



بررسی آزمایشگاهی ظرفیت کششی ناودانی مدفون در بتن

علی لطفی^۱، سید علی رضوی طباطبایی^{۲*}

چکیده

امروزه استفاده از اعضای فولادی مختلط رشد روزافزونی دارد. برقرارشدن عملکرد مختلط وابسته به استفاده از ادوات برشگیر در قالب گل میخ یا ناودانی است. برای گل میخ‌ها تاکنون روابطی جهت برآورد مقاومت برشی و کششی ارائه شده است، لکن رفتار برشگیرهای ناودانی در کشش تا کنون مورد بررسی قرار نگرفته است. در این پژوهش به بررسی و مطالعه ظرفیت کششی برشگیرهای ناودانی مدفون در بتن پرداخته شده است. در این تحقیق اثر طول و سخت‌کننده در ظرفیت کششی برشگیرها به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت انجام آزمایش چهار نمونه برشگیر ناودانی مدفون در بتن تحت بار کششی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌های انجام شده از لحاظ نمودارهای بار-جابجایی و مقاومت کششی مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل شده از نمونه‌ها حاکی از حصول ظرفیت کششی مطلوب با استفاده از برشگیر ناودانی بود که با در نظر گرفتن تنوع ابعاد و طول و هزینه بسیار کمتر و روند جوشکاری ساده‌تر نسبت به گل میخ، می‌تواند جایگزین مطلوبی نسبت به گل میخ به شمار آید. در پایان یک رابطه پیشنهادی برای محاسبه‌ی مقاومت کششی ناودانی مدفون در بتن برای مقاصد طراحی ارائه شده است.

واژگان کلیدی:

برشگیر، ناودانی، مختلط، آزمایش بیرون کشیدگی

^۱. کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه علم و فرهنگ، alilotfi457@yahoo.com

^۲. استادیار، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، arazavi@usc.ac.ir



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



۱- مقدمه

۱-۱- مروری بر تحقیقات گذشته

برشگیرها یکی از مهم ترین اجزایی هستند که در احداث سازه های فولادی و به عنوان مثال تیرهای مختلط به کار می روند. برشگیر ناودانی هم مانند سایر برشگیرها از طریق جوشکاری در سازه ها اجرا می شود. کاربرد این برشگیر انتقال جریان برش در طول المان مختلط است. برخلاف برشگیرهایی مانند گل میخ که جوشکاری آنها مستلزم دستگاه و ادوات مخصوص است، جوشکاری برشگیرهای ناودانی معمولاً با دستگاه جوش ساده امکان پذیر است.

ملکی و همکاران در سال ۲۰۰۸ در پژوهشی به بررسی رفتار برشگیرهای ناودانی مدفون در بتن پرداخته شد. در این پژوهش با طراحی چندین آزمایش برون رانی^۱ با بارگذاری یکنواخت و سیکلی، به ترتیب پارامترهایی نظیر، ظرفیت و قابلیت جذب و استهلاک انرژی زلزله در برشگیرهای ناودانی مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه به مقایسه استفاده از بتن معمولی، بتن الیافی و نیز بتن با ترکیبات سیمانی شکل پذیر در عملکرد لرزه ای و نیز ظرفیت برشگیرها پرداخته شد و در انتها یک مدل اجزای محدود برای بررسی رفتار این برشگیرها ارائه شد. نتایج نشان می داد استفاده از الیاف پلی پروپیلن در نمونه های FRC تأثیر کمی بر روی مقاومت خمشی و رفتار بار-جابجایی دارد و استفاده از الیاف پلی وینیل الکل در نمونه های ECC مقاومت نهایی و انعطاف پذیری اتصال ناودانی را به طور قابل توجهی افزایش می دهد [۳، ۴]. در سال ۲۰۰۶ مطالعه ای درباره ی برشگیرهای ناودانی توسط پاشان انجام شد. هدف از انجام این مطالعه ارائه ی یک فرمول جدید برای برشگیرهای ناودانی بود. این پژوهش شامل چندین آزمایش برون رانی بر روی برشگیرهای ناودانی مدفون در دال بتنی صلب و دال بتنی با ورق فولادی بود. روابط حاصل از این پژوهش در مقایسه با آیین نامه های موجود، مطابقت بهتری با نتایج آزمایشگاهی محققان دیگر داشت. در پایان نیز یک رابطه جدید برای تعیین ظرفیت برشی برشگیر ناودانی ارائه شد [۵]. باران و توپکایا در سال ۲۰۱۴ با طراحی چندین آزمایش برون رانی به مطالعه ی رفتار برشگیرهای ناودانی پرداخته اند. پس از انجام آزمایشات متعدد به این نتیجه رسیدند که روابط ارائه شده در آیین نامه های آمریکایی و کانادایی بسیار محافظه کارانه است. همچنین در پایان رابطه ای برای تعیین نیروی برشی نهایی در برشگیر ناودانی ارائه کردند. نتایج نشان می داد که رابطه ی ارائه شده با نتایج حاصل از آزمایشات سایر پژوهشگران تطابق بهتری داشت [۶].

شریعتی و همکاران در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی آزمایشگاهی به بررسی رفتار برشگیرهای نبشی تحت تأثیر بارگذاری چرخه ای و یکنواخت پرداختند. طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش برشگیرهای نبشی تحت بارگذاری چرخه ای، کاهش مقاومت را تجربه می کنند. این کاهش مقاومت بین ۸.۸ تا ۳۳.۱ درصد اعلام شده است؛ این در حالی است که مودهای شکست تغییر نمی کند.

¹ Push out



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



نتایج بیانگر آن بود که که برشگیرهای با ارتفاع ۱۰۰ میلی‌متر، در مقایسه با برشگیرهای با ارتفاع ۷۵ میلی‌متر، به مقدار کمی از ظرفیت برشی و شکل پذیری بیشتری بهره‌مند می‌باشند. همچنین با افزایش طول برشگیر، ترک‌های بیشتری در بتن مشاهده شد. در پایان مشاهده شد افزایش طول نسبت به افزایش ارتفاع برشگیر تأثیر بیشتری در ظرفیت برشی دارد [۷]. خلیلیان و ملکی در سال ۱۳۹۰ در پژوهشی به بررسی و مطالعه ظرفیت برشگیرهای نبشی پرداخته شد. برشگیرها از قسمت لبه‌ی جان به تیر فولادی جوش داده شدند. این مطالعه شامل چندین مدل اجزای محدود برای تعیین پارامترهای تأثیرگذار بر مقاومت برشی بود. بر اساس نتایج این تحقیق با افزایش ضخامت نبشی، ظرفیت برشی افزایش و لغزش آن کاهش می‌یابد. همچنین پارامتر تأثیرگذار دیگر مقاومت فشاری بتن می‌باشد؛ به طوری که با افزایش مقاومت فشاری بتن، ظرفیت برشی آن افزایش و لغزش حداکثر آن کاهش می‌یابد. این مطالعه نشان داد که افزایش طول بال نبشی، در مقاومت برشگیر تأثیر ندارد. همچنین از نتایج دیگر این پژوهش آنست که افزایش ارتفاع برشگیر نبشی تا یک حد معین، باعث افزایش ظرفیت برشگیر نبشی می‌شود و از آن به بعد تأثیری در مقاومت ندارد. همچنین در این مطالعه یک معیار برای طول بحرانی برشگیر در نظر گرفته شد که نشان می‌دهد در برشگیرهای با طول بیشتر، تمرکز تنش در وسط و لبه‌های نبشی بیشتر می‌شود [۲]. خرمیان و همکاران در سال ۲۰۱۷ با استفاده از نمونه‌های آزمایشگاهی و مدل سازی اجزای محدود، رفتار برشگیر پروفیل نبشی در سقف مختلط تحت تأثیر تغییر زاویه برشگیر را مورد مطالعه قرار گرفت. نحوه اتصال برشگیر به تیر فولادی به صورت هشتی بود. این مطالعه بیان گر این بود یکی از دلایل افزایش ظرفیت برشی برشگیر جوش دادن دو بال نبشی به بال تیر می‌باشد. این موضوع به این دلیل می‌باشد که اتصال و تماس بیشتری بین بتن و تیر فولادی ایجاد می‌شود. همچنین مشاهده شد در صورت مدفون شدن بال نبشی در بتن و اتصال کامل بال دیگر به تیر فولادی، به سبب گیرداری مناسب، ظرفیت برشگیر افزایش پیدا می‌کند. [۸]

۲-۱- برشگیر ناودانی در کشش

استفاده از برشگیر ناودانی در برش در بسیاری از اعضای مختلط کاربرد دارد. از همین ادوات می‌توان به منظور تحمل نیروی کششی نیز استفاده کرد. برخی از مواردی که ناودانی مدفون در بتن در کشش قرار می‌گیرد، عبارت است از: اتصال تیر فولادی به ستون بتنی به کمک صفحات مدفون در بتن، مهار صفحات مدفون در بتن نظیر صفحه اتصال دستک‌های کششی فولادی، مهار جانبی و وال پست، تیر همبند فولادی در دیوار برشی بتن‌آرمه کوپله، تیرهای مختلط در حالتی که برشگیر در تیر نصب می‌شود و دیافراگم دو طرف تیر از دو سمت مخالف به بدنه تیر نیرو وارد می‌کنند، برشگیرهای نصب شده بر روی ستون متصل به دیوار حائل بتن‌آرمه، برشگیرهای نصب شده بر روی المان مرزی فولادی دیوارهای برشی مختلط و برشی افقی در ستون CFT.



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد
و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی
۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



۳-۱- مقایسه هزینه برشگیر گل میخ و ناودانی

هدف کلی این تحقیق امکان استفاده از ناودانی در اعضای مختلط برای کاهش هزینه‌ها و همچنین برآورد مقاومت کششی ناودانی‌های مدفون در بتن است. از این روی در این قسمت برآورد و مقایسه هزینه دو برشگیر گل میخ و ناودانی که دارای مقاومت برشی یکسان هستند، انجام می‌پذیرد.

رابطه مقاومت برشی اسمی برشگیر گل میخ: [۹، ۱]

$$Q_n = 0.5A_{sa}\sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \quad (\text{رابطه ۱})$$

رابطه مقاومت برشی اسمی برشگیر ناودانی: [۹، ۱]

$$Q_n = 0.3(t_f + 0.5t_w)L_a\sqrt{f'_c E_c} \quad (\text{رابطه ۲})$$

با جایگذاری مشخصات گل میخ قطر ۱۹ میلی‌متر ظرفیت برشی آن در حدود ۱۰۹ kN و ظرفیت برشگیر ناودانی ۶۰ به طول ۵۰ میلی‌متر برابر ۱۰۳ kN به دست می‌آید.

همان‌طور که مشاهده می‌شود ظرفیت برشی گل میخ قطر ۱۹ میلی‌متر با ظرفیت برشی ناودانی ۶۰ به طول ۵۰ میلی‌متر تقریباً برابر است. بر اساس استعلامات صورت گرفته در آذرماه ۱۴۰۲، بهای هر عدد گل میخ قطر ۱۹ میلی‌متر به طول ۱۱۰ میلی‌متر برابر است با ۱۹۰۰۰ تومان است. همچنین بهای هر ناودانی ۶۰ به طول ۵۰ میلی‌متر برابر است با ۶۶۰۰ تومان. هزینه جوشکاری برای یک عدد گل میخ برابر است با ۱۰۰۰۰ تومان؛ این هزینه برای جوشکاری ناودانی برابر است با ۳۰۰۰ تومان. مجموع هزینه‌ها برای گل میخ برابر است با ۲۹۰۰۰ تومان و این مقدار برای ناودانی ۹۶۰۰ تومان است. این مقایسه نشانگر آن است که برشگیر ناودانی با دارا بودن مقاومت یکسان با برشگیر گل میخ، مقرون به صرفه‌تر خواهد بود و در صورت اثبات مقاومت کششی مناسب می‌تواند گزینه جایگزین مطلوبی باشد.

۲- برنامه انجام آزمایش و معرفی نمونه‌ها

۲-۱- مراحل ساخت

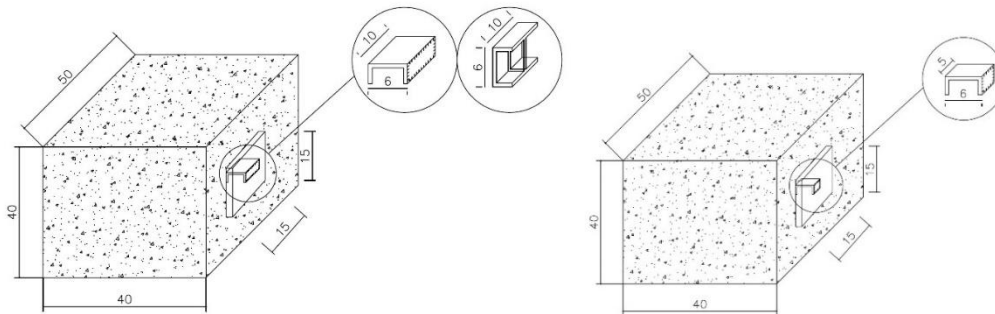
در این بخش به مراحل ساخت ۴ نمونه برشگیر ناودانی مدفون در بتن پرداخته شده است. در جدول ۱ مشخصات نمونه‌ها ارائه شده است. در شکل ۱ جزئیات نمونه‌های آزمایش نشان داده شده است و سپس نحوه انجام آزمایش مورد تشریح قرار خواهد گرفت.



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



نمونه‌ها شامل یک بلوک بتنی $50 \times 40 \times 40$ سانتی‌متری با برشگیر در دو طرف قطعه بتنی هستند. طرح اختلاط بتن بلوک‌ها بر اساس حصول مقاومت فشاری مشخصه حداقل ۲۵ مگاپاسکال لحاظ گردید.



شکل ۱- جزئیات نمونه‌ها

همچنین بلوک‌ها به وسیله‌ی ۴ پیچ M27 به تیر فولادی نشیمن واقع بر کف قوی آزمایشگاه متصل شده است. مقاومت نمونه فشاری استاندارد ۲۸ روزه نمونه‌ها در جدول ۱ برای هر یک از نمونه‌ها گزارش شده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌ها

نمونه	ابعاد نمونه (سانتی‌متر)	نمره ناودانی	طول ناودانی	سخت‌کننده	مقاومت بتن (مگاپاسکال)
U1	$50 \times 40 \times 40$	۶۰	۵ سانتی‌متر	ندارد	۲۸
U2	$50 \times 40 \times 40$	۶۰	۱۰ سانتی‌متر	ندارد	
U3	$50 \times 40 \times 40$	۶۰	۵ سانتی‌متر	دارد	۲۹
U4	$50 \times 40 \times 40$	۶۰	۱۰ سانتی‌متر	دارد	

دو عدد ناودانی شماره ۶۰ (UNP60) به طول ۵ سانتی‌متر و دو عدد ناودانی شماره ۶۰ (UNP60) به طول ۱۰ سانتی‌متر تهیه شد. در داخل جان هر یک از ناودانی‌ها به ارتفاع ۵ و ۱۰، یک سخت‌کننده قائم نصب و جوش داده شد. همچنین ناودانی‌ها هر کدام به یک ورق فولادی 15×15 سانتی‌متر به ضخامت ۲۰ میلی‌متر جوش داده شدند. بعد جوش‌ها با توجه به ضخامت برشگیرها به صورت حداکثر در نظر گرفته شد تا در هنگام آزمایش از قسمت جوش نمونه دچار ضعف نشود.

۲-۲- برپایش آزمایش

آزمایش‌ها در آزمایشگاه سازه دانشگاه علم و فرهنگ انجام گرفت. برپایش آزمایش در شکل‌های ۲ و ۳ نمایش داده شده است. اجزای تشکیل‌دهنده آزمایش عبارت‌اند از جک هیدرولیکی، دو عدد ورق اتصال‌دهنده جک به نمونه، قوطی اتصال ورق به نمونه و



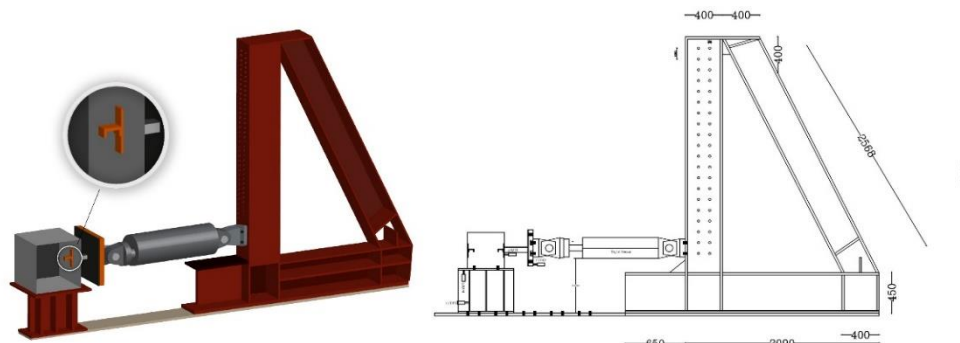
دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



تیر نشیمن که در شکل ۲ نمایش داده شده است. جک هیدرولیکی بر روی قاب عکس العمل به صورت افقی قرار دارد. انتهای قسمت بارگذاری جک به وسیله ۴ پیچ به یک ورق انتهایی و ورق انتهایی از طریق یک قوطی به صفحه متصل به ناودانی متصل شده است. برای تنظیم ارتفاع نمونه یک تیر واسط بین قطعه بتنی و کف قوی مستقر گردید.



شکل ۲- برپایش آزمایش



شکل ۳- برپایش شمایک نمونه

به منظور انجام آزمایش پس از قرارگیری نمونه در سامانه برپایش آزمایش، تمام قسمت های دستگاه آزمایش متشکل از جک، اتصالات پیچی و جابه جایی سنج ها مورد بررسی قرار گرفت و نمونه ها تحت آزمایش کشش یک طرفه قرار گرفت. سنسورهای سنجش جابه جایی (LVDT) تمامی تغییر مکان های محتمل صفحه متصل به ناودانی و همچنین قطعه بتنی را اندازه گیری نمودند.

۳- بحث و بررسی نتایج ۳-۱- بررسی نتایج آزمایشگاهی



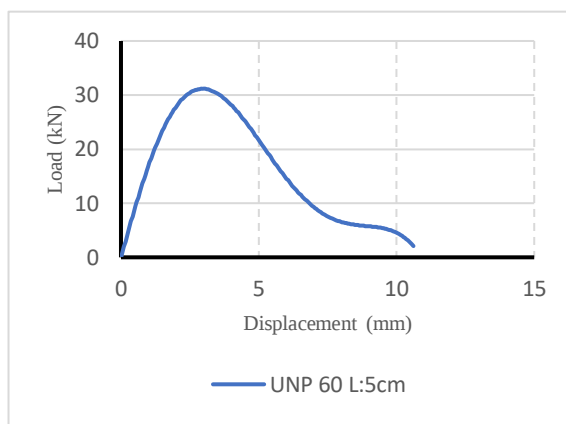
دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد
و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی
۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



در این بخش به بررسی نتایج حاصل از آزمایش کشش هر یک از نمونه‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۱-۱- نمونه U1

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد نمونه U1 دارای یک برشگیر ناودانی ۶۰ به طول ۵ سانتی‌متر است. پس از قراردادن نمونه در سامانه انجام آزمایش، بارگذاری کششی آغاز شد و پس از رسیدن بار به ۳۲۶۳ کیلوگرم، بارگذاری شروع به کاهش با شیب ملایمی کرد و بار پس از مدتی به صفر نزدیک شد. در شکل ۴ ترک‌خوردگی نمونه به همراه نمودار بار-جاب‌جایی به‌نمایش درآمده است.



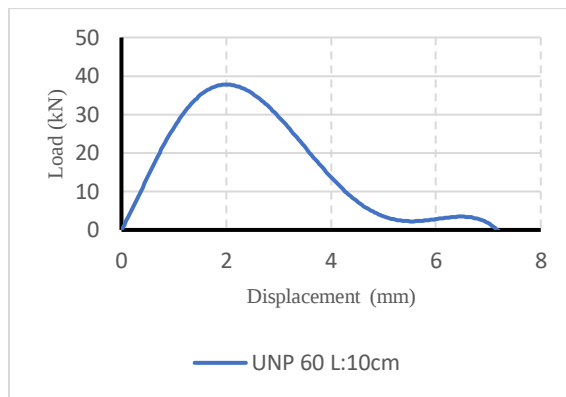
شکل ۴- ترک‌خوردگی و نمودار بار-جاب‌جایی نمونه U1

۳-۱-۲- نمونه U2

این نمونه نیز مانند نمونه U1 دارای یک برشگیر ناودانی نمره ۶۰ بود. با این تفاوت که طول آن از ۵ سانتی‌متر به ۱۰ سانتی‌متر افزایش پیدا کرده بود. بارگذاری با شیب ملایم آغاز و تا ۳۹۲۵ کیلوگرم افزایش پیدا کرد و سپس با شیب ملایم بار افت کرده و به صفر نزدیک شد. همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است شکل خرابی در نمونه U2 همانند نمونه U1 است با این تفاوت که ترک‌ها در نمونه U2 بازشدگی بیشتری دارد و با زاویه‌ی کمتری نسبت به افق است. همچنین تأثیر افزایش طول برشگیر در بارگذاری مشهود است. در شکل ۵، ترک‌خوردگی نمونه و نمودار بار-جاب‌جایی به‌نمایش داده شده است.



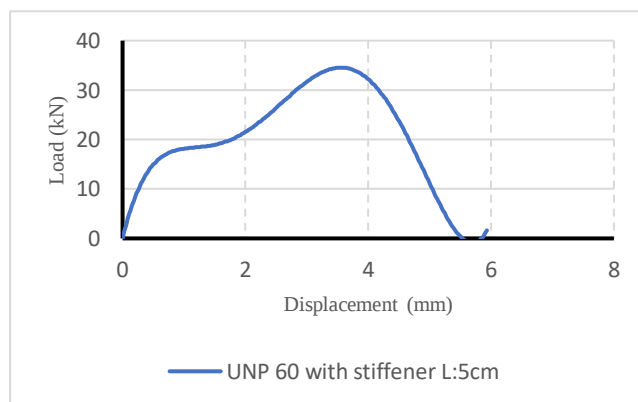
دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



شکل ۵- ترک خوردگی و نمودار بار-جابجایی نمونه U2

۳-۱-۳- نمونه U3

این نمونه دارای یک برشگیر ناودانی نمره ۶۰ به طول ۵ سانتی متر بود که در وسط جان آن یک سخت کننده جوش داده شده بود. بارگذاری با شیب ملایم آغاز و تا ۳۵۶۹ کیلوگرم افزایش پیدا کرد و سپس بار با افت مواجه شد. ترک خوردگی نمونه U3 با زاویه ی کمتری نسبت به افق اتفاق افتاد و نسبت به نمونه U1 به صورت باز تر مشاهده گردید. همچنین مشاهده شد در طول کم، از یک نمره و طول یکسان برشگیر، سخت کننده تأثیر به سزایی ندارد. در شکل ۶، ترک خوردگی نمونه و نمودار بار-جابجایی به نمایش در آمده است.



شکل ۶- ترک خوردگی و نمودار بار-جابجایی نمونه U3

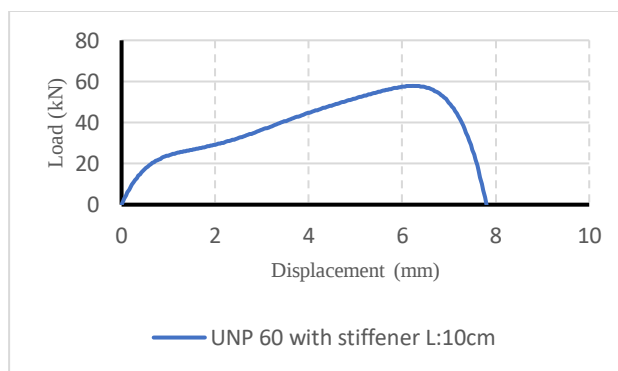


دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



۳-۱-۴- نمونه U4

این نمونه دارای یک برشگیر ناودانی نمره ۶۰ به طول ۱۰ سانتی‌متر بود که در وسط جان آن یک سخت‌کننده جوش داده شده بود. بارگذاری با شیب ملایم آغاز و تا ۵۸۱۲ کیلوگرم افزایش پیدا کرد و سپس بار با افت ناگهانی مواجه شد. این مقدار بار نشانگر تأثیر عملکرد سخت‌کننده در این نمونه بود. ترک‌ها نیز در نمونه U4 در مقایسه با نمونه U2 تغییر محسوسی نداشت. در شکل ۷، ترک‌خوردگی نمونه و نمودار بار-جاب‌جایی به‌نمایش درآمده است.



شکل ۷- ترک‌خوردگی و نمودار بار-جاب‌جایی نمونه U4

۳-۱-۴- مقایسه نتایج نمونه‌ها با یکدیگر

در این بخش به بررسی و مقایسه تغییرشکل‌ها و مقاومت چهار نمونه پرداخته می‌شود. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، نمونه U1 که فاقد سخت‌کننده است، دچار تغییر شکل در قسمت بال برشگیر شده است در صورتی‌که این تغییر شکل در برشگیر هم طول که دارای سخت‌کننده است - نمونه U3 - دیده نمی‌شود. همچنین از اثرات شایان توجه سخت‌کننده آن است که تغییر شکلی در جان ناودانی رؤیت نشد. در شکل ۹ برشگیرهای آزمایش شده نمونه U2 و U4 بعد از تخریب بتن نشان‌داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست برشگیری که دارای سخت‌کننده نمی‌باشد - نمونه U2 - دارای تغییر شکل در قسمت بال است؛ این در صورتی است که برشگیری که دارای سخت‌کننده است - نمونه U4 - فاقد چنین تغییر شکلی است.



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



ب - نمونه U3



الف - نمونه U1

شکل ۸- تغییر شکل نمونه U1 و U3



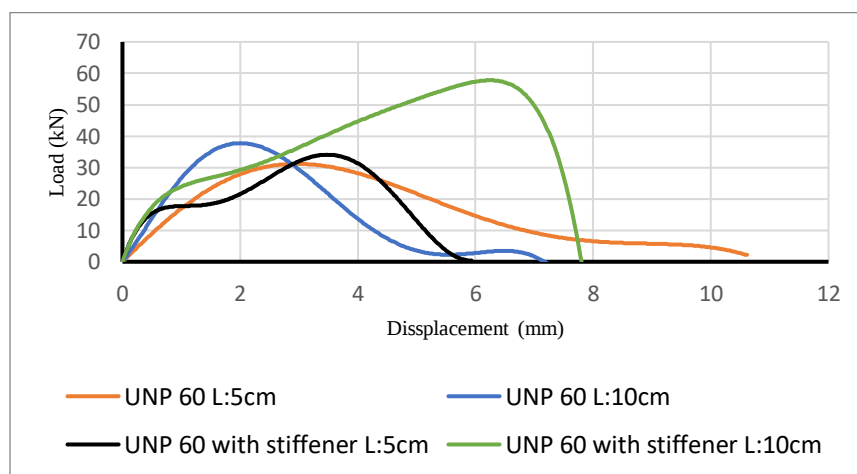
ب - نمونه U4



الف - نمونه U2

شکل ۹- تغییر شکل نمونه U2 و U4

در شکل ۱۰ منحنی نیرو - تغییر مکان ۴ نمونه در یک نمودار ارائه شده است. همانطور که پیش تر بیان شد افزایش طول برشگیر باعث افزایش باربری در برشگیرها شد. همچنین با اضافه کردن سخت کننده در جان برشگیر ناودانی در طول ۱۰ سانتی متر باربری به صورت قابل ملاحظه ای افزایش پیدا کرد.



شکل ۱۰- مقایسه نمودار بار-جابجایی تمامی نمونه ها



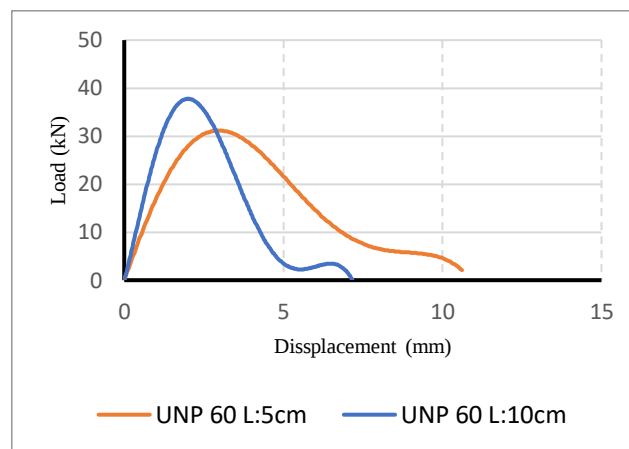
دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد
و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی
۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



۳-۳- بررسی اثر طول و سخت کننده

۳-۳-۱- اثر طول برشگیر

در این بخش به بررسی اثر طول برشگیر پرداخته شد. طبق نتایج بدست آمده از آزمایش مشاهده شد که با افزایش طول برشگیر مقاومت کششی آن تا حدی افزایش می‌یابد، ولی این رابطه لزوماً خطی نیست. در شکل ۱۰ نمودار نیرو- تغییر مکان نمونه U1 و U2 نمایش داده شده است.



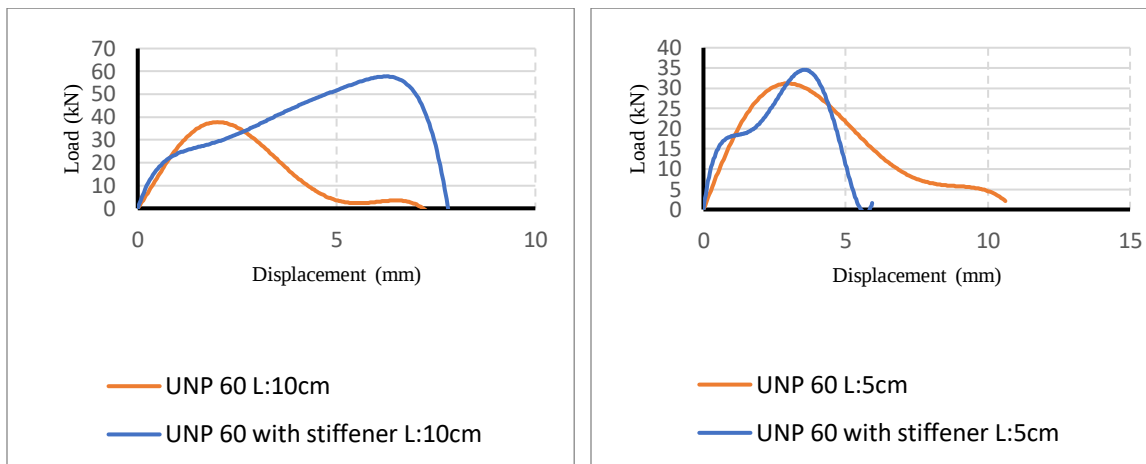
شکل ۱۱- مقایسه نمودار بار-جابجایی نمونه U1 و U2

۳-۳-۲- اثر سخت کننده در برشگیر

همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در برشگیرهای ناودانی نمره ۶۰ به طول ۵ سانتی‌متر وجود سخت‌کننده تأثیری چندانی بر باربری آن نداشت. این در صورتی است که وقتی طول به ۱۰ سانتی‌متر افزایش پیدا کرد باربری با وجود سخت‌کننده به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرد. بنابراین اضافه نمودن سخت‌کننده در طول‌های کوچکتر و در حدود ابعاد ناودانی تأثیر چشمگیری در مقاومت ندارد؛ لکن افزودن سخت‌کننده در طول‌های بزرگتر تأثیر چشمگیری در افزایش مقاومت کششی ناودانی مدفون در بتن دارد. از این‌روی در صورت نیاز به استفاده از برشگیرهای با طول‌های بلندتر، استفاده از سخت‌کننده کمک شایانی به حصول مقاومت کششی بالاتر می‌نماید.



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



شکل ۱۲- مقایسه نمودار بار-جابجایی نمونه‌ها

۴- استخراج رابطه ظرفیت کششی ناودانی مدفون در بتن

در این بخش باتوجه به نتایج به دست آمده از نمودارها و الگوی ترک مشاهده شده در آزمایش‌ها، رابطه‌ای برای ظرفیت کششی ناودانی مدفون در بتن ارائه شده است. مقاومت گسیختگی بتن مهار در کشش به طور عمومی از رابطه ۴ قابل محاسبه است. [۱۰] در ادامه به توسعه این رابطه برای ناودانی مدفون در بتن پرداخته می‌شود.

$$N = \frac{\sqrt{K_1 f_c}}{\sqrt{K_3 h_{ef}}} (k_2 h_{ef})^2 \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$\sqrt{\frac{K_1}{K_3}} K_2^2 = 10 \quad (\text{رابطه ۴})$$

مقاومت گسیختگی مخروط بتن مهار شده توسط ناودانی در کشش از توسعه روابط زیر قابل محاسبه است. برای گسیختگی گوه با شکل مخروطی، مساحت پیرامونی برابر است با:

$$S_l = \pi r l = \pi * 1.5 h_{ef} * 1.8 h_{ef} = 8.48 h_{ef}^2 \quad (\text{رابطه ۵})$$

با داشتن رابطه ۴ و اینکه پارامتر k_2 در رابطه ۳ معرف شکل هندسی گوه گسیختگی است، خواهیم داشت:

$$\sqrt{\frac{K_1}{K_3}} K_2^2 = 10, K_2^2 = 8.48 \rightarrow \sqrt{\frac{K_1}{K_3}} = 1.18 \quad (\text{رابطه ۶})$$

بر اساس نتایج آزمایش، باتوجه به اینکه گوه گسیختگی به صورت هرم ناقص است، مساحت جانبی هرم جهت برآورد مساحت گوه از رابطه زیر بدست می‌آید:

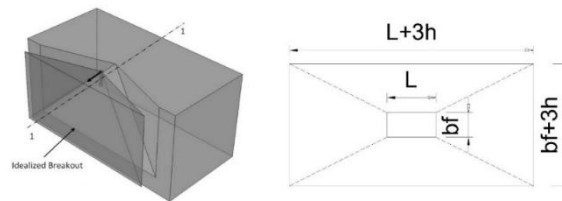


دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



$$S = \frac{P_1 + P_2}{2} * l$$

(رابطه ۷)



شکل ۱۳- مقطع بتن ترک خورده

$$P_1 = 2(l + b_f)$$

(رابطه ۸)

$$P_2 = 2 * [(b_f + 3h) + (l + 3h)]$$

(رابطه ۹)

با جایگذاری رابطه ۸ و ۹ در رابطه ۷ خواهیم داشت:

$$S = 3.6h(l + b_f + 3h)$$

(رابطه ۱۰)

در نهایت، با جایگذاری رابطه ۶ و ۱۰ در رابطه ۳ رابطه پیشنهادی محاسبه ظرفیت کششی برشگیر مدفون در بتن از رابطه زیر بدست می آید.

$$N = 4.248(l + b_f + 3h)h^{0.5}\sqrt{f_c}$$

(رابطه ۱۰)

که در آن پارامترها به صورت زیر معرفی می گردد:

N : مقاومت کششی ناودانی مدفون در بتن (N)، l : طول ناودانی (mm)، b_f : عرض بال ناودانی (mm)، h : ارتفاع جان ناودانی (mm)، f_c : مقاومت فشاری بتن (MPa).

برای کنترل رابطه فوق، ظرفیت های کششی ناودانی شماره ۶۰ با طول های مختلف از رابطه ی پیشنهادی به صورت زیر محاسبه می شود. هدف از این محاسبه، بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از رابطه و آزمایش است.

محاسبه ظرفیت کششی ناودانی شماره ۶۰ به طول ۵ سانتی متر مدفون:

$$N = 4.248 * (50 + 30 + 3 * 60) * 60^{0.5}\sqrt{28} = 4.5\text{ton}$$



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی ۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



محاسبه ظرفیت کششی ناودانی شماره ۶۰ به طول ۱۰ سانتی متر مدفون در بتن:

$$N = 4.248 * (100 + 30 + 3 * 60) * 60^{0.5} \sqrt{29} = 5.4 \text{ ton}$$

مشاهده می شود با دو برابر شدن طول ناودانی، ظرفیت دو برابر نمی شود، زیرا بر اساس رابطه ی استخراج شده، طول با مقاومت نهایی رابطه مستقیم ندارد.

در جدول ۲ نتایج مقاومت کششی حاصل از آزمایش و رابطه پیشنهادی ارائه شده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج رابطه پیشنهادی و رابطه آزمایشگاهی

نمونه	مقاومت کششی بر اساس آزمایش (ton)	مقاومت کششی بر اساس فرمول (ton)
U1	۳/۲۶۳	۴/۵
U2	۳/۹۲۵	۵/۴

مشاهده می شود با تقریب مطلوبی، فرمول ارائه شده، نتایج آزمایش را در بر می گیرد. درصد خطای مشاهده شده برابر ۲۷ درصد است. از دلایل خطای ایجاد شده می توان به محدودیت ابعاد بلوک بتنی، عدم توسعه ترک به صورت یکنواخت در دو سمت ناودانی و خطاهای اجرایی، نزدیک شدن ترک های گوه گسیختگی به لبه های قطعه و تفاوت مقاومت فشاری نمونه و آزمون ها اشاره کرد.

۵- بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق امکان سنجی استفاده از ناودانی مدفون در بتن به عنوان یک جزء متصل کننده در عناصر مختلط از طریق انجام چهار آزمایش بیرون کشیدگی بررسی شد. همچنین رابطه ای جهت برآورد مقاومت کششی ناودانی مدفون در بتن ارائه گردید. باتوجه به نتایج آزمایش می توان موارد ذیل را به عنوان نتایج این تحقیق عنوان نمود:

- ۱- با مشاهده نمودارهای بار-جابجایی مشخص گردید مکانیزم خرابی، گسیختگی بتن است و تسلیم فولاد نیست.
- ۲- رابطه ی ارائه شده برای محاسبه ظرفیت کششی ناودانی مدفون در بتن دارای دقت مطلوبی است.
- ۳- استفاده از سخت کننده جان در ناودانی در افزایش مقاومت ناودانی مدفون در کشش در ناودانی های با طول کم، اندک و در ناودانی با طول زیاد قابل توجه است.
- ۴- در غیاب رابطه دقیق برای محاسبه ظرفیت کششی ناودانی مدفون در بتن می توان از رابطه گل میخ هم ارزش برشی استفاده نمود. لازم به ذکر است برای ناودانی محافظه کارانه است.
- ۵- به دلیل عدم تقارن در شکست بتن در برشگیرهای ناودانی می توان برای رفع این موضوع، در مواردی که مؤلفه کششی ادوات اتصال مختلط غالب است، از مقاطع I شکل استفاده نمود.



دوازدهمین کنفرانس ملی سازه و فولاد
و اولین کنفرانس ملی نوردکاران فولادی
۲۰ تا ۲۲ آذرماه ۱۴۰۲ - هتل المپیک - تهران



۶- در صورت جلوگیری از بروز مد گسیختگی بتن و همچنین افزایش ظرفیت گوه گسیختگی، مقاومت کششی ناودانی مدفون در بتن قابل افزایش است. خوشبختانه در اکثر عناصر بتنی به دلیل حضور میلگردهای فولادی به طور ذاتی اضافه مقاومت‌های در قابل بروز گوه گسیختگی بتن دارند.

در کل استفاده از ناودانی مدفون در بتن برای تحمل کشش به‌خصوص باتوجه‌به توجیه اقتصادی زیاد و تنوع بسیار زیاد سازه و طول قابل توصیه است.

منابع

- [۱] م. م. ساختمان، مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی. وزارت مسکن و شهرسازی. ۱۳۹۹.
- [۲] م. خلیلیان، "تعیین ظرفیت برشگیرهای نبشی"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد گرایش زلزله دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۹۰.
- [۳] S. Maleki and S. Bagheri, "Behavior of channel shear connectors, Part II: Analytical study," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 64, no. 12, pp. 1341-1348, 2008.
- [۴] S. Maleki and S. Bagheri, "Behavior of channel shear connectors, Part I: Experimental study," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 64, no. 12, pp. 1333-1340, 2008.
- [۵] A. Pashan, "Behaviour of channel shear connectors: push-out tests," 2006.
- [۶] E. Baran and C. Topkaya, "Behavior of steel-concrete partially composite beams with channel type shear connectors," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 97, pp. 69-78, 2014.
- [۷] M. Shariati, N. R. Sulong, M. Suhatri, A. Shariati, M. A. Khanouki, and H. Sinaei, "Comparison of behaviour between channel and angle shear connectors under monotonic and fully reversed cyclic loading," *Construction and Building Materials*, vol. 38, pp. 582-593, 2013.
- [۸] K. Khorramian, S. Maleki, M. Shariati, A. Jalali, and M. Tahir, "Numerical analysis of tilted angle shear connectors in steel-concrete composite systems," *Steel Compos. Struct.*, vol. 23, no. 1, pp. 67-85, 2017.
- [۹] R. T. Leon, "EVOLUTION OF USA COMPOSITE CODES: CHANGES IN CHAPTER I (COMPOSITE CONSTRUCTION) OF THE AISC 360-22," *ce/papers*, vol. 6, no. 1, pp. 25-37, 2023.
- [۱۰] N. Mellios, P. Spyridis, and K. Bergmeister, "Extended concrete capacity design method for anchors close to non-rectangular edges," *Structural Concrete*, 2023.