) $\frac{D-d}{2}$	نسبت ضخامت جداره به قطر هسته $\frac{D-d}{2d}$	A (cm ²)	F _k (Ton)	τ_k (Kg/cm ²)	τ_{ka} (Kg/cm ²)	F _{wk} (Ton)	τ_{wk} (Kg/cm ²)	τ_{wka} (Kg/cm ²)	متوسط نسبت تنشها $\frac{\tau_{ka}}{\tau_{wka}} \times 100$
۱	a	۵/۹۲	۶/۶۴	۱/۱۲	۳۷۱/۷	۷/۶۸	۲۰/۷۰	۱۹/۲۲	۱۸/۰۷	۴۸/۶۳	۴۶/۲۱	۴۱/۶۶
	b	۵/۹۲	۶/۶۴	۱/۱۲	۳۷۱/۷	۶/۵۹	۱۷/۷۳	۱۶/۲۸	۱۸/۰۷	۴۳/۸۰	۴۶/۲۱	
۲	a	۸/۶۴	۵/۸۲	۰/۶۷	۵۴۲/۶	۴/۸۷	۸/۹۸	۷/۶۲	۲۶/۷۵	۴۹/۳۰	۴۳/۵۵	۱۷/۵۲
	b	۸/۶۴	۵/۸۲	۰/۶۷	۵۴۲/۶	۳/۴۰	۶/۲۸	۲۰/۵۱	۲۶/۷۵	۳۷/۸۰	۴۳/۵۵	
۳	a	۱۰/۵۶	۴/۳۲	۰/۴۱	۶۶۳/۲	۱/۴۷	۲/۲۳	۱/۷۶	۱۳/۴۰	۲۰/۲۰	۲۷/۰۵	۶/۵۰
	b	۱۰/۵۶	۴/۳۲	۰/۴۱	۶۶۳/۲	۰/۸۵	۱/۲۹	۱/۷۶	۱۳/۴۰	۳۳/۹۱	۲۷/۰۵	
۴	a	۱۲	۳/۶	۰/۳	۷۵۳/۶	۰/۳۴	۰/۴۶	۰/۴۴	۸/۹۶	۱۱/۸۹	۱۵/۴۴	۲/۸۵
	b	۱۲	۳/۶	۰/۳	۷۵۳/۶	۰/۳۱	۰/۴۲	۰/۴۴	۸/۹۶	۱۹	۱۵/۴۴	





شکل ۷- تنش چسبندگی - کرنش نمونه های a ، b و متوسط آنها برای ضخامت جداره ۶/۶۴، ۵/۸۲، ۴/۳۲ و ۳/۶۰ سانتیمتری



شکل ۸- الف : متوسط تنش چسبندگی - کرنش، ب: تغییرات حداکثر تنش چسبندگی با ضخامت جداره نمونه ی بتنی

۵-۳- آزمایش های سری سوم

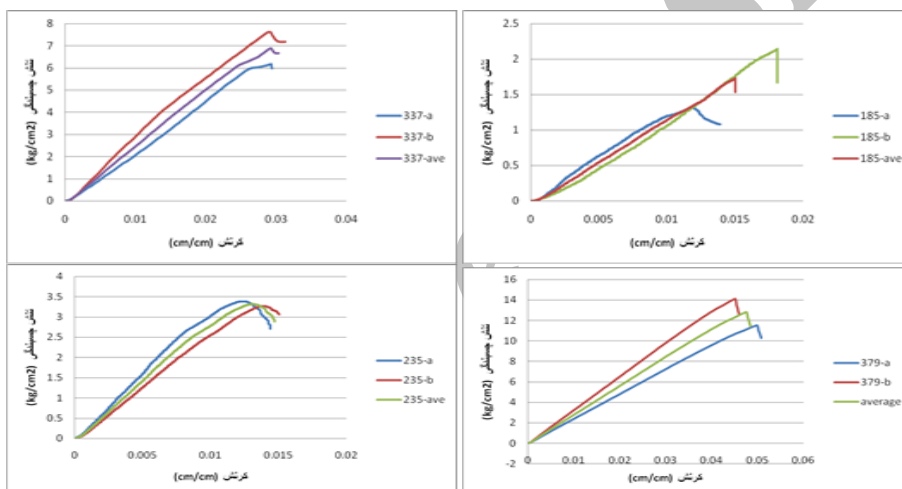
در این آزمایش تأثیر تغییرات مقاومت فشاری جداره نمونه بر شدت چسبندگی مورد بررسی می‌باشد. در این آزمایش طول نمونه ($L=20$ cm)، قطر هسته ($d=8/64$ cm)، قطر جداره ی نمونه ($D=15/36$ cm)، مقاومت فشاری بتن هسته (280 Kg/cm²)، ثابت و مقاومت فشاری جداره، متغیر می‌باشد. مقادیر این مقاومت برای بتن جداره نمونه‌ها عبارتند از ۱۸۵، ۲۳۵، ۳۳۷، ۳۷۹ کیلوگرم بر سانتیمترمربع. تنش چسبندگی حاصل بین هسته و جداره در ۱۶ نمونه، همچنین مقاومت حاصل از شکست نمونه بدون هسته هر آزمایش و نسبت آن دو در جدول (۳) آورده شده است. نتایج حاصل از شکست نمونه ها در جدول (۳) و شکل‌های (۸) و (۹) موجود می باشد.

۵-۲-۱- بررسی نتایج آزمایش های سری دوم

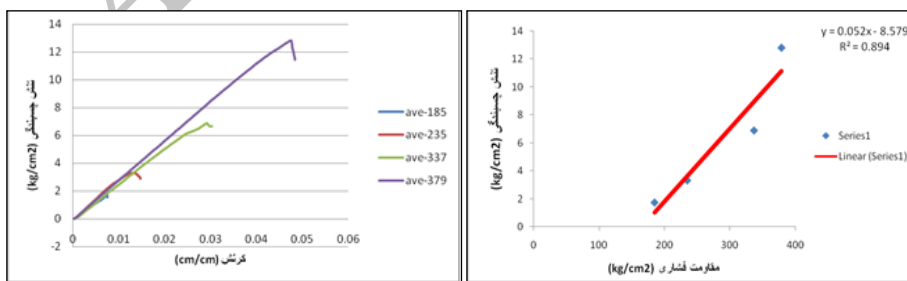
با توجه به نمودارهای شکل (۷) می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های a و b هر آزمایش رفتار یکسانی تا حدود ۷۰ درصد تنش نهایی دارند و بعد از آن بسته به مقدار مقاومت چسبندگی هر یک از نمونه‌ها، شکل نمودار نیز متفاوت می‌باشد. با مقایسه نمودار متوسط این نمونه‌ها در شکل (۸-الف) تأثیر افزایش ضخامت جداره روی تنش چسبندگی مشخص می‌شود. همانطوری که از جدول (۲) نیز مشخص است وقتی نسبت ضخامت جداره به قطر هسته ۰/۳ است مقدار تنش چسبندگی ۰/۴۴ کیلوگرم بر سانتیمترمربع می‌باشد. وقتی این نسبت به ۱/۲ افزایش می‌یابد (چهار برابر)، تنش چسبندگی به مقدار ۱۹/۲۲ کیلوگرم بر سانتیمترمربع افزایش پیدا می‌کند (چهل برابر). بهینه خط ترسیمی از نقاط ماگزیمم تنش چسبندگی این آزمایش در شکل (۸-ب) نیز دارای شیب بسیار زیاد ۵/۲۲ (حدود ۷۹ درجه) می‌باشد که نشان دهنده یک آهنگ افزایش بسیار بالایی است. بنابراین میتوان چنین عنوان کرد که در صورت افزایش نسبت ضخامت جداره به قطر هسته از مقدار ۰/۳ تا ۱/۲ میزان افزایش مقاومت چسبندگی بین هسته و جداره بسیار زیاد خواهد بود.

جدول ۳- نتایج آزمایش سوم با تغییرات مقاومت فشاری جداره

ردیف	نمونه آزمایش	f'_{cd} (Kg/cm ²)	f'_{cd} (Kg/cm ²)	A (cm ²)	F_k (Ton)	τ_k (Kg/cm ²)	τ_{ka} (Kg/cm ²)	F_{wk} (Ton)	τ_{wk} (Kg/cm ²)	τ_{wka} (Kg/cm ²)	میانگین نسبت تشنها $\frac{\tau_k}{\tau_{wk}} \cdot 100$
۱	a	۲۸۰	۱۸۵	۵۴۲/۵۹	۱/۰۵	۲/۱۴	۱/۷۲	۶/۹۷	۱۲/۱۱	۱۰/۳۲	۱۷/۵۵
	b	۲۸۰	۱۸۵	۵۴۲/۵۹	-/۸۸	۱/۳۱	۱/۷۲	۴/۶۳	۸/۵۴	۱۰/۳۲	
۲	a	۲۸۰	۲۳۵	۵۴۲/۵۹	۲/۷۱	۳/۲۶	۳/۳۱	۵/۵۳	۱۰/۲۰	۱۲/۴۸	۳۴/۵۰
	b	۲۸۰	۲۳۵	۵۴۲/۵۹	۱/۸۱	۳/۳۸	۳/۳۱	۹/۱۰	۱۶/۷۷	۱۲/۴۸	
۳	a	۲۸۰	۳۳۷	۵۴۲/۵۹	۵/۷۶	۶/۱۶	۶/۸۸	۱۶/۴۳	۳۰/۲۸	۳۸/۰۹	۳۳
	b	۲۸۰	۳۳۷	۵۴۲/۵۹	۷/۷۳	۷/۶۰	۶/۸۸	۳۴/۱۹	۴۵/۹۱	۳۸/۰۹	
۴	a	۲۸۰	۳۷۹	۵۴۲/۵۹	۱۱/۱۵	۱۱/۵۳	۱۲/۸۱	۲۸/۱۰	۵۱/۸۰	۴۹/۹۸	۴۲/۳۰
	b	۲۸۰	۳۷۹	۵۴۲/۵۹	۱۱/۷۵	۱۴/۰۹	۱۲/۸۱	۲۶/۱۳	۴۸/۱۷	۴۹/۹۸	



شکل ۹- تنش - کرنش نمونه‌های a، b و متوسط آنها برای مقاومت فشاری جداره ۱۸۵، ۲۳۵، ۳۳۷، ۳۷۹ کیلو گرم بر سانتیمتر مربع



(ب)

(الف)

شکل ۹- الف: متوسط تنش چسبندگی-کرنش، ب: تغییرات حداکثر تنش چسبندگی نمونه‌ها با مقاومت فشاری متغییر جداره نمونه

۵-۳-۱- بررسی نتایج آزمایش‌های سری سوم

با توجه به شکل (۹-ب)، نمودارهای متوسط تنش-کرنش مربوط به چهار آزمایش با شیب تقریباً یکسان به حداکثر مقدار خود می‌رسند. شکل (۹-الف) که بهینه خط گذرنده از نقاط حداکثر تنش چسبندگی برای مقاومت جداره‌ها است به خوبی آهنگ افزایش این تنش را نشان می‌دهد. همانطوری که مشاهده می‌شود مقدار این شیب برابر 0.052 (حدود ۳ درجه) است با افزایش مقاومت فشاری جداره نمونه‌ها از ۱۸۵ تا ۳۷۹ کیلوگرم بر سانتی متر مربع، تنش چسبندگی را به میزان ۱۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع روی بهینه خط گذرنده از نقاط ماکزیم تنش چسبندگی افزایش داده است.

۶- تجزیه و تحلیل نوع شکست نمونه‌ها

شکست نمونه‌های بتنی آزمایش شده از نوع شکست چسبندگی بین هسته و جداره می‌باشد. در این قسمت نیز با بررسی مقادیر حداکثر تنش فشاری وارد بر نمونه‌ها می‌توان نوع شکست آنها را تحلیل کرد. در جدول (۴) مقادیر حداکثر تنش فشاری وارد شده به هسته و جداره از طریق صفحات فلزی مربوط به بحرانی‌ترین حالت با مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن هسته و جداره در آزمایش‌های سری اول، دوم و سوم مقایسه شده است.

جدول ۴- مقایسه مقاومت چسبندگی بین هسته و جداره با مقاومت فشاری بتن هسته و جداره

f'_{cd} (Kg/cm ²)	f_D (Kg/cm ²)	f'_{cd} (Kg/cm ²)	f_d (Kg/cm ²)	F_k (ton)	A_D (cm ²)	A_d (cm ²)	D (cm)	d (cm)	نمونه آزمایش	ردیف آزمایش در جدول	سری آزمایش مربوطه
۲۸۰	۶۶/۹۸	۲۸۰	۱۴۴/۷۰	۸/۴۸	۱۲۶/۶۰	۵۸/۵۹	۱۵/۳۶	۸/۶۴	A	۴	اول
۲۸۰	۷۶/۶۲	۲۸۰	۱۶۵/۵۰	۹/۷۰	۱۲۶/۶۰	۵۸/۵۹	۱۵/۳۶	۸/۶۴	B		
۲۸۰	۲۹/۳۲	۲۸۰	۲۷۹/۱۷	۷/۶۸	۲۶۱/۸۶	۳۷/۵۱	۱۹/۲۰	۵/۹۲	A	۱	دوم
۲۸۰	۲۵/۱۶	۲۸۰	۲۳۸/۴۵	۶/۵۹	۲۶۱/۸۶	۳۷/۵۱	۱۹/۲۰	۵/۹۲	b		
۳۷۹	۸۸	۲۸۰	۱۹۰/۳۰	۱۱/۱۵	۱۲۶/۶۰	۵۸/۵۹	۱۵/۳۶	۸/۶۴	A	۴	سوم
۳۷۹	۹۲/۸	۲۸۰	۲۰۰/۵۴	۱۱/۷۵	۱۲۶/۶۰	۵۸/۵۹	۱۵/۳۶	۸/۶۴	B		

کاملاً از جداره جدا می‌شد. در حالت دوم که حدود ۴۰ درصد مابقی نمونه‌ها را شامل می‌شد سیر نزولی نمودار، حالت منحنی شکلی داشت البته این شکل منحنی در نمونه‌ها یکسان نبوده و حالت‌های مختلفی داشت. این حالت افت نشان می‌دهد که ابتدا مقاومت چسبندگی بین هسته و جداره به حداکثر مقدار خود رسیده و سپس با کمی کاهش تدریجی، شکست نمونه اتفاق می‌افتاد. این دو نوع رفتار متفاوت نمونه‌ها بعد از حداکثر تنش چسبندگی را می‌توان به نوع شکستگی چسبندگی نمونه‌ها ربط داد. نوع شکست چسبندگی نمونه‌ها به دو صورت مشاهده شد. شکست لایه‌ای از هسته (لایه زیر سطح مشترک) و شکست بتن جداره (سطح مشترک) در محل اتصال. وقتی شکست سطح مشترک هسته و جداره اتفاق می‌افتد چسبندگی بین آنها به یک باره از بین می‌رود نمودار این نمونه‌ها بعد از گسیختگی سیر نزولی خطی شکلی دارند. در حالت دوم وقتی شکست شامل سطح جانبی هسته نیز می‌شود گسیختگی تدریج انجام یافته و نمودار تنش-کرنش شکل منحنی خود را در طی شکست حفظ می‌کند. در این آزمایش‌ها ۶۰ درصد شکست چسبندگی نمونه‌ها از نوع گسیختگی از سطح تماس هسته و جداره و ۴۰ درصد شکست چسبندگی

همانطوری که مشاهده می‌شود در تمامی آزمایش‌ها، حداکثر تنش فشاری وارد بر هسته و جداره نمونه‌ها در بحرانی‌ترین حالت، از مقدار مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن هسته و جداره (280 Kg/cm^2) کمتر می‌باشد. البته در آزمایش ردیف ۱ از آزمایش‌های سری دوم (مربوط به حداکثر ضخامت جداره)، تنش فشاری وارد بر هسته نمونه a تا حدود ۲۸۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع رسیده است. این موضوع تأییدی بر شکست چسبندگی کلیه نمونه‌های آزمایش شده می‌باشد. علاوه بر این شکل‌های (۵)، (۷) و (۹) به ترتیب رفتار نمونه‌های a و b آزمایش‌های سری اول، دوم و سوم را نشان می‌دهد. نمودار تنش چسبندگی-کرنش دو نمونه، با کمی اختلاف در شیب مراحل انتهایی اعمال بار، رفتاری تقریباً مشابه دارند. نقطه‌ای که وجود دارد این است در کلیه نمودارهای تنش-کرنش نمونه‌های a و b، بعد از حداکثر تنش، سیر نزولی مشابهی نداشته و به دو حال متفاوتی صورت گرفته است. حالت اول که بیش از ۶۰ درصد نمونه‌ها چنین رفتاری داشتند، نمودار به صورت ناگهانی و روی خطی قائم نزول می‌کرد. در این حالت مقاومت چسبندگی بین هسته و جداره با رسیدن به حداکثر مقدار خود، به یکباره از بین رفته و هسته

نمونه‌ها از نوع گسیختگی توأم لایه زیرین و سطح مشترک هسته و جداره می‌باشند.

۷- نتیجه گیری

۱- با افزایش طول بتن جدید (بتن تازه یا بتن جداره) روی بتن قدیم (بتن سخت شده یا بتن هسته) در نمونه‌های استوانه‌ای، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقاومت چسبندگی بین بتن جدید و بتن قدیم مشاهده نمی‌شود.

۲- با افزایش نسبت ضخامت بتن جداره به قطر هسته در نمونه‌های استوانه‌ای، افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت چسبندگی بین بتن جدید و بتن قدیم به وجود می‌آید.

۳- با افزایش مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن جدید، مقاومت چسبندگی بین بتن جدید و بتن قدیم افزایش نسبتاً کمی دارد.

۴- دو نوع شکست برای نمونه‌های استوانه‌ای هسته‌دار در این آزمایش اتفاق می‌افتد. ۶۰ درصد شکست چسبندگی نمونه‌ها از نوع گسیختگی از سطح تماس هسته و جداره و ۴۰ درصد شکست نمونه‌ها از نوع گسیختگی توأم لایه زیرین و سطح مشترک هسته و جداره می‌باشد.

۸- منابع

- [۱] - رضانیان پور، علی‌اکبر، "تکنولوژی بتن پیشرفته"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۳.
- [2]- Couard, L., 2000, "Parametric study for the creation of the interface between concrete and repairs products", *Materials and Structures*, 33, No. 225.
- [3]- American concrete institute, 1998, *acfi manual of Concrete Practice, Part 4: Concrete Repair Guide*. ACI, Farmington Hills, Michigan, USA. ACI Committee 546, 41pp.
- [4]- Fiebiuch, M. H., 1994 "Influence of the surface roughness on the adhesion between concrete and gunitite mortars overlays *Proceedings the 2nd Bololllley Workshop on Adherence of Young and Old Concrete*", Wittmann, Aedification Verlag, Unterengstringen., 107-114.
- [5]- Silfwerbrand, j., Paulsson, j., 1998, "Better bonding of bridge deck overlays". *Concrete International*, 20, No.10, 56-61."
- [6]- Courard, l., Bilssonnette, b., 2001, "Quantification of the influence of concrete removal techniques upon residual cracking", *Concrete International* (submitted for publication.)
- [7]- Alkhrdaji T., Thomas J., 2004, "Design, Application Techniques Key to Successful Structural Repair, Strengthening of Aging Concrete Facilities".

Experimental study of bond strength between fresh and old concrete

Hadi Zarrintala

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Bonab Branch, Bonab, Iran

Mehdi Darvish Hashemi

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Bonab Branch, Bonab, Iran

Ebrahim Zarrintala

Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

ABSTRACT

Today's applying concrete structures is more usual than other structures which are used in buildings as in most of the world's countries the application ratio of concrete to steel has increased from 10 to 1. Sometimes these structures require strengthening vulnerable members because of deficiency in their loading system in usual and critical conditions. There are different methods for strengthening these members. One of them is developing dimension of section by fresh concrete. In this method, the cohesion extent of fresh concrete to hardened concrete has significant role in force transfer. In this experimental project, the bond stress created between hardened concrete (core) and fresh concrete (screen) in core samples was measured and the effect of changing three factors was investigated that they are the length of sample, screen thickness, and 28 days compressive strength of screen concrete on bond stress. The push-out method was applied in this experiment for cracking the samples.