بررسی تاثیر استفاده از روش NSM در ترمیم تیر ترک خورده بتنی تحت بار گذاری پیچشی استاتیکی

محدثه انبارلویی *

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۰۹

چکیده

اکثر ترک‌های بتنی به علت طراحی‌های نادرست و روش‌های اجرایی نادرست صورت می‌گیرد. یکی از طراحی‌هایی که برای قطعات بتنس باید صورت گیرد، طراحی برای پیچش است. میزان پیچش در تیرهای لبه ای و یا تیرهایی که از یک طرف متصل به دال هستند قابل ملاحظه است، لذا اگر ترکی بر روی قطعات بتنی ناشی از پیچش به وجود آید باید درصدد ترمیم آن با استفاده از روش‌های مختلف برآمد. یکی از روش‌های موجود استفاده از میلگردهای GFRP در داخل بتن تحت عنوان استفاده از روش NSM به منظور ترمیم بتن است.در این پژوهش با ساخت قطعات بتنی به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۲۰ سانتی متر و ایجاد ترک بر روی آن‌ها اقدام به ترمیمشان با استفاده از روش NSM برآمده و تاثیر استفاده از آن روش بر روی مولفه های لنگر پیچشی نهایی، نیروی پیچشی نهایی و زاویه پیچشی نهایی بررسی گردیده است. نتایج نشان داد استفاده از این روش سبب افزایش مقاومت پیچشی تیر ترک خورده بتنی به میزان ۹،۵۲ برابر شده است.

کلمات کلیدی

NSM، تیر ترک خورده بتنی، پیچش، ظرفیت پیچشی، میلگرد GFRP

۱- مقدمه

مراحل انجام روش NSMدر صنعت به این ترتیب است که ابتدا شیاری در راستای مورد نظر در سطح بتن ایجاد می‌گردد. اندازه‌ی شیار طوری انتخاب می‌شود که فضای کافی برای نفوذ چسب به اطراف مقاوم کننده وجود داشته باشد. داخل شیار با فشار متوسط آب یا هوا از ذرات گرد و غبار تمیز شده و سپس شیار تا نیمه از چسب پر می‌شود. مصالح FRP درون شیار قرار گرفته و برای اطمینان از نفوذ چسب به تمامی فضاهای اطراف آن، به آرامی فشار داده می‌شود. در انتها شیار با چسب اضافه پر شده و سطح تراز می‌گردد. به عبارت دیگر در روش NSM، همانطور که در شکل مشاهده می‌شود نوارها یا میلگردهای مصالح مقاوم روی آن ها قرار می گیرد (شکل ۱)

Investigation of the effect of using NSM method in repairing cracked concrete beams under static torsional loading

Mohadeseh Anbarlouie *

Faculty of Civil Engineering, Iran university of science and technology, Tehran, Iran.

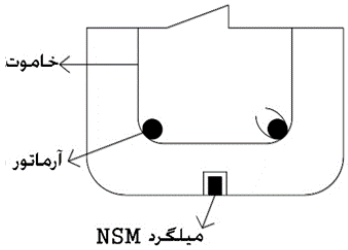
*Corresponding author's email address:
mohadeseh.anbarlouie@edu.ikiu.ac.ir

Abstract

Most concrete cracks are due to incorrect designs and incorrect execution methods. One of the designs that should be done for concrete parts is the design for twisting. The amount of torsion is significant in edge beams or beams that are connected to the slab on one side, so if a crack occurs on the concrete parts due to torsion, it should be repaired using different methods. One of the existing methods is to use GFRP rebars inside concrete under the title of using NSM method to repair concrete. In this research, by making concrete parts with dimensions of 15 × 15 × 120 cm and creating cracks on them, they are repaired using The NSM method and the effect of using that method on the components of the final torsional anchor, the final torsional force and the final torsional angle have been investigated. The results showed that the use of this method increased the torsional strength of cracked concrete beams by 9.52 times.

Keywords

NSM; cracked concrete beam; torsion ;torsional capacity; GFRP rebar



شکل۱ شمایی از روش NSM

۲- پیشینه تحقیق

روشی که برای ترمیم تیرهای ترک خورده بتنی موجود است، استفاده از روش NSM(Near Surface Mounted) می‌باشد در مقاله ای به بررسی تیررهای RC تقویت شده بامیلگردهای GFRP نزدیک به سطح

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
4 (4) , 2020
دوره ۴، شماره ۴
زمستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی

(NSM) پرداخته شد. در تعدادی تیر میلگردهای NSMدر پایین تیر گنجانده شدند و در تعدادی دیگر در کناره تیر قرار داده شد.
نتایج تجربی آن ها نشان داد که نیروی بیشتر، ظرفیت تحمل بار بیشتری را برای تیرهای RC تقویت شده توسط میلگردهای NSM تحتانی نسبت به تیرهایی که میلگرد NSM آن‌ها در کناره های تیر قرار دارند را فراهم نموده است[2]. در پژوهش هایی دیگر به بررسی مقاومت باقی مانده‌ی تیرهای بتن مسلح تقویت و تعمیر شده توسط روش NSM با استفاده از چسب سیمانی غیر پلیمری خودمتراکم با قدرت بالا (IHSSC-CA)، پس از قرار گرفتن در معرض بار خستگی پرداخته شد. نتایج و یافته های حاصل از این پژوهش اثربخشی استفاده از چسب IHSSC-CA را تایید کرد [3].آزمایش هایی نیز به منظور دستیابی به تفاوت استفاده از چسب اپوکسی و چسب بر پایه سیمان برای تعیین میزان مقاومت پیکربندی سازه، در روش NSM، و در هنگام اعمال نیروی پیچشی در تیرهای بتن آرمه انجام گرفت. ظرفیت نهایی تیرها در پیچش، برای آرایش سه سطحی و چهارسطحی نوار های تقویت کننده GFRP NSM هنگام استفاده از اپوکسی، به ترتیب به میزان قابل توجهی تقریبا ۲۱/۶ و ۳۰/۷ در صد افزایش یافت. در حالی که این مقدار هنگام استفاده از چسب بر پایه سیمان به میزان ۱۲/۷ و ۷/۱۵ درصد بود.[4]
در پژوهشی دیگر به منظور جلوگیری از شکستن یا به تاخیر انداختن خم شدن NSM FRP ها و نیز جلوگیری از جداشدگی پوشش بتنی، انتهای GFRP ها را خم نمودند. این کار ظرفیت حمل باربری تیرهای تقویت شده را افزایش داد. زاویه شیب میله های GFRP با انتهاهای خم شده ۹۰ درجه و ۴۵ درجه بود. در تیرهایی دیگر از GFRP هایی با انتهای خم نشده و طول هایی متفاوت نیز برای مقایسه استفاده شد. نتایج آزمایش ثابت نمود که تیرهایی که در آن ها انتهای GFRP ها خم شده بودند دارای ظرفیت باربری بیشتری بوده و جداشدگی پوشش بتنی در آن ها رخ نداد. ظرفیت حمل باربری تیرهای دارای GFRP مستقیم، تیرها با زاویه خم انتهایی ۴۵ درجه و تیرها با زاویه خم انتهایی ۹۰ درجه به ترتیب ۱۷۷ درصد ، ۲۰۱ درصد و ۱۸۵ درصد در مقایسه با نمونه شاهدشان بود. [5]

۳- آزمایش

۳-۱- مواد و مصالح

۳-۱-۱- بتن خودمتراکم

برای ساخت یک تیر بتن آرمه به ابعاد ۱۵×۱۵×۱۲۰سانتی متر، مصالحی به شرح جدول۱ استفاده شد:

جدول ۱: طرح اختلاط بتن خودمتراکم استفاده شده (kg/m^3)

سیمان	۵۵۰
فوق روان کننده	۱۹.۵
شن	۵۵۰
پودر سنگ	۲۰۰
ماسه	۸۰۰
آب	۲۰۰

۳-۱-۲- آرماتورها و خاموت‌ها

از آرماتورهای طولی آج دار به قطر ۸ میلی متر و خاموت های عرضی ساده به قطر ۲/۵ میلی متر بر اساس محاسبات انجام شده، استفاده گردید. در نتیجه تعداد شش عدد تیر بتن آرمه فولادی ساخته شد.

۳-۱-۳- میلگردهای GFRP

این میلگردها به منظور استفاده در روش NSM (Near Surface Mounted) به کار گرفته شدند، این میلگرد دارای مقاومت کششی بیشتر از فولاد و یک چهارم وزن فولاد بود. عدم هدایت الکتریکی و حرارتی، عدم تاثیر در میدان های مغناطیسی و فرکانس های رادیویی، عدم ترک خوردگی و زنگ زدگی تحت تاثیر شرایط محیطی مختلف از دیگر ویژگی های این میلگرد بود. سایر مشخصات این میلگرد در جدول ۲ آمده است و شکل آن‌ها مطابق شکل ۲ است.

جدول ۲: مشخصات میلگردهای GFRP استفاده شده در پژوهش

شیشه	جنس
پلی استرن	نوع رزین
آبی	رنگ
>۱۰۰۰	(MPa) مقاومت کششی
>۵۰۰۰۰	(MPa) مدول E
2.2×10^3	(kg/m³) چگالی
0.006	(m) قطر
۱	(m) طول

شکل ۲ میلگردهای GFRP استفاده شده در پژوهش

۳-۱-۴- چسب اپوکسی سیکادر ۳۳۰

به منظور قرار دادن میلگردهای GFRP در داخل شیار ایجاد شده بر روی بتن از چسب دوجزیی اپوکسی سیکادر ۳۳۰ (شکل۳) با مشخصاتی مطابق جدول (۳) استفاده شد.

شکل ۳ چسب اپوکسی سیکادر ۳۳۰ استفاده شده در تحقیق

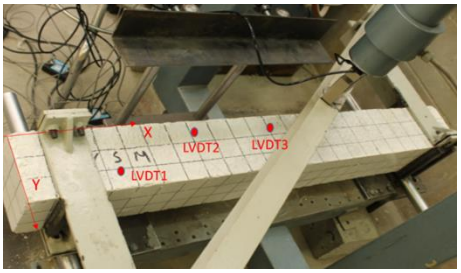
JECM
Journal of Engineering & Construction Management
4 (4) , 2020
دوره ۴، شماره ۴
زمستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی

جدول ۳ مشخصات چسب اپوکسی سیکادر ۳۳۰ به کار برده شده در پژوهش

1/3 kg/l ± 0/1 kg/l	چگالی مخلوط در دمای ۲۳درجه سیلسیوس
600 µpa	ویسکوزیته مخلوط در دمای ۲۳ درجه سیلسیوس
۷ روزه	عمل آوری در دمای ۲۳ درجه سیلسیوس
30 N/mm^2	تنش کششی ۷ روزه در دمای ۲۳ درجه سیلسیوس

۳-۲- مراحل انجام عملیات آزمایش و ترمیم

پس از ساخت شش عدد تیر بتن آرمه فولادی، دو تا از آنها تحت عنوان نمونه شاهد برای بارگذاری از ابتدا تا رسیدن به ظرفیت نهایی پیچشی و چهارتا از آن‌ها برای بارگذاری تا رسیدن به مرحله لنگر ترک خوردگی که با محاسبات انجام شده از کتاب مبحث نهم مقررات ملی ساختمان دارای لنگر ترک خوردگی ۲۶۴،۸۹ کیلوگرم متر بود، بارگذاری شدند.دوتا از این چهار تیر مجددا تا رسیدن به ظرفیت پیچشی نهایی بارگذاری شدند تا میزان لنگر باقی مانده در تیر ترک خورده به دست آید و دوتای دیگر با استفاده از روش NSM ترمیم گشتند. بارگذاری از نوع بارگذاری پیچشی بود که برای به دست آوردن اطلاعات دقیق تر یک عدد لودسل و سه عدد LVDT نیز در این بارگذاری استفاده شده بود.(شکل۴) محل دقیق قرارگیری LVDT ها در جدول۴ آمده است.



شکل ۴ بارگذاری پیچشی تیر

جدول۴: محل قرار گیری LVDT ها

شماره LVDT	X	Y
۱	۱۵،۵	۱۲،۵
۲	۳۶،۵	۲،۵
۳	۵۸،۵	۲،۵

به منظور اجرای این روش در آزمایشگاه پس از بارگذاری پیچشی و ایجاد ترک مطلوب، به منظور ترمیم، ابتدا بر روی بتن شیارهایی در وسط هر وجه با سطح مقطع ۸×۸ میلی متر و به طول ۱/۲ متر ایجاد شد. سپس سطح شیارها را آغشته به چسب اپوکسی سیکادر ۳۳۰ شد و میلگرد های GFRP که مشخصات آن در جدول۲ آماده است و به طول یک متر برده شده بودند را داخل آن شیارها قرار داده (شکل۵) و مجددا روی سطح میلگردهای چسب دوجزیی سیکادر ۳۳۰ ریخته شد به گونه ای که میلگردها دیگر مشخص نبودند (شکل۶) این عمل برای هر چهار وجه بتن انجام گردید.

شکل ۵ قرار گرفتن میلگرد GFRP در داخل شیار ایجاد شده بر روی بتن

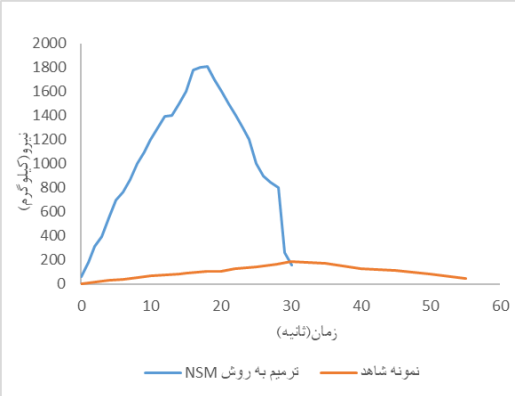
شکل۶ مدفون کردن میلگردهای GFRP در چسب اپوکسی

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
4 (4) , 2020
دوره ۴، شماره ۴
زمستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی

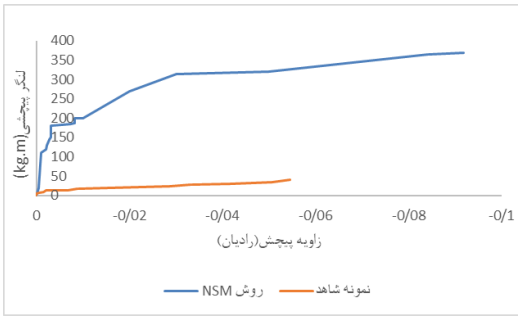
۴- نتایج

با بارگذاری تیر نمونه شاهد این نتیجه گرفته شد که آخرین عدد قرائت شده از نیرو به هنگام گسیختگی نمونه برابر با ۱۴۳۰,۶۶ کیلوگرم بود. LVDT1 در این نیرو تغییر مکان ۳/۸ میلی متر را نشان می‌داد. در نتیجه میزان زاویه پیچشی برای این نقطه برابر با ۰,۰۷۶ رادیان ،۰ که از تقسیم این تغییر مکان بر فاصله LVDT1 از تار خنثی نمونه بتنی(۵۰ میلی متر) به دست می‌آید، بود. با ضرب میزان نیرو قرایت شده (۱۴۳۰,۶۶ کیلوگرم) در فاصله محل اعمال عکس العمل نیرو وارده بر روی یکی از دستک‌های دستگاه پیچشی، تا محل تار خنثی نمونه بتنی (۰,۴۲۵ متر) لنگر ترک خوردگی پیچشی برابر با ۳۰۴,۰۲ کیلوگرم متر به دست آمد. به علاوه این نمونه دارای تغییر مکانی برابر با ۳,۸ میلی متر در نقطه ۱ می‌باشد و در وسط تیر که به علت متقارن بودن نوع بارگذاری تغییر مکان کمتری را متحمل می‌شود دارای تغییر مکان ۰,۸۹۵ میلی متر(LVDT2) است و در فاصله‌ای بین این دو نیز تغییر مکانی برابر با ۲,۱۲ میلی متر(LVDT3) را دارد. از سویی دیگر تیر بارگذاری شده از لنگر ترک خوردگی در نیرویی برابر با ۱۹۰,۰۷ کیلوگرم به حداکثر ظرفیت پیچشی خود رسید. در نتیجه لنگر باقی مانده در تیر ترک خورده برابر با ۴۰,۳۹ کیلوگرم متر بود. تیر ترمیم شده به روش NSM نیز پس از گذشت دو روز رسیدن چسب استفاده شده(سیکادر۳۳۰) به مقاومتش مجددا تا رسیدن به ظرفیت نهایی بارگذاری گردید.

نمودار۱ نمودار نیرو بر حسب زمان برای بارگذاری مجدد نمونه شاهد از مرحله لنگر ترک خوردگی (لنگر باقی مانده در بتن پس از بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی) و نمونه ترمیم شده با روش NSM است. مطابق شکل تیر با این روش ترمیم در56.8امین ثانیه پس از شروع بارگذاری با بار ۱۸۱۰ کیلوگرم به حداکثر ظرفیت نهایی پیچشی خود می‌رسد. از مقایسه این نمونه با نمونه شاهد می توان نتیجه گرفت که روش فوق سبب افزایش مقاومت پیچشی سازه شده است لیکن در مدت زمان کمتری نسبت به نمونه شاهد به حداکثر مقاومت خود رسیده است و زودتر از نمونه شاهد، واژگون گردیده است. به عبارتی روش فوق توانسته نیروی پیچشی متحمل شده توسط بتن اولیه (بارگذاری نشده) 1.27 برابر کند.



نمودار ۱ نمودار نیرو بر حسب زمان برای نمونه شاهد و نمونه ترمیم شده با روش NSM

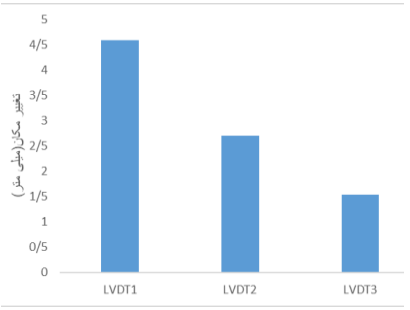


نمودار ۲ نمودار لنگر پیچشی برحسب زاویه پیچش برای نمونه شاهد و نمونه ترمیم شده با روش NSM

نمودار 2 نمودار لنگر پیچشی بر حسب زاویه پیچش برای بارگذاری مجدد نمونه شاهد از مرحله لنگر ترک خوردگی (لنگر باقی مانده در بتن پس از بارگذاری تا مرحله لنگر ترک خوردگی) و نمونه ترمیم شده با روش NSM است مطابق نمودار، تیر یاد شده در لنگری برابر با ۳۸۴/۶۲۵ کیلوگرم متر و با زاویه ۰/۰۹۲ رادیان به حداکثر ظرفیت نهایی پیچشی خود رسیده است.

نمودار تغییر مکان برای هر کدام از LVDT های قرار گرفته بر روی تیر ترمیم شده به روش NSM مطابق نمودار۳می‌باشد. با توجه به این نمودار، تیر در نزدیکی محل دستک دارای بیشترین تغییر مکان به عدد ۴/۵۹میلی متر و در وسط دهانه دارای کمترین تغییر مکان به عدد ۱/۵۴۶ میلی متر می‌باشد و در محلی ما بین این دو محل دارای تغییر مکانی به عدد ۲/۷۰۲ میلی‌متر است.

در شکل۷ تیر ترمیم شده به وسیله این روش، پس از بارگذاری کامل ورسیدن به لنگر نهایی نشان داده شده است.



نمودار ۳ نمودار LVDT های استفاده شده برای نمونه ترمیم شده با روش NSM

شکل ۷: نمونه ترمیم شده به روش NSM، پس از بارگذاری کامل و رسیدن به لنگر ترک خوردگی نهایی

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
4 (4) , 2020
دوره ۴، شماره ۴
زمستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی

در نتیجه استفاده از روش NSM، ظرفیت پیچشی باقی مانده در داخل بتن را افزایش داد و سبب ترمیم شد تا با نیروی بیشتری و تحت شرایط سخت تری فرو ریزد. در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر روش NSM در ترمیم تیرهای ترک خورده تحت پیچش، تعدادی تیر ساخته ئ مورد برررسی قرار گرفت و نتیجه گیری شد استفاده از روش NSM سبب افزایش مقاومت تیر ترک خورده بتنی و حتی تیر نمونه شاهد می‌باشد.

۵- مراجع

[1] Sharaky, I.A., Reda, R.M., Ghanem, M., Seleem, M.H. and Sallam, H.E.M., 2017. Experimental and numerical study of RC beams strengthened with bottom and side NSM GFRP bars having different end conditions. Construction and Building Materials, 149, pp.882-903.

[2] Al-Saadi, N.T.K., Mohammed, A. and Al-Mahaidi, R., 2017. Assessment of residual strength of concrete girders rehabilitated using NSM CFRP with cementitious adhesive made with graphene oxide after exposure to fatigue loading. Construction and Building Materials, 153, pp.402-422.

[3] Al-Bayati, G., Al-Mahaidi, R. and Kalfat, R., 2017. Torsional strengthening of reinforced concrete beams using different configurations of NSM FRP with epoxy resins and cement-based adhesives. Composite Structures, 168, pp.569-581.

[4] Reda, R.M., Sharaky, I.A., Ghanem, M., Seleem, M.H. and Sallam, H.E.M., 2016. Flexural behavior of RC beams strengthened by NSM GFRP Bars having different end conditions. Composite Structures, 147, pp.131-142.

[۵] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان،"طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه".ویرایش ۱۳۹۲

JECM
Journal of Engineering & Construction Management
4 (4) , 2020
دوره ۴، شماره ۴
زمستان ۱۳۹۸
فصلنامه پژوهشی