

## استفاده از ورق‌های گسترده‌ی فولادی در ساخت سازه‌های پایدارکننده

سید پارسا هیبت‌اللهی

کارشناس ارشد شرکت تولیدی و صنعتی ورق مشبک آراین مبین، [parsa\\_haibatollahi@rail.iust.ac.ir](mailto:parsa_haibatollahi@rail.iust.ac.ir)

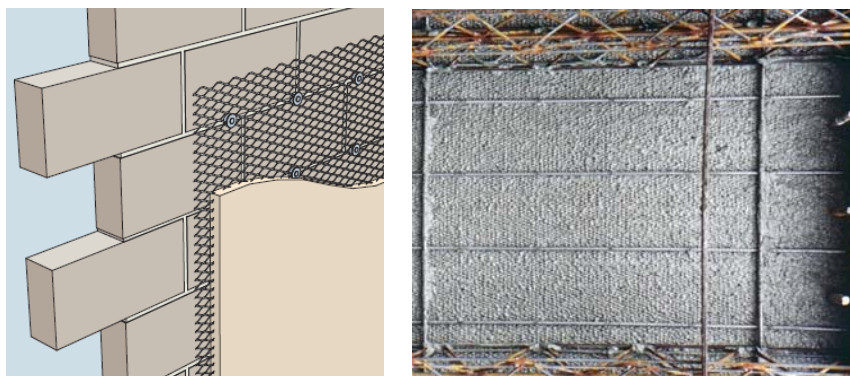
### چکیده

بسیاری از سازه‌های بتونی‌ای که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیازمند ارزیابی عملکرد و در صورت لزوم، تقویت و بهسازی آن‌ها است. راه‌های مختلفی مانند افزایش شکل‌پذیری و افزایش سختی جهت تقویت یک سازه‌ی بتونی وجود دارد که بایستی مقرون‌به‌صرفه بودن این روش‌های بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گیرند. برای مسلح نمودن یک سازه‌ی بتونی به‌طور معمول از آرماتور استفاده می‌شود ولی با توجه به پیشرفت دانش روز در مورد رفتار مواد در برابر اعمال بارهای کششی و فشاری، مواد جدیدی جهت این امر، بکار گرفته می‌شوند. ورق‌های گسترده‌ی فولادی به‌عنوان تقویت‌کننده‌ی سازه‌های بتونی بکار گرفته می‌شوند. در این مقاله به بررسی رفتار کششی ورق‌های گسترده‌ی فولادی، مدل‌سازی شده در نرم‌افزار ANSYS پرداخته و نتایج آن را با نتایج آزمایشگاهی‌ای که از قبل منتشر شده‌اند، بررسی نموده و نتایج خوبی را به دست آورده‌ایم.

**واژه‌های کلیدی:** سازه‌های پایدارکننده، سازه‌ی بتونی، ورق گسترده‌ی فولادی، رفتار کششی.

### ۱- ورق‌های گسترده‌ی فولادی

ورق‌های گسترده‌ی فولادی، ورق‌هایی با شبکه‌ی لوزی شکل می‌باشند که با انجام عملیات برش و کشش روی ورق فولادی تولید می‌شوند. از جمله مزیت‌های این دسته از ورق‌ها می‌توان به مقاومت زیاد نسبت به وزن آن، مقاومت بالای خوردگی در صورت گالوانیزه کردن، انعطاف‌پذیری برای شکل‌دهی و برش، سطح بدون لغزش، نسوز بودن، یکپارچه بودن محصول و دسترسی به طیف وسیعی از اندازه‌های دلخواه نام برد. ویژگی بارز ورق‌های گسترده‌ی فولادی نسبت به ورق‌های مشبک پانچی، مقرون‌به‌صرفه بودن آن است چون در فرآیند ساخت این محصول هیچ دورریزی نخواهیم داشت. مصارف این ورق‌های گسترده‌ی فولادی در مسلح‌سازی بتون، سقف کاذب، حصارکشی، پنل‌های تصفیه، فیلترهای صنعتی، جاذب موج دریا، پنل‌های صوتی و لوازم منزل می‌باشد.



شکل ۱: کاربرد ورق‌های گسترده‌ی فولادی در مسلح نمودن بتون

## ۲- سازه‌های پایدارکننده

آمار دقیقی از تلفات ناشی از ریزش دامنه‌ی کوه‌ها یا زیرساخت‌ها و نتیجتاً مسدود شدن جاده‌ها و خطوط ریلی در دسترس نیست. مسدود شدن شبکه‌های حمل‌ونقل بر اثر ریزش دامنه یا فونداسیون راه‌ها، تلفات جانی و مالی فراوانی را در بر خواهد داشت.



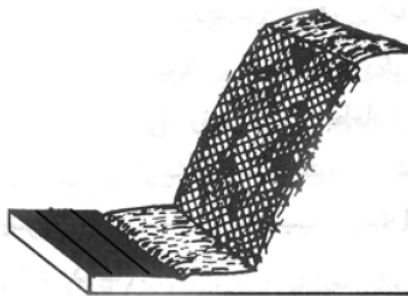
شکل ۲: نمونه‌هایی از ریزش دامنه‌ها و مسدود شدن خطوط حمل‌ونقل

یکی از روش‌های رایج برای دستیابی به پایداری بیشتر، احداث سازه‌های پایدارکننده است. در ادامه به صورت اجمالی، این نوع از سازه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

### ۲-۱- توری سیمی

پوشاندن سطح دامنه توسط توری، بیش از همه در مورد دامنه‌های سنگی پرشیب، خصوصاً دامنه‌هایی که ریزش دائمی سنگ داشته و از ریسک بالایی برخوردارند، مفید واقع می‌شوند. گابیون‌ها یکی از انواع کم‌هزینه‌ی دیوارها هستند که می‌توانند در نقش‌های متفاوتی مورد استفاده قرار گیرند. عمده استفاده‌ی این دیوارها به عنوان دیوار پوششی و یا دیوار حائل در شرایطی که دیوار نقشی حیاتی بر عهده ندارد، می‌باشد.

این‌گونه دیوارها، نیروهای وارده را با مؤلفه‌های مقاوم ناشی از وزن دیوار که همبستگی و یکپارچگی آن‌ها توسط قفسه‌بندی‌های فلزی تأمین شده است، تحمل می‌کنند. توری سیمی پس از گسترده شدن در بخش مورد نظر توسط میخ یا قلاب‌های فولادی به دامنه وصل می‌شود. از این توری‌ها برای کنترل فرسایش و تقویت زمین پی در خاک‌های سست یا زمین‌های باتلاقی نیز بکار گرفته می‌شوند [۱].

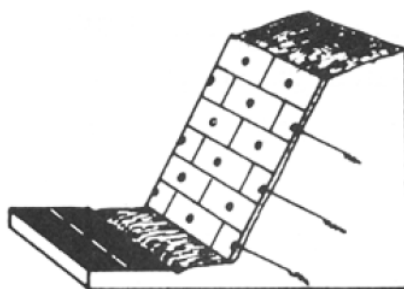


شکل ۳: توری سیمی

### ۲-۲- دیوار بتنی مهارشده

این دیوار متشکل از پرده‌ی نازکی به ضخامت ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متر از بتن مسلح است که هم‌زمان با پیشرفت حفاری، پلکان‌ها از بالا به پایین دامنه ساخته‌شده و به‌طور هم‌زمان می‌توان در بخش‌های مقاوم داخل یا سنگ هوازده و دیواره‌ی حفاری‌های عمیق استفاده کرد.

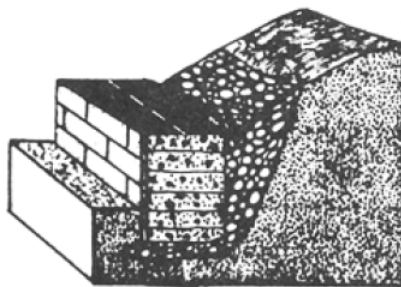
این روش، نقطه‌ضعف دیوارهای بتنی را که در طول حفاری و در خلال تکمیل، دیوار دامنه را بدون حائل رها می‌کند، ندارد. مزیت دیگر آن‌ها این است که پس از تکمیل دیوار نیز می‌توان ابعاد و ظرفیت آن را افزایش داد. دیوارهای حائل بتنی مسلح کاربرد گسترده‌ای در شبکه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی دارند. این دیوارها کاربردهای وسیعی از جمله جلوگیری از حرکت و ریزش توده‌های خاک و سنگ در مسیر، تأمین مقاومت کافی برای مقابله با فشار جانبی خاک و پایدار نمودن شیب‌ها در برابر بارهای افقی دارند [۱].



شکل ۴: دیوار بتونی مهارشده

### ۳-۲- دیوار خاکی مسلح

دیوارهای خاکی به‌تنهایی از استحکام چندانی برخوردار نیستند از این‌رو با قرار دادن نوارها یا ورق‌های گسترده‌ی فولادی در لابه‌لای خاک کوبیده شده، استحکام و پایداری دیوار را به مقدار فراوانی افزایش می‌دهند. نوارها یا ورق‌های گسترده‌ی فولادی به یک پوسته‌ی خارجی که معمولاً از قطعات بتن پیش‌ساخته درست‌شده، وصل می‌شوند. این دیوار علاوه بر جلوگیری از لغزش، در مراحل اولیه‌ی گسیختگی دامنه، حرکت آن را کند و یا متوقف می‌سازد [۱].



شکل ۵: دیوار خاک مسلح

### ۴-۲- دیوار سبدي

دیوار سبدي از توری سیمی بافته شده است و داخل آن با سنگ شکسته یا مصالح رودخانه‌ای به قطر ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متر پر می‌شود. مناسب‌ترین بستر برای این دیوارها، خاک‌های نسبتاً مستحکم است.

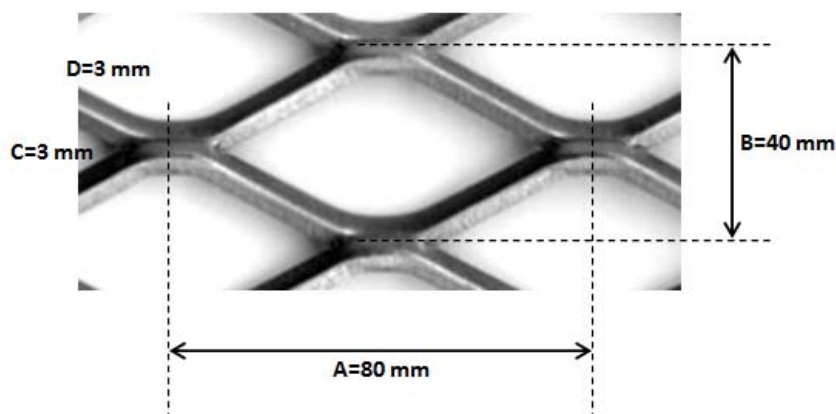
از این نوع دیوار می‌توان در پای دامنه و برای افزودن به نیروهای مقاوم و پیشگیری از لغزش و کنترل قطعات ریزشی استفاده کرد. دیوارهای سبدي امروزه به‌طور وسیعی برای محافظت خاک یا سنگ‌های سست و هوازده در برابر فرسایش آبهای جاری، در ساحل رودها و دیواره‌ی کانال بکار می‌رود. معمولاً عرض سبدها حدود ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع آنها حداکثر به ۱۰ متر می‌رسد [۱].



شکل ۶: دیوار سبدي

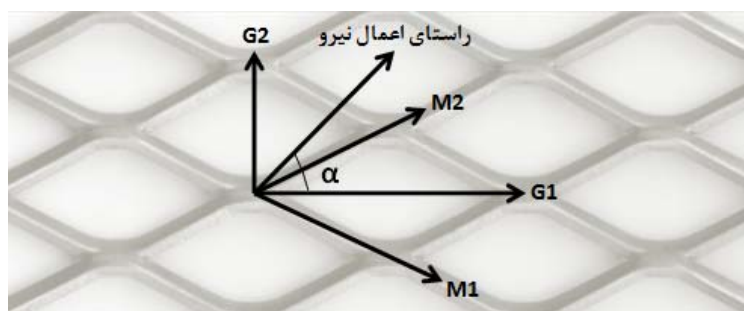
### ۳- رفتار کششی ورق‌های گسترده‌ی فولادی

مقاله‌ی حاضر جهت مشخص کردن رفتار کششی نمونه‌های صفحات ورق گسترده‌ی فولادی آماده شده است. خصوصیات هندسی مش‌های لوزی شکل صفحات ورق گسترده در شکل ۷ نشان داده شده است که  $A$  قطر بزرگ لوزی و  $B$  قطر کوچک لوزی و  $C$  عرض رشته و  $D$  ضخامت رشته است.



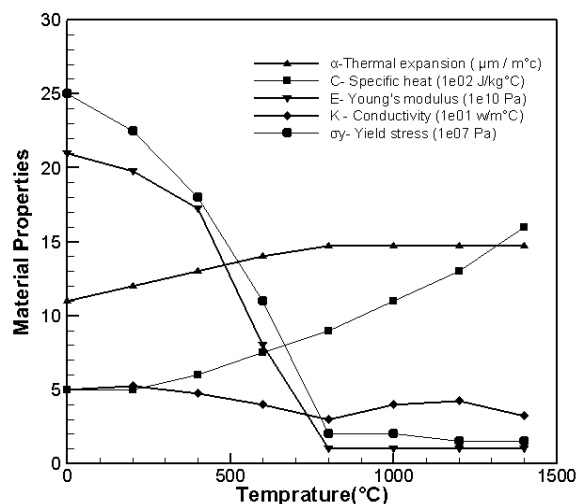
شکل ۷: خصوصیات هندسی مش‌های لوزی شکل صفحات ورق گسترده

همان‌طور که در شکل ۸ آمده است، محور  $G1$  در راستای قطر بزرگ لوزی، محور  $G2$  در راستای قطر کوچک لوزی است و  $L$  راستای اعمال بارگذاری است که با محور  $G1$  زاویه  $\alpha$  می‌سازد. همچنین  $M1$  و  $M2$  محورهای منطبق بر راستای اضلاع لوزی است. هر گروه از آزمایش‌ها بر روی سه نمونه جهت بالا بردن دقت نتایج، صورت گرفته است.

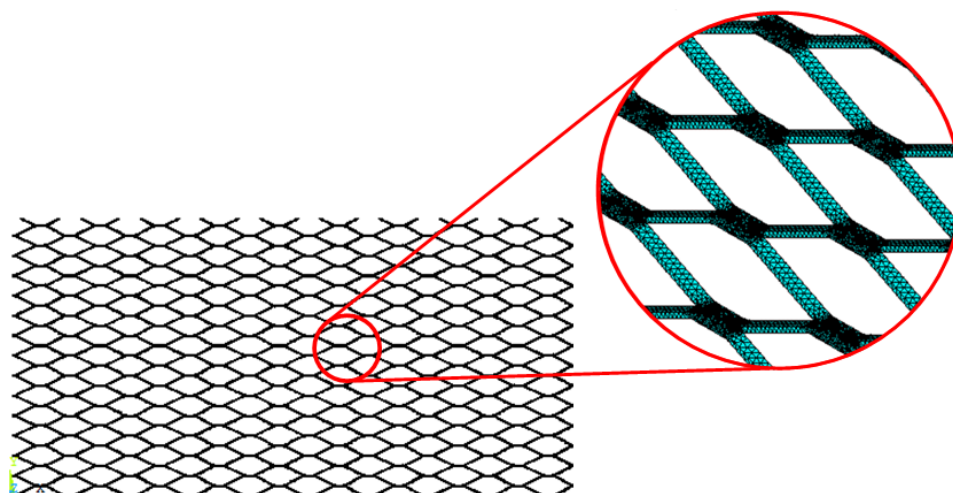


شکل ۸: محورهای مورد استفاده در این گزارش

برای شبیه‌سازی این ورق در نرم‌افزار ANSYS، جنس ورق را ASTM A36 انتخاب نموده که خصوصیات آن به‌قرار زیر است:



شکل ۹: خصوصیات ASTM A36 جهت ورودی به نرم‌افزار ANSYS [2]

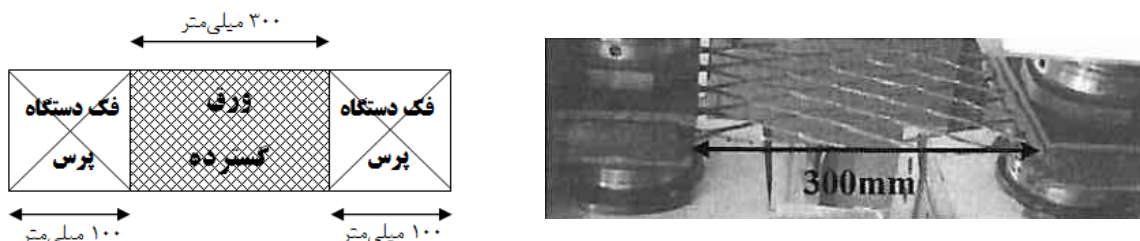


شکل ۱۰: ورق گسترده‌ی فولادی با مشخصات هندسی شکل ۷، شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار ANSYS



#### ۴- تست کشش مستقیم بر روی نمونه‌های ورق گسترده

تمامی نمونه‌ها با ابعاد برابر و با زوایای مختلف برش داده شده‌اند. عرض نمونه‌ها، طبق شکل زیر، ۲۰۰ میلی‌متر، طول آن‌ها ۵۰۰ میلی‌متر و طول آزاد ۳۰۰ میلی‌متر هستند.

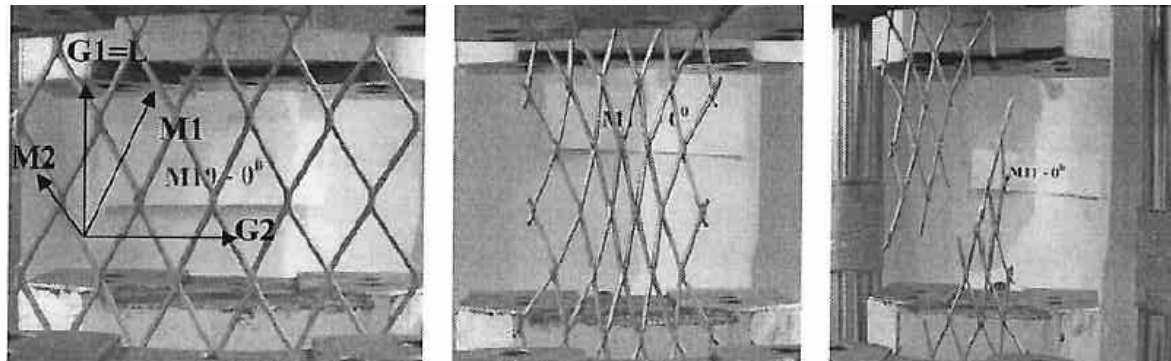


شکل ۱۱: نمونه‌ی مورد آزمایش

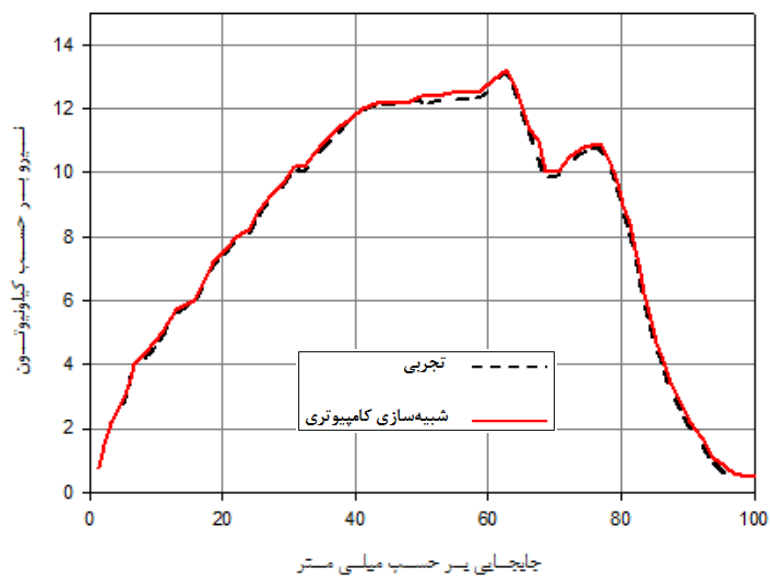
نمونه‌ها در دستگاہ تست یونیورسال DARTEC با لودسلی با ظرفیت ۶۰۰ کیلو نیوتون، مورد آزمایش قرار می‌گیرند. برای هر کدام از زوایای ۰ و ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ درجه، چند نمونه مورد آزمایش قرار گرفتند [3].

#### ۴-۱- نتایج برای زاویه ۰ درجه

در این نمونه‌ها مطابق شکل ۱۲ راستای اعمال نیرو با محور  $G1$  همخوانی دارد. در این نمونه‌ها تا نیروی تقریبی ۱۲ کیلو نیوتون، تغییرات قابل قبولی در هندسه‌شان رؤیت می‌شود.



شکل ۱۲: بارگذاری برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 0^\circ$

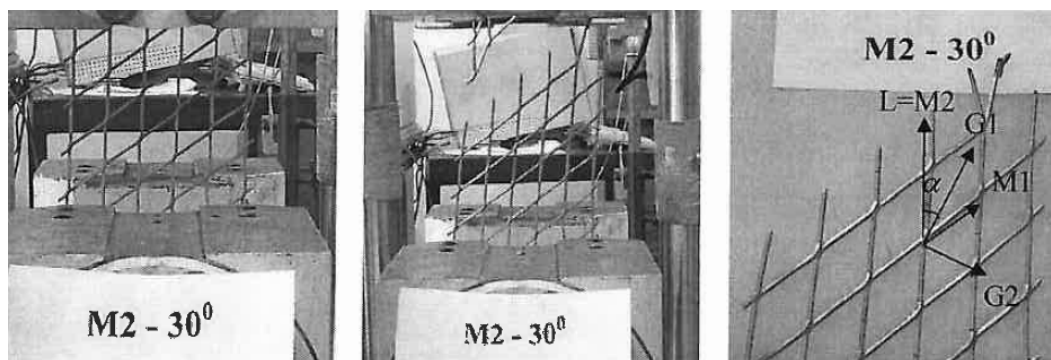


شکل ۱۳: نمودار نیرو بر حسب جابجایی برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 0^\circ$   
مقایسه‌ی نتایج تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری

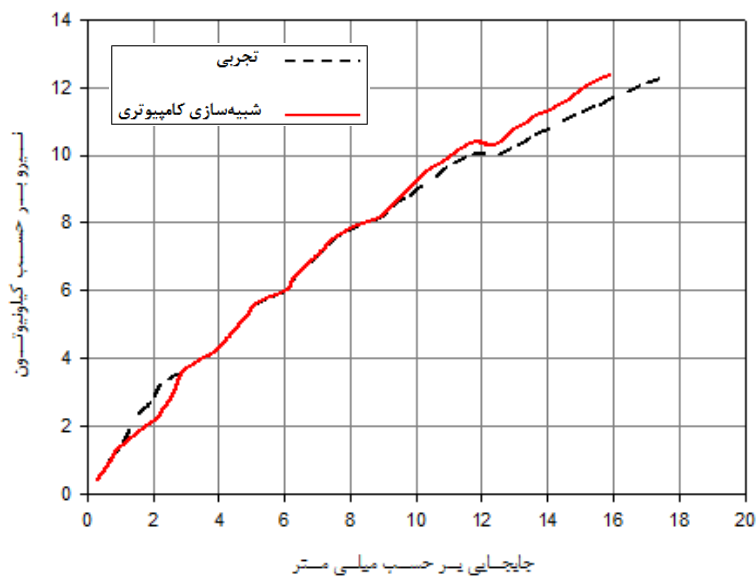
جابجایی در نقطه‌ی اعمال بار ماکزیمم و در نقطه‌ی اعمال بار نهایی نسبتاً زیاد است و بار ماکزیمم به حد قابل قبولی رسیده است.

#### ۲-۴- نتایج برای زاویه‌ی $30^\circ$ درجه

در این مرحله، راستای اعمال نیرو با محور  $G1$  نمونه‌ها، زاویه‌ی  $30^\circ$  درجه می‌سازد. نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکل در این آزمایش به مراتب کمتر از آزمایش قبل است. قبل از اینکه نمونه‌ها از هم گسیخته شوند، نیروی ماکزیمم به  $12$  کیلو نیوتون می‌رسد.



شکل ۱۴: بارگذاری برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 30^\circ$

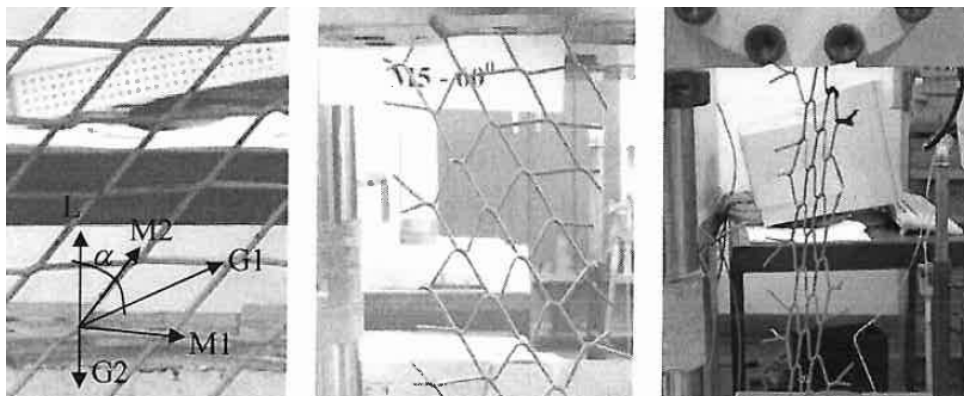


شکل ۱۵: نمودار نیرو بر حسب جایجایی برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 30^\circ$   
مقایسه‌ی نتایج تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری

همان‌طور که در نمودار جایجایی بر حسب نیرو در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، جایجایی در ماکزیمم مقدار نیرو، از حالتی که نمونه‌ها در زاویه‌ی صفر درجه قرار داشتند، کمتر است ولی بار ماکزیمم تقریباً برابر با حالت قبل است. نمودار فوق نسبت به نمودار قبلی، خطی‌تر است.

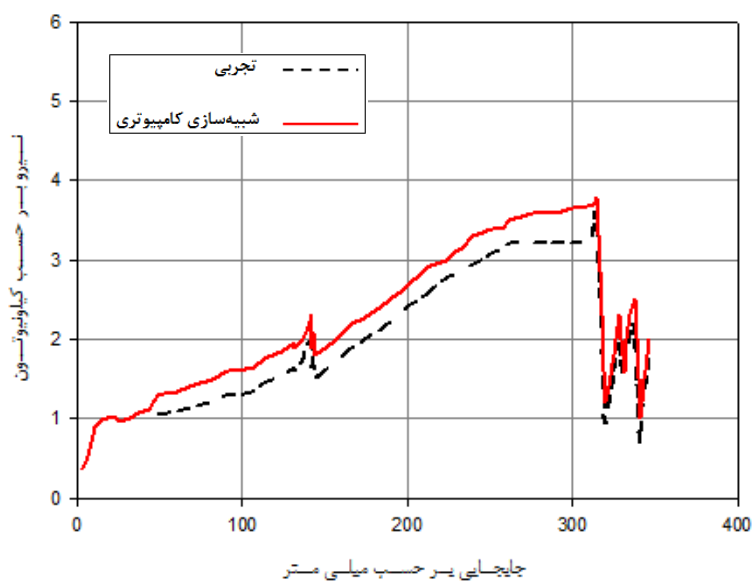
#### ۳-۴- نتایج برای زاویه‌ی ۶۰ درجه

در این مرحله، راستای اعمال نیرو با محور G1 نمونه‌ها، زاویه‌ی ۶۰ درجه می‌سازد. نتایج نشان می‌دهد که تغییر شکل در این آزمایش به مراتب کمتر از آزمایش قبل است. قبل از اینکه نمونه‌ها از هم گسیخته شوند، نیروی ماکزیمم به ۳,۹ کیلو نیوتون می‌رسد.



شکل ۱۶: بارگذاری برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 60^\circ$



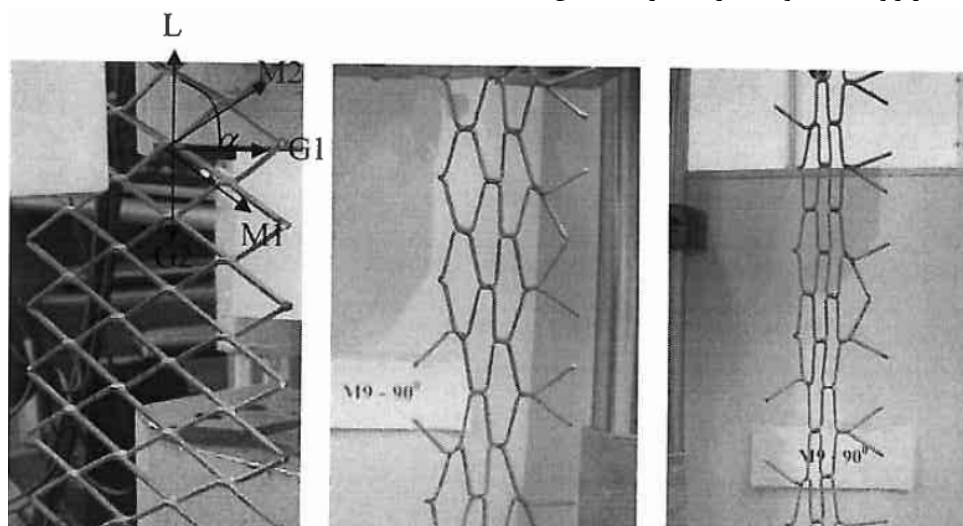


شکل ۱۷: نمودار نیرو بر حسب جابجایی برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 60^\circ$   
مقایسه‌ی نتایج تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری

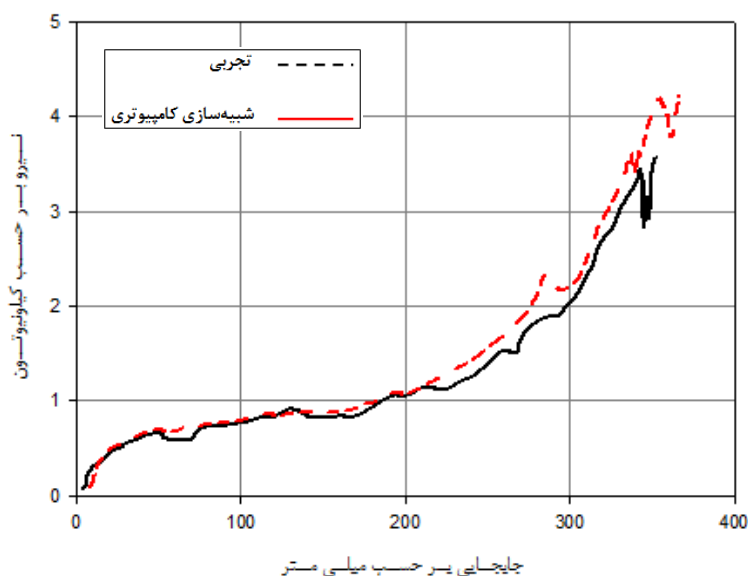
تغییر شکل‌ها بسیار بزرگ و بار نهایی کمترین مقدار بین این سه آزمایش را دارد. بعد از عبور از ناحیه‌ی خطی، بار تا تغییر شکل ۱۵۰ میلی‌متری، آرام‌آرام افزایش پیدا می‌کند. بعد از این مرحله، نمونه‌ی ورق گسترده دچار کشیدگی و از هم گسیختگی می‌شود.

#### ۴-۴- نتایج برای زاویه‌ی ۹۰ درجه

نتایج تست در زاویه‌ی ۶۰ و ۹۰ درجه تقریباً یکسان است.



شکل ۱۸: بارگذاری برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 90^\circ$



شکل ۱۹: نمودار نیرو بر حسب جابجایی برای ورق گسترده‌ی فولادی با  $\alpha = 90^\circ$   
مقایسه‌ی نتایج تجربی و شبیه‌سازی کامپیوتری

### ۵- جمع‌بندی

جدول ۱ شامل تنش الاستیک،  $\sigma_L$  و کرنش آن،  $\epsilon_L$ ، تنش ماکزیمم،  $\sigma_{max}$  و کرنش آن،  $\epsilon_{max}$  و کرنش نهایی،  $\epsilon_u$ ، است. تنش‌ها بر اساس تقسیم بار بر سطح مقطع نمونه‌ها به دست آمده‌اند. سطح مقطع برای حالت ۰ درجه، ۹۵ و برای حالت ۳۰ درجه، ۶۰ و برای حالت ۶۰ درجه، ۱۴۵ و برای حالت ۹۰ درجه، ۱۶۰ میلی‌متر مربع می‌باشد. همچنین کرنش‌ها بر اساس تقسیم جابجایی بر طول آزاد نمونه‌ها (۳۰۰ میلی‌متر) محاسبه شده‌اند.

جدول ۱: تنش و کرنش برای ورق گسترده‌ی فولادی با زوایای کششی مختلف

کرنش نهایی $\epsilon_u$ (%)	کرنش در تنش ماکزیمم $\epsilon_{max}$ (%)	تنش ماکزیمم $\sigma_{max}$ (MPa)	کرنش الاستیک $\epsilon_L$ (%)	تنش الاستیک $\sigma_L$ (MPa)	نمونه
۱۵,۵	۱۲	۱۳۲,۷۷	۲,۲	۴۱,۹۳	درجه ۰
۵,۶	۵,۴	۲۰۴,۳۵	۱,۰۵	۶۷,۳۹	درجه ۳۰
۳۳,۷۳	۱۱,۸	۲۶,۱۶	۲	۱۶,۸۲	درجه ۶۰
۴۶,۸	۳۷,۳	۲۴,۸۹	۲,۷	۱۲,۴۱	درجه ۹۰

تحلیل داده‌های جدول فوق نشان می‌دهد که برای نمونه‌ی ۰ درجه، کرنش‌ها به نسبت بزرگ هستند چون جابجایی‌هایی که از آن برای محاسبه‌ی کرنش استفاده نموده‌ایم شامل ابعاد خود نمونه‌ها هم هست؛ بنابراین این کرنش محاسبه شده واقعی نبوده و کرنش نمونه‌ها در حین انجام تست نیستند. همچنین کرنش الاستیک اندازه‌گیری شده بسیار بزرگ‌تر از کرنش میلگردهای فولادی است. همچنین تنش در حد الاستیک تقریباً ۳۰٪ تنش ماکزیمم است. برای نمونه‌ی ۳۰ درجه، همچنان تنش در حد الاستیک تقریباً ۳۰٪ تنش ماکزیمم است.

برای نمونه‌ی ۶۰ درجه، تنش الاستیک و تنش ماکزیمم بسیار کوچک هستند و تنش در حد الاستیک تقریباً ۶۰٪ تنش ماکزیمم است. همچنین مانند تست مربوط به زاویه‌ی ۶۰ درجه، تنش الاستیک و تنش ماکزیمم بسیار کوچک هستند و تنش در حد الاستیک تقریباً ۵۰٪ تنش ماکزیمم است و تغییر شکل بسیار بزرگ است.

## ۶- مقایسه با سایر مواد مسلح سازی بتن

با مقایسه‌ی نیروهای حد الاستیک،  $F_L$  و نیروهای ماکزیمم،  $F_{max}$  در سطح مقطع یکسان،  $A_{s,eq}$ ، بین ورق گسترده و میلگرد S400 به نتایج خوبی می‌رسیم. در جدول ۳ این مقایسه صورت گرفته است. شایان ذکر است که میلگرد S400 یکی از میلگردهای پرمصرف در مسلح سازی بتن در ایران است. در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ویژگی‌های مکانیکی میلگرد S400 این‌گونه تشریح شده است [۴]:

جدول ۲: خواص مکانیکی میلگرد S400 [۴]

نوع میلگرد	علامت در استاندارد ملی ایران	حداقل تنش تسلیم	حداقل مقدار مجاز مقاومت کششی حداکثر فولاد	مقاومت مشخصه میلگرد - مبنای طراحی -	طبقه‌بندی	رده از نظر سختی
S400	آج ۴۰۰	۴۰۰MPa	۶۰۰MPa	۴۰۰MPa	آجدار جناقی	سخت

جدول ۳: مقایسه‌ی نیروهای حد الاستیک،  $F_L$  و نیروهای ماکزیمم،  $F_{max}$  در سطح مقطع یکسان،  $A_{s,eq}$

بین ورق گسترده در جهات مختلف و میلگرد S400

جهت	$F_L$ (KN)	$A_{s,eq,0.2\%}$ (cm <sup>2</sup> /m)	$F_{max}$ (KN)	$A_{s,eq,p}$ (cm <sup>2</sup> /m)
۰ درجه	۳,۷۷	2φ6/m [0.6]	۱۱,۹۵	6φ6/m [1.68]
۳۰ درجه	۴,۰۴	2φ6/m [0.6]	۱۲,۲۶	6φ6/m [1.68]
۶۰ درجه	۰,۷۱	0.4φ6/m [0.11]	۱,۰۵	0.5φ6/m [0.14]
۹۰ درجه	۰,۵۲	0.3φ6/m [0.08]	۱,۱	0.5φ6/m [0.14]

از جدول فوق نتیجه می‌گیریم در صورتی که بار الاستیک یکسانی اعمال گردد، ورق‌های گسترده تحت زاویه‌ی ۰ و ۳۰ درجه، با دو میلگرد به شعاع ۶ میلی‌متر، مقاومت یکسانی دارند اما در زوایای ۶۰ و ۹۰، ورق گسترده از مقاومت کمتری برخوردار است.

## تقدیر و تشکر

در انتها بایستی از سرکار خانم هانیه رحیمی، مدیرعامل شرکت تولیدی و صنعتی ورق مشبک آراین مبین و مرحوم سیاوش مبین بابت تمامی کمک‌ها و مساعدت‌هایشان در حین انجام این پروژه، تشکر نمایم.

## مراجع

[۱] راهنمای تعمیر و نگهداری سازه‌های فنی راه‌آهن، شرکت مهندسين مشاور توسعه‌ی راه و مطالعات سازه، وزارت راه و شهرسازی- پژوهشکده ی حمل‌ونقل، ۱۳۹۰.

[2] ASTM A36: Standard Specification for Carbon Structural Steel. American Society for Testing and Materials.

[3] Juliana T. Oliveira et al. Uniaxial testing of expanded metal sheet: Report 02-DEC/E-11. Departamento de Engenharia Civil; 2002.



**2nd International Congress on Structure , Architecture  
and Urban Development  
16-18 December 2014, Tabriz , Iran**

[۴] مبحث نهم مقررات ملی ساختمان؛ ساختمان‌های بتن‌آرمه، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، وزارت مسکن و شهرسازی-  
معاونت امور مسکن و ساختمان، ۱۳۹۲.