



ارائه شده توسط :

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معابر

رفتار ساختاری پوسته بافت سبک وزن، بتن تقویت شده نساجی

واژه‌های کلیدی: بتن مسلح نساجی، بتن کربن، دیواره نازک، کامپوزیت های سیمانی، سازه های کامپوزیت، تجزیه و تحلیل عناصر محدود، مدل آسیب میکروپلان



شکل 1: (الف) پوسته های طاق TRC به عنوان اجزای سقف. (ب) پایه دوچرخه شامل پنج پوسته منحنی است.

• رفتار کمانش و ثبات در پاسخ به تنش های فشاری در یک ساختار پوسته ای با دیواره نازک.

به منظور قرار گرفتن کار فعلی در زمینه گستردگی رویکردهای مدل سازی موجود، به بررسی مختصر پیشرفت های اخیر در زمینه مدل سازی عددی و مشاهدات تجربی مرتبط با سه پدیده فوق الذکر در بخش های بعدی خواهیم پرداخت.

(1) رفتار کششی تک محوری. بر اساس نیاز به درک و تعیین رفتار کششی ترکیب های شبه هادی، در سال های اخیر چند رویکرد مدل سازی با هدف انعکاس مکانیسم های آسیب ابتدایی ترک خوردن ماتریس و گسستگی نوع منسوج ماتریس توسعه یافته اند. مدل های میان مقیاس (مقیاس متوسط) با نمایش واضح طرح تقویت در مقطع عرضی، مطالعه و درک فرآیند تکامل آسیب در ترکیب را امکان پذیر می سازند و می توانند برای شناسایی ترکیب های مناسب مواد، هندسه منسوجات، حجم فیبر کم منسوجات و طول مورد استفاده قرار گیرند. مدل سازی فرآیند تجزیه محلی در ساختار پیوند غیر یکنواخت ذاتی در ترکیب های سیمانی تقویت شده با نخ های چند رشته ای در

ترک و مجاور آن به طور خاص مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات تجربی مربوط به ترکیب های سیمانی تقویت شده با منسوجات یا الیاف کوتاه نیز گزارش شده اند (به عنوان مثال، در [12، 13]). تحقیق تجربی در مورد رفتار کششی بتن تقویت شده با منسوجات نیز در چند مطالعه ارائه شده است. اخیرا نیز یک آزمایش کششی استاندارد برای بتن تقویت شده با منسوجات نیز در یک نظریه RILEM منتشر شده است.

(2) گسترش آسیب دو بعدی در جهات مختلف. رویکرد های مدل سازی که نشان دهنده تعامل بین ماتریس و تقویت در یک مدل عنصر محدود هستند، توسط چند محقق مطرح شده اند. در این مدل ها پیوند بین منسوجات و ماتریس به عنوان یک رابطه دو بعدی با ضخامت صفر توصیف می شود که در آن ها جایه جایی بر اساس یک قانون پیوند از پیش تعریف شده کنترل می شود. این رویکرد ها برای مقطع های عرضی تقویت شده پراکنده با یک یا دو لایه تقویت مناسب هستند. یک نمونه دیگر از این رویکرد مدل سازی در [20] ارائه شده است، که در آن دو رابطه پیوند مورد استفاده قرار گرفتند: یکی بین ماتریس بتن و رشته روکش، و دیگری بین رشته های روکش و هسته. در این مدل یک مدل ماده غیر خطی الاستیک-پلاستیکی برای ماتریس بتن و یک رفتار الاستیک خطی ایده آل با تشدید تنش برای تقویت منسوجات در نظر گرفته شده است.

در رویکرد مدل سازی بررسی شده در این مطالعه از نمایش مبهم ساختار ماده در یک مقطع عرضی استفاده می شود، و ترک خوردن و گسترش از نظر یک تانسور آسیب متغیر توصیف می شوند. در چنین ایده آل سازی، یک طرح تقویت یکنواخت در ارتفاع مقطع عرضی در نظر گرفته می شود. نمایش عددی اعمال شده یک مقطع عرضی در شکل 2 طراحی شده است و نشان دهنده انواع مقاطع عرضی است که می توانند با مدل سازی مبهم به تصویر کشیده شوند؛ به عنوان مثال، ترکیب های سیمانی با الیاف کوتاه توزیع شده به صورت تصادفی، (1) منسوجات پیوسته و توزیع شده به طور منظم (2)، یا ترکیبی از هر دو (3). نشان دادن ترکیب های نرم شوندگی با کرنش و تشدید فشار با استفاده از تقویت های توزیع شده دقیق و پراکنده امکان پذیر است.

ایده آل سازی عددی توضیح داده شده در این جا با رویکرد های مدل سازی پوسته های بتنی تقویت شده با فولاد که در دهه های اخیر توسعه یافته اند، امکان پذیر است. رویکرد های مدل سازی برای شبیه سازی ساختار های

پوسته بزرگ مقیاس توسعه یافته اند، مانند برج های خنک کننده یا نیروگاه ها. در این ساختار ها، توسعه الگوی ترک با فواصل بسیار کم ترک در مقایسه با اندازه ساختار، یک رویکرد مبهم برای مدل سازی رفتار ماده در سطح مقطع عرضی پوسته را توجیه می کند. نمونه هایی از فرمول های پوسته عنصر محدود همراه با یک مدل آسیب الاستیک-پلاستیکی برای شبیه سازی پوسته های بتن تقویت شده تحت بار های یکنواخت و چرخه ای در [23] ارائه شده اند، و در مقایسه از یک مدل آسیب الاستیک-پلاستیکی نوع دراکر-پراگر، و در تنش، از یک مدل آسیب پیوستار با حد تنش رانکین استفاده شده است. با استفاده از همین مدل ماده، ارزیابی آسیب و شکست برج های خنک کننده بزرگ با توجه به یک حالت شکست دو بعدی در اجزای پوسته در [24] مورد بررسی قرار گرفته است. در یک چارچوب عددی دیگر برای تجزیه و تحلیل غیر خطی ارزیابی آسیب در پوسته های بتن تقویت شده با فولاد، سه موضوع اصلی که ممکن است دقت شبیه سازی ها را تحت تاثیر قرار دهند، تحت پوشش قرار گرفتهند: (1) فرمول بندی اجزای محدود کافی برای توصیف هندسه پوسته، و همچنین مرز و شرایط بار؛ (2) توسعه مدل های ماده واقعی؛ و (3) برآوردهای خطاهای گسسته سازی. [25]

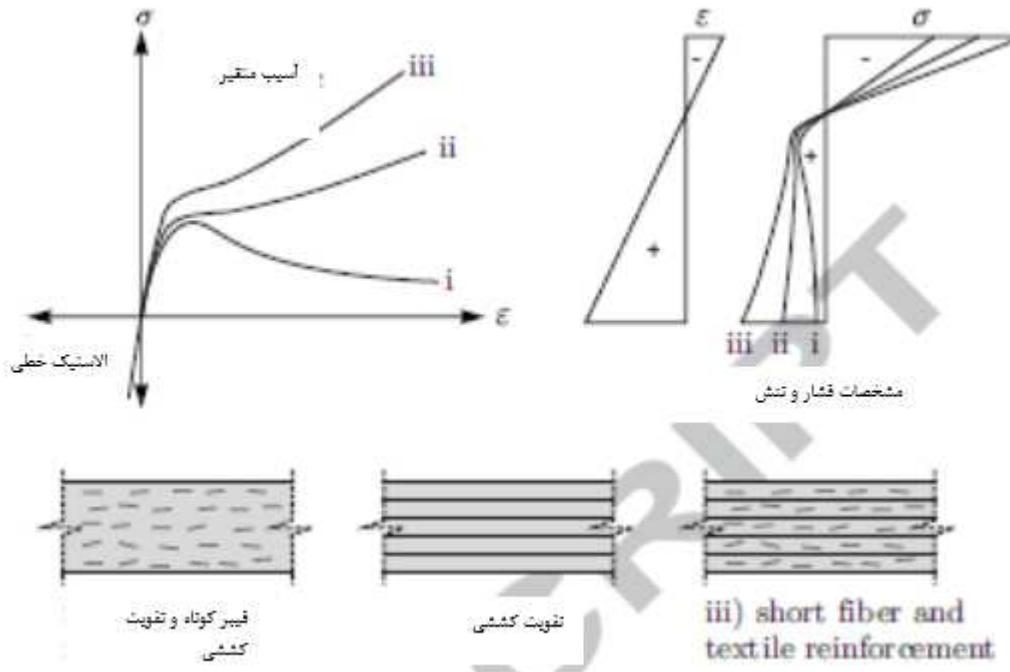
روش های مدل سازی که پیش از این شرح داده شدند، بینش ارزشمندی را برای فرمول بندی مدل های طراحی ارائه می کنند که به طور واقع گرایانه منعکس کننده ارزیابی حد نهایی ساختار های پوسته است. نمونه هایی از ابزار های طراحی توسعه یافته ارائه شدند، به عنوان مثال، در [26]، که چارچوبی را برای طراحی یکپارچه، تجزیه و تحلیل و ارزیابی ظرفیت تحمل بار ساختار های پوسته بتنی تقسیم بندی شده شرح می دهد. توسعه تکنیک های عددی در تجزیه و تحلیل ترکیبی فرآیند تولید و رفتار ماده متغیر پوسته های پلیمر تقویت شده با فیبر با دیواره نازک در [27] مطرح شده است. در عین حال، تجزیه و تحلیل ایمنی و قابلیت اطمینان پوسته های بتن تقویت شده با استفاده از روش های سطح پاسخ و تجزیه و تحلیل عنصر نهایی غیر خطی متقاض موری در [28] مطرح شده است. مثالی از یک مدل طراحی برای پیش بینی ارتباط لحظه-منحنی یک مقطع عرضی TRC در [29] ارائه شده است، که معادلات طراحی و نمودار های اعضای ترکیب خمی را نتیجه می دهد. چارچوب کلی اندازه گذاری و ارزیابی پوسته های TRC تقویت شده منظم با دیواره نازک نشان دهنده تعامل دو بعدی بین نیرو های نرمال و دوره

های خمی است که توسط محققان [4] مطرح شده اند. استفاده از این مدل طراحی در یک پاویلیون بزرگ مقیاس با یک سقف TRC در [2] شرح داده شده است.

(3) تنش های فشاری و ثبات. تجزیه و تحلیل عددی کمانش و ثبات پوسته های فولاد-RC، که در آن رفتار ماده غیر خطی آن ها از طریق مدل انعطاف پذیری کارسختی با معیار دراکر-پراگر در [30] ارائه شده است. مدل عددی برای مطالعه پاسخ ساختاری پوسته های برج خنک کننده ب رفتار دو محوری فشاری بتن مورد استفاده قرار گرفت. سایر جنبه های مدل سازی، مانند تاثیر خزش روی رفتار کمانش پوسته های بتن تقویت شده در [31] مطرح شده اند.

قابلیت کاربرد بتن تقویت شده با منسوجات در ساخت ساختار های پوسته با تمرکز بر رفتار کمانش و ثبات آن ها در [32] مورد بررسی قرار گرفته است. تاثیر نقص های هندسی بر ظرفیت کمانش پوسته های بندی و طاق در [33، 34، 35، 36] مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعات با استفاده از یک مدل ماده الاستیک خطی انجام شدند. در مطالعه اخیر، تاثیر نقص های هندسی بر رفتار ساختاری پوسته طاق TRC موجود با توجه به غیر خطی بودن هندسی تقویت شده در [37] مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه حساسیت رفتار ساختاری تحت فشار با توجه به تعامل رفتار سخت کرنشی متغیر و نقص های هندسی ارزیابی شده است.

در مطالعه حاضر، ما در درجه اول بر دو جنبه اول رفتار ساختاری متمرکز هستیم که پیش از این شرح داده شد و هدف ما مستند سازی اعتبار مدل و ارائه تفسیر دقیقی از آزمایش کامل مقیاسی است که انجام شده است. تاثیر نقص های هندسی در اینجا مورد مطالعه قرار نگرفته است، زیرا در مورد پوسته آزمایش شده، ثابت شده که معنی دار نیست. این مطالعه به شرح زیر سازماندهی شده است: در بخش 2 و 3 مدل ماده و کالیبراسیون آن برای مقطع عرضی پوسته طاق به طور خلاصه توضیح داده شده است. در بخش 4 اندازه گذاری و ساخت ساختار پوسته شرح داده شده و آزمایش کامل مقیاس انجام شده است. سپس، در بخش 5، روش شبیه سازی و نتایج عددی ارائه شده اند و اعتبار مدل با مقایسه پیش بینی و نتایج آزمایش ارزیابی شده است. در نهایت، در بخش 6 ارزیابی حد هایی پوسته طاق بر اساس تجزیه تحلیل الاستیک خطی ارائه شده است.

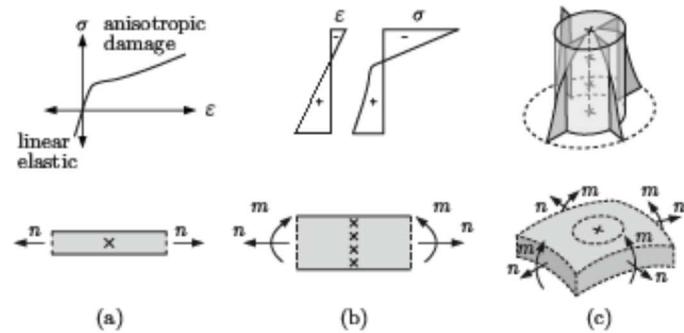


شکل 2. رفتار کششی و فشاری مقطع های عرضی ایده آل برای کاربرد در مدل سازی مبهم ترکیب های سیمانی نرم شونده با کرنش و سخت کرنشی.

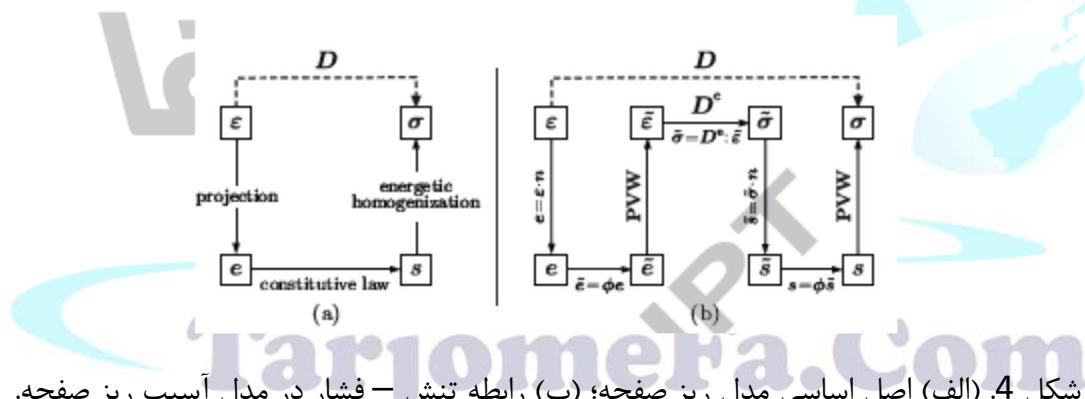
رویکرد مدل سازی

در مطالعه اخیر [38]، محققان یک رویکرد مدل سازی مبهم برای شبیه سازی پوسته های TRC بر اساس مدل آسیب ریز صفحه ارائه کرده اند، که در اصل توسط جیراسک [39] برای مواد نرم کننده کرنش معروفی شده است. مدل ماده متغیر مبتنی بر آسیب برای مطابقت با حرکات پوسته های نازک و رفتار سختی کرنش متغیر مورد استفاده قرار گرفت و گسترش یافت. علاوه بر این، غیر خطی بودن هندسی برای نشان دادن تاثیر انحراف های خارج از صفحه بزرگ روی نیرو های غشاء در نظر گرفته شده است. در عین حال، یک روش کالیبراسیون سیستماتیک با استفاده از آزمایش های کشنش تک محوری برای تعیین پارامتر های ماده مقطع عرضی TRC خاص پیشنهاد شده است. قابلیت مدل برای ثبت رفتار ماده غیر خطی از طریق شبیه سازی یک آزمایش اسلب تائید شده است. رویکرد

مدل سازی پیشنهادی، برای مطالعه جنبه های انتخاب شده رفتار ساختاری پوسته های TRC در [40] مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل 3. رویکرد متغیر در مدل سازی پوسته های سخت کرنشی (الف) رفتار تک محوری؛ (ب) وضعیت تنش/ فشار در امتداد ضخامت برای اثر متقابل خمش و تنش؛ (ج) وضعیت تنش در صفحه برای یک بخش از پوسته.



شکل 4. (الف) اصل اساسی مدل ریز صفحه؛ (ب) رابطه تنش - فشار در مدل آسیب ریز صفحه.

ایده آل سازی رفتار ماده به کار رفته در فرمول بندی فعلی در شکل 2 به طور خلاصه نشان داده شده است. پاسخ کششی سخت کرنشی در سطح یک نقطه ادغام نشان داده شده است (شکل 3.الف). رفتار یک مقطع عرضی که در معرض تنش و خمش قرار دارد، با استفاده از فرض فشار های خطی در ارتفاع مقطع عرضی و ادغام تنش در چند نقطه ادغام منعکس شده است (شکل 3ب). پاسخ تنش- فشار دو بعدی و متغیر درون صفحه ای در اثر شکل گیری ترک ها [41] (شکل 3ج) با استفاده از نمایش قطبی وضعیت های فشار و تنش درون صفحه ای یک مقطع عرضی پوسته ای در نظر گرفته شده است. این نوع ایده آل سازی برای مقطع های عضری با الگوی ترک ریز مناسب است

که تحت بار کششی ایجاد می شوند و می توانند به صورت آسیب متغیر مبهم نشان داده شوند. این در مورد پوسته طاق موجود مشاهده شد.

شرح مدل ماده

مدل های ماده که با استفاده از رویکرد ریزصفحه فرمومبندی می شوند، روابط بین فشار و تنش در سطح یک صفحه جهت دار به نام ریزصفحه را تعریف می کنند. ارزیابی آسیب یک ریزصفحه توسط یکتابع آسیب کنترل می شود. شکل تابع آسیب می تواند برای هر ماده شبه شکننده با رفتار نرم شونده با کرنش متناسب باشد، به عنوان مثال، بتن ساده [39]، یا می تواند باعث بازتولید رفتار سخت کرنشی مواد شبه هادی مانند TRC [38] شود.

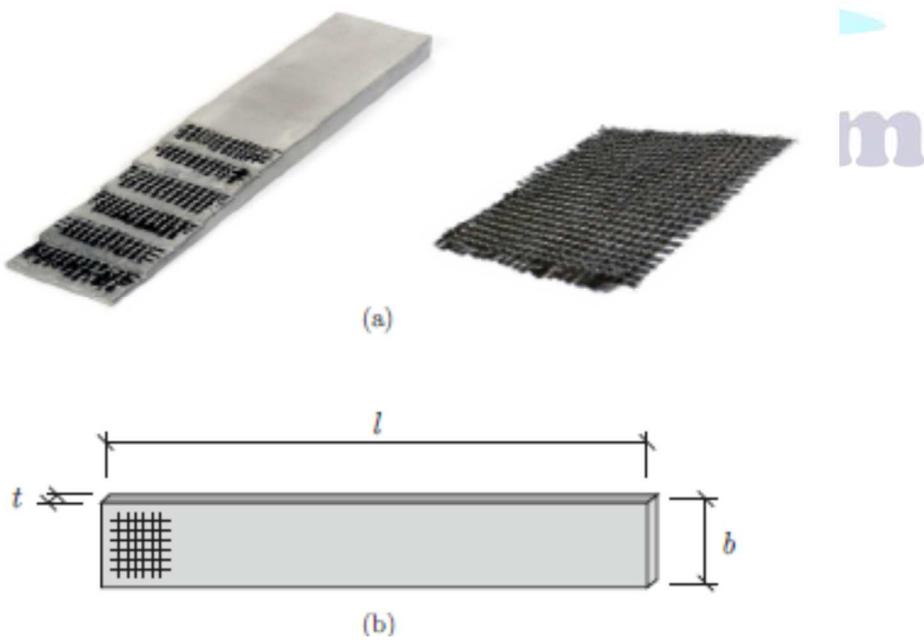
ساختمان اساسی یک مدل ریزصفحه در شکل 4. الف نشان داده شده است. همان طور که در شکل 4 ب نشان داده شده است، ترسیم فشار- تنش متغیر به طور مستقیم بین تانسور های تنش و فشار تنظیم نشده است، بلکه به طور غیر مستقیم در سه مرحله تنظیم شده است: (1) طرح ریزی هندسی تانسور فشار ماکروسکوپی ε روی جهت های ریزصفحه، که بردار های فشار e را ارائه می دهد؛ (2) اعمال قانون آسیب بین بردار فشار e و بردار تنش s و (3) یکنواخت سازی فعال بردار های تنش ریزصفحه بر اساس اصل کار مجازی (PVW) برای دستیابی به تانسور تنش σ در این فرمول، ترسیم بردار های فشار/ تنش (e/s) آشکار در بردار های فشار/ تنش موثر (\tilde{e} و \tilde{s}) در سطح ریزصفحه و با استفاده از یکتابع آسیب (e_{\max}) انجام می شود. اصل کار مجازی، کیفیت کار مجازی در سطوح میکروسکوپی و ماکروسکوپی را اعمال می کند. یکی از ویژگی های برجسته این فرمول ریزصفحه، نمایش واضح تانسور سختی الاستیک D^e است که فشار ها \tilde{e} و تنش های موثر \tilde{s} یک اسکلت ماده بدون آسیب را مرتبط می سازد. برای شرح کامل فرمول ماده و روش کالیبراسیون، به مطالعه مربوطه [38] مراجعه می کنیم.

مدل ماده ارائه شده در اینجا در یک کد عنصر نهایی برای عناصر پوسته پنج پارامتری پیاده سازی شده است. در این فرمول پوسته، یک فرمول دو بعدی از مدل آسیب ریزصفحه با ساخت کرنشی برای TRC در جهت درون صفحه مورد استفاده قرار گرفت. رفتار الاستیک خطی در جهت خارج از صفحه مفروض بود.

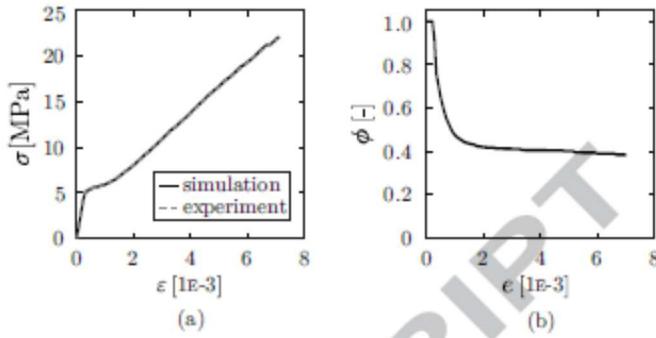
روش کالیبراسیون

تابع آسیب $\phi(e_{\max})$ ، اتلاف یکپارچگی در سطح یک نقطه ماده را تعیین می کند. این به عنوان تابعی از فشار ریزصفحه حداکثر تعیین شده است که در سابقه بار e_{\max} به دست می آید. همان طور که در [38] شرح داده شده است، تابع آسیب یک مقطع عرضی TRC خاص می تواند با استفاده از پاسخ تنش - فشار کششی نمونه TRC مربوطه که به صورت تجربی اندازه گیری شده، از طریق اعمال یک تحلیل معکوس افزایشی به دست آید.

مقطع عرضی TRC در نظر گرفته شده برای تولید محافظ دوچه شامل شش لایه پارچه کربنی غیر مشبع است (شکل 5. الف). پارچه منسوج کربنی به صورت شبکه های متعامد با فضاهای مساوی بین نیم تاب ها در هر دو جهت تولید شد. پوسته ها از طریق استفاده متوالی از تقویت و شاتکریت در چارچوب تولید شدند [5]. مجموعه ای از آزمایش های کششی در مورد نمونه های TRC (شکل 5ب) با مقطع عرضی معین برای ارائه منحنی های تنش - فشار به عنوان اهداف روش کالیبراسیون انجام شدند. ویژگی های مقطعي نمونه های TRC به کار رفته و ابعاد آن ها در جدول 1 به طور خلاصه نشان داده شده اند. منحنی تنش - فشار اندازه گیری شده در آزمایش کششی با یک خط تیره خاکستری در شکل 6 . الف نشان داده شده است.



شکل 5.الف. طرح مقطعي پوسته طاق TRC شامل 6 لایه پارچه کربنی غیر مشبع است؛ (ب) نمونه آزمایش کششی.



شکل 6: (الف) منحنی تنش - فشار آزمایش کششی؛ (ب) تابع آسیب کالیبره شده.

جدول 1. ویژگی های مقطع عرضی TRC

واحد	مقدار	نماد	شرح
Mm	100	b	عرض
Mm	20	t	ضخامت
Mm	1000	l	طول
mm ²	2000	A	کل مقطع عرضی
--	6	n_{tex}	تعداد لایه های پارچه
mm	2.9	s_{tex}	فاصله لایه
mm	2.9	c	پوشش بتن
mm	8.3	s_{yarn}	فاصله بین نخ ها
mm ²	0.446	A_{yarn}	مقطع عرضی نخ
mm ²	32.1	A_{tex}	مقطع عرضی پارچه
% با حجم	1.61	ρ_{tex}	نسبت تقویت

با در نظر گرفتن این منحنی در الگوریتم کالیبراسیون، تابع آسیب موجود در شکل 6.ب با استفاده از روش شرح داده شده در [38] با ضریب الاستیسیته ماتریس بتن $E_c = 18.7$ GPa $\nu = 0.2$ و نسبت پواسون کالیبره شد. شبیه سازی آزمایش کششی با استفاده از نقطه ماده واحد نشان دهنده منحنی تنش - فشار آزمایش کششی می باشد، که با یک خط ممتد در شکل 6.الف نشان داده شده است.

آزمایش بزرگ مقیاس روی یک پوسته طاق TRC

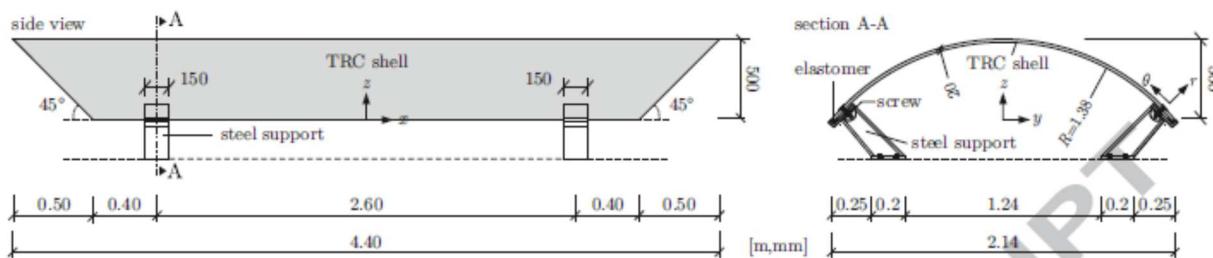
طراحی و ساخت پوسته

مطالعه تجربی در مورد واکنش ساختاری پوسته های TRC که در شکل 1.b نشان داده شده است، در یک پژوهش تحقیق کاپردی متصرکز بر بررسی و تأیید روش های طراحی، تولید و ساخت توسعه یافته برای TRC روی یک ساختار دنیای واقعی انجام شد. نمای جانبی پوسته و مقطع عرضی A-A در تکیه گاه ها با ابعاد مربوطه در شکل 7 نشان داده شده اند. پوسته ها دارای طول حداقل 4.40 متر در جهت X و عرض 2.14 متر در جهت Y می باشند و مساحت کل بام 48 متر مربع را ایجاد می کنند. وزن پوسته با ضخامت 20 میلی متر حدود 420 کیلوگرم است. مقطع عرضی پوسته با قسمتی از یک استوانه با شعاع داخلی 1.38 متر نشان داده شده که زاویه دهانه 100.2 درجه را ایجاد می کند. در جهت X، پوسته توسط دو زاویه فولادی در هر طرف با فاصله 2.6 متر از یکدیگر پشتیبانی می شود. تکیه گاه ها از طریق صفحات پیچ خورده و محدودیت های ثابت در جهت θ ، محدودیت های قابل تنظیمی را در جهت Z ایجاد می کنند (شکل 7، سمت راست). به منظور اجتناب از تماس مستقیم بین پوسته و تکیه گاه های فولادی، لایه های الاستومر (کشپار) در هر دو جهت شعاعی و مماسی مورد استفاده قرار گرفته اند. همان طور که در بخش 3 شرح داده شده است، ضخامت مقطعی و طرح تقویت پوسته با ضخامت مقطعی و طرح تقویت مربوط به آزمایش های کششی به کار رفته برای کالیبره کردن مدل یکسان بود. به دلیل نیاز به انعطاف پذیری بالای پارچه، پارچه های غیر مشبع مورد استفاده قرار گرفتند.

تنظیمات آزمایش، شرایط مرز و سابقه بار

تنظیمات آزمایش با هدف نشان دادن تورق بالای ساختار طراحی شده است که از اثر متقابل بین رفتار سخت کرنشی ماده و توزیع مجدد تنش در نواحی بزرگ پوسته نشات می گیرد. بنابراین، پیشگیری از شکست محلی حائز اهمیت است. به طور خاص، خمش های محلی بالا یا شکست برش محلی در نزدیکی تکیه گاه ها نامطلوب بودند، همان طور که بدون اطلاعات کافی در مورد رفتار ساختاری گلی باعث ایجاد شکست اولیه می شوند.

با در نظر گرفتن این موارد، تنظیمات آزمایش به شرح زیر طراحی شده است: پوسته در دو نقطه واقع شده در نزدیکی گوشه ها پشتیبانی می شد، که با طرح ساختاری نشان داده شده در شکل 1 مطابقت دارد. همان طور که در شکل 8.b نشان داده شده است، به منظور اجتناب از تراکم تنش محلی، یک نوار فلزی نازک با ابعاد مقطعی $w/h = 6/80$ در امتداد جهت ۷ در بخش میانی پوسته قرار گرفت و همان طور که در شکل 8.J نشان داده شده است، به سیلندرهای هیدرولیکی ثابت در زمین با زاویه ۳۸ درجه اضافه شد.



شکل 7. ابعاد عنصر بام TRC در نمای جانبی و مقطع.

نوع دستگاه بارگذاری باعث ایجاد شیب های تنش صاف در پوسته بدون اوج های تنش محلی می شود. برای به حداقل رساندن اصطکاک، دو ورق فولاد روغنی اضافه بین ورق فلزی و سطح پوسته قرار گرفتند. همان طور که در بالای شکل 9 پس از فرمول تحلیلی $R = 1.38$ با $q = S/R$ از این دستگاه بارگذاری، بار تنش S تعریف شده توسط سیلندر های هیدرولیک به یک بار خطی ثابت و شعاعی q در بخش میانی پوسته تبدیل شد. همان طور که در شکل 9 نشان داده شده است، بار S در دو مرحله با تغییر تنظیمات تکیه گاه اعمال شد. همان طور که در شکل 9.الف نشان داده شده است، به منظور توزیع پراکنده ترک های ریز در یک ناحیه بزرگ از پوسته، در مرحله بارگذاری ۱، جابه جایی های شعاعی در جهت ۲ در تکیه گاه ها آزادانه تنظیم شدند. بار S به ۶۰ کیلونیوتون افزایش یافت (t_1). پس از آن، سیستم تخلیه شد. سپس، همان طور که در شکل 9.ب نشان داده شده است، جابه جایی های شعاعی در تکیه گاه ها ثابت شدند و پوسته مجدداً تا بار شکست ۹۸.۴ کیلونیوتون افزایش یافت (t_2) بارگذاری شد.

در طول آزمایش، تغییر شکل های پوسته با اندازه گیری فشار های کشش ε_{xx} در نواحی شکست مورد انتظار، در مرکز لبه ها در جهت X ثبت شدند. همان طور که در شکل 8.الف نشان داده شده است، جابه جایی سنج های 300 میلی متری در امتداد لبه های پوسته در این موقعیت ها قرار گرفتند. برای داشتن اندازه قابل قیاسی از فشار در طول آزمایش، طول سنج با آزمایش کشش نشان داده شده در شکل 6 یکسان بود. به این ترتیب، حداقل فشار اندازه گیری شده در طول آزمایش به عنوان شاخصی از شکست نهایی پوسته در نظر گرفته می شد. علاوه بر این، همان طور که در شکل 8.الف نشان داده است، انحراف های عمودی P_1 و P_7 در نقاط w_z که بالای پوسته در امتداد جهت X قرار داشتند، با استفاده از جابه جایی سنج های عمودی اندازه گیری شدند.

شبیه سازی عنصر محدود پوسته طاق TRC

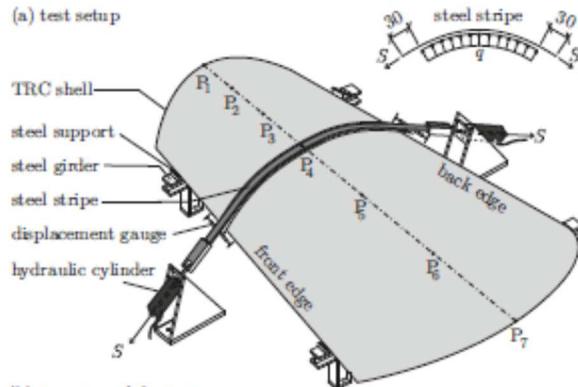
گسسته سازی عنصر محدود با استفاده از عناصر پوسته پنج پارامتری چهار ضلعی دو خطی با سه درجه آزادی گردشی و دو درجه آزادی چرخشی در هر گره انجام شد. در کد آباکوس اعمال شده، این عنصر به عنوان یک عنصر پوسته معمول در نظر گرفته می شود [43]. شبکه عنصر محدود با ترسیم یک شبکه منظم 30×40 روی سطح پوسته ایجاد شد. اندازه شبکه در محدوده $110 \sim 85$ میلی متر در جهت X و $105 \sim 70$ میلی متر در جهت Y متفاوت می باشد.

نوار فولادی به کار رفته برای اعمال بار S با استفاده از عنصر یکسان با عنصر به کار رفته برای پوسته TRC مدل سازی شد. یک مدل ماده الاستیک خطی با ضریب الاستیسیته $E_s = 210 \text{ GPa}$ و نسبت پواسون $\nu = 0.3$ برای فولاد مورد استفاده قرار گرفت. تعامل بین نوار فولاد و پوسته TRC بر اساس تماس بدون اصطکاک تعریف شد. شرایط مرزی پوسته با توجه به سابقه بارگذاری دو مرحله ای شرح داده شده در بخش 4.2 تعریف شدند. با تعریف سیستم های مختصات محلی در موقعیت های پشتیبان، درجات آزادی جهت های ۲ و ۳ بسته به مرحله بارگذاری محدود شدند. همان طور که در شکل 9 نشان داده شده است، در طول مرحله بارگذاری ۱،

فقط محدودیت های R_θ در جهت -θ فعال بودند، و درجات آزادی مربوط به جهت ۲ را ارائه کردند. پس از تخلیه سیستم، محدودیت های شعاعی R_r در پشتیبان ها اضافه شدند (در اثر پیچش های موجود در جهت ۲) و سیستم

در مرحله بار II بارگذاري شد. تغيير شكل فشار الاستومترها R_θ و نيروى واكتش در پشتيبان ها δ در طول آزمایش اندازه گيري شدند. منحنی های تغيير شكل بار مربوطه با خطوط تيره خاکستری در شکل 9. د نشان داده شده اند. به منظور نشان دادن مطابقت الاستومتر با مدل عددی، فنر های خطی متصل به پشتيبان های فولادی با سختی $k = R_\theta/\delta_{\max} \approx 14000 \text{ kN/m}$ مورد استفاده قرار گرفتند که در شکل 9.د با يك خط ممتد نشان داده شده است.

تغيير شكل پوسته طاق TRC و انتشار آسيب در انتهای مرحله بار II در شکل 10.الف نشان داده شده اند. در اين شکل، پارامتر $\omega = 1 - \max(\phi)$ ، سطح بيшиنه آسيب ريزصفحه را در هر نقطه از پوسته شرح می دهد. در صورت نيار، تنظيمات آزمایش باعث توزيع پراكنده آسيب می شود که به صورت ترک های ريز توزيع شده در آزمایش مشاهده می شود (شکل 10.ج). ترک و شکست در قسمت ميانی لبه پوسته مشاهده شد (شکل 10.ب). توزيع آسيب با الگوي ترک مشاهده شده مطابقت داشت، و فواصل بين ترک ها، 5 تا 10 ميلي متر بودند (شکل 10.الف). همان طور که در شکل 11 نشان داده شده است، رفتار ساختاري پوسته از طريق مرتبط ساختن بار 5 و تکامل فشار در ناحيه شکست مورد بررسی قرار گرفته است. فشار كششی متوسط ε_{xx} در طول 300 ميلي متر، با استفاده از حابه جايی سنج های افقی در لبه های جلو و پشت پوسته اندازه گيري شد. به اين ترتيب، ε_{xx} به طور مشابه در مدل عددی ارزیابی شد. منحنی های اندازه گيري شده با خطوط تيره خاکستری نشان داده شده اند، در حالی که نتایج شبیه سازی با خطوط ممتد نشان داده شده اند.



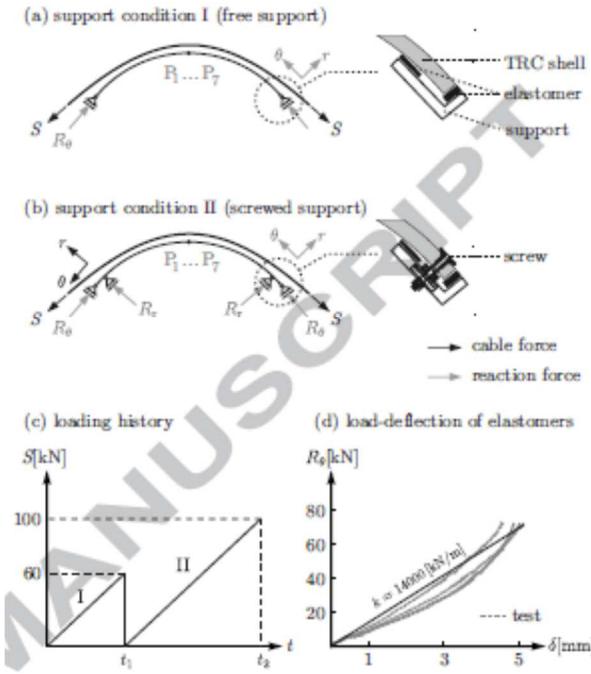
(b) top view of the test



(c) hydraulic cylinder

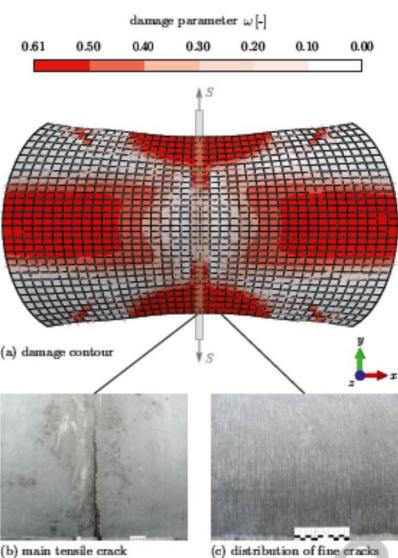


شکل 8 (الف): تنظیمات آزمایش پوسته طاق TRC با شرایط تکیه گاه، بار ها و نقاط اندازه گیری مربوطه؛ (ب) نمونه آزمایش در آزمایشگاه و (ج) جزئیات سیلندر هیدرولیک بری استفاده از بار S (پایین).

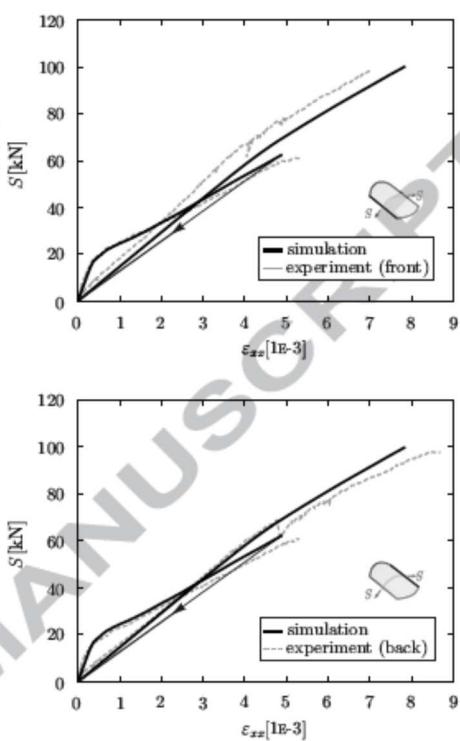


شکل 9. شرایط تکیه گاه آزاد در مرحله بارگذاری I؛ (ب) شرایط تکیه گاه پیچ خورده در مرحله بارگذاری II؛ (ج) سابقه زمانی بار S ؛ (د) برآورد سختی الاستومترها k با استفاده از منحنی های بار- انحراف در تکیه گاه ها. تاثیر شرایط مرزی تعییر یافته در اثر مولفه شعاعی ثبت تکیه گاه ها می تواند از طریق مدل عددی بازتولید شود. به طور کلی، پیش بینی های شبیه سازی شده با پاسخ آزمایش مطابقت دارند. با توجه به این واقعیت که پوسته به طور کامل متقاضان نیست، فشارهای اندازه گیری شده در امتداد لبه جلو، کمی کوچک تر می شوند (شکل 11، بالا). در اینجا باید تاکید کنیم که در حال حاضر مدل، مدل رفتار غیر خطی را به عنوان آسیب توصیف می کند. شرایط پراکنده مرتبط با تعییر شکل پلاستیک به طور واضح تشخیص داده نشده اند. در نتیجه، شبیه سازی می تواند فقط نشان دهنده توزیع مجدد متغیر تنش ها در اثر انتشار آسیب برای افزایش بارگذاری باشد. بنابراین، مقایسه بین آزمایش و شبیه سازی محدود به شاخه های بارگذاری صعودی است و شاخه تخلیه نمی تواند بازتولید شود. در یک مدل مبتنی بر آسیب، تخلیه بار تا بار صفر باعث ایجاد فشارهای صفر می شود، در حالی که وضعیت آسیب را در ساختار به دست آمده در انتهای شاخه بارگذاری اول حفظ می کند. علاوه بر این، برای نشان دادن میزان تعییر شکل

دائمی در ترکیب پس از تخلیه بار، تعیین شاخه تخلیه بار آزمایش حائز اهمیت است. متسفانه این داده ها به دلیل عملکرد نامناسب تجهیزات اندازه گیری که در طول فرآیند تخلیه بار رخ می دهد، در دسترس نیستند.



شکل 10. (الف) نمایش آسیب پوسته طاق TRC در تنظیمات تغییر شکل یافته در انتهای مرحله II؛ (ب) پارگی کششی در مرکز؛ (ج) توزیع ترک های ریز متعدد.

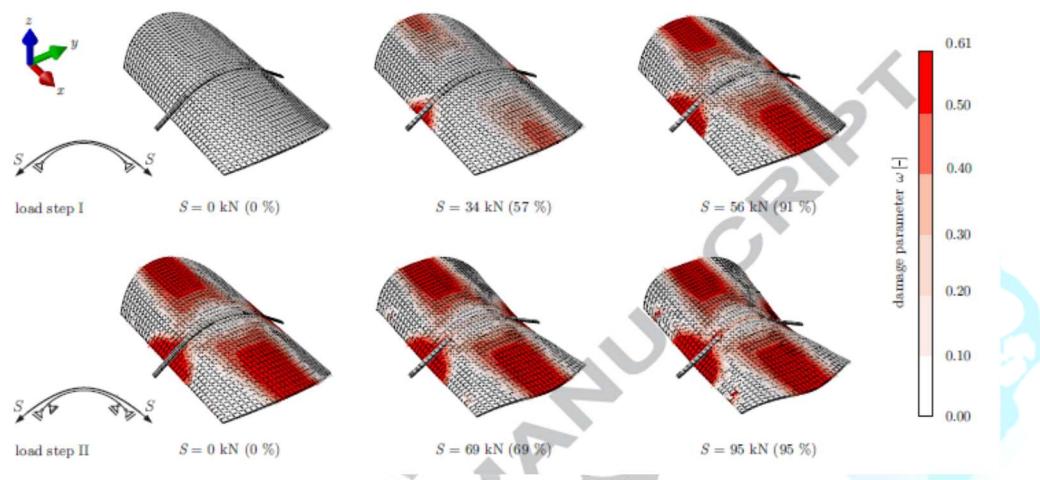


شکل 11. منحنی های بار- فشار آزمایش و شبیه سازی در ناحیه کششی پوسته طاق TRC برای لبه جلو (بالا) و لبه پشت (پایین) در جهت X از تغییر افقی بین شاخه های بارگذاری می توان نتیجه گرفت که تغییر شکل دائمی ایجاد شده در مقطع عرضی در محدوده $\varepsilon_{xx,p} < 2E-3$ است.

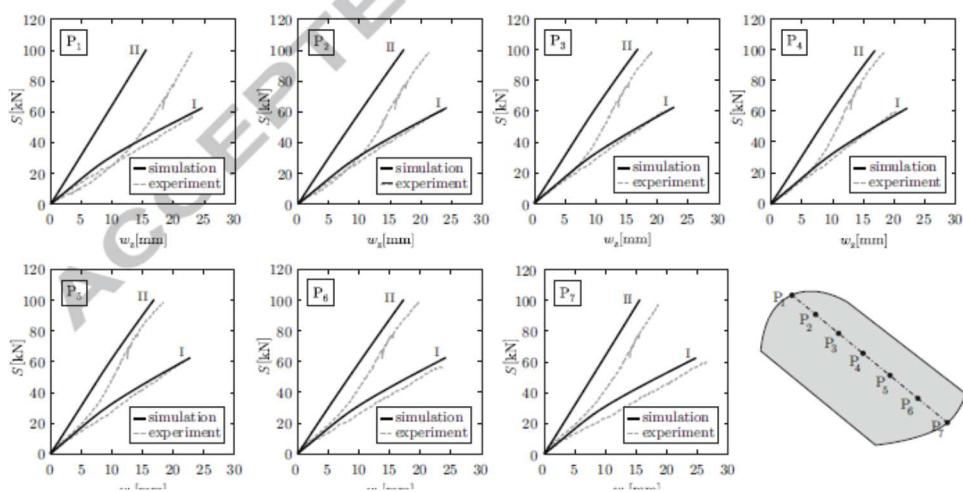
حتی بدون در نظر گرفتن تغییر شکل دائمی پس از شاخه بارگذاری اول، حداکثر فشار کششی $\varepsilon_{xx,u} = 8.6E-3$ در مقطع عرضی بیش تر از مقدار متوسط $\varepsilon_{xx,u} = 7.6E-3$ به دست آمده در آزمایش های کشش بود. این می تواند با یک شبیه میدان تنفس صاف تر در امتداد لبه پوسته، در مقایسه با وضعیت آزمایش کشش با شبیه های تند تنفس در ناحیه بسته نمونه توضیح داده شود [4]. همان طور که توسط محققان [37,44] به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، یک دلیل دیگر برای قدرت کششی موثر و بیش تر در پوسته می تواند اقدام همزمان خمس و تنفس باشد.

تغییر آسیب در طول تاریخچه بارگذاری در شکل 12 برای سه مرحله در طول مراحل I و II بارگذاری نشان داده شده است. در مرحله I، زمانی که عنصر شعاعی تکیه گاه های جایه جایی آزاد می شود، تکامل ترک مشاهده می شود که در مرکز لبه های طولی و در هر دو لبه منحنی آغاز شده و در پوسته منتشر می شود. در $S = 95 \text{ kN}$ آسیب بیش تر به دلیل تغییر شکل برشی و در نزدیکی تکیه گاه ها رخ می دهد. با این حال، با توجه به طرح تکیه گاه هایی که چرخش درون صفحه ای را امکان پذیر می سازند، این ناحیه روند آسیب منجر به شکست نهایی نخواهد شد. لازم به ذکر است که بدون این معیار، آسیب ایجاد شده با برش مرکز در نزدیکی تکیه گاه ها، مهم خواهد شد. منحنی های بار- تغییر شکل که به صورت عددی در نقاط P_1 تا P_7 به دست آمده اند با نتایج آزمایش شکل 13 برای مراحل I و II مقایسه شده اند. با توجه به مرحله Bar I، شبیه شاخه Bar - انحراف در آزمایش و شبیه سازی تقریباً یکسان است. زمانی که شرایط مرزی با ثبت عنصر شعاعی تکیه گاه ها تغییر یافته و مرحله Bar II شروع شد، افزایش سختی ساختار مشاهده شد. تکامل تجربی مشاهده شده سنتی در مرحله Bar II نشان دهنده سختی است که می تواند به پاسخ غیر خطی الاستومتر ها در تکیه گاه ها نسبت داده شود. با توجه به نمایش ساده در مدل عددی با استفاده از فنر های خطی، این اثر می تواند باز تولید شود. این ناسازگاری برای اندازه گیری نقاط P_1 و P_2

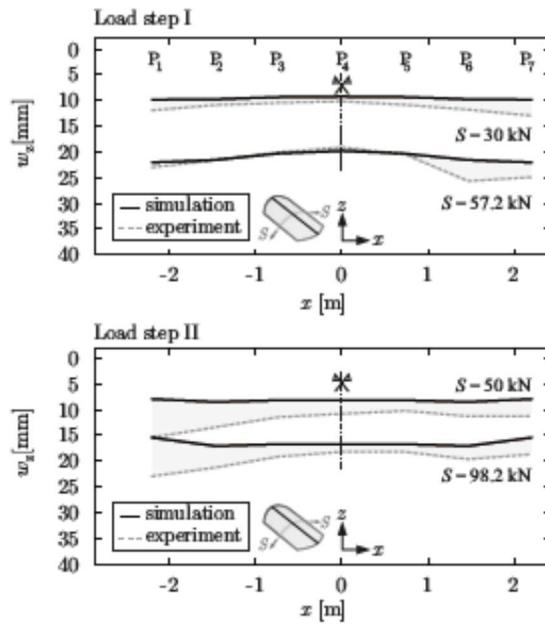
بیش تر معنی دار است و نشان دهنده نقص های خاصی در هندسه پوسته یا طرح تقویت می باشد. در حالی که نتایج شبیه سازی با توجه به جهت های X و Y متناسب هستند، منحنی های بار- انحراف اندازه گیری شده نشان دهنده تفاوت هایی در هر دو جهت می باشند. در جهت Y ، فشار های کششی اندازه گیری شده ε_{xx} در قسمت پشت و جلوی پوسته، یکسان نیستند (شکل 11).



شکل 12. تکامل آسیب در طول تاریخچه بار.



شکل 13. منحنی های بار- انحراف آزمایش و شبیه سازی در جهت Z برای اندازه گیری نقاط P_1 تا P_7 .



شکل 14. انحراف عمودی پوسته طاق در امتداد خط بالای آن در آزمایش و شبیه سازی برای اندازه گیری نقاط P_1 تا P_7 در مراحل بار ای و دو.

علاوه بر این، انحراف عمودی w_z در نقطه P_1 بزرگ تر از انحراف عمودی در نقطه P_7 می باشد (شکل 13). به منظور قرار دادن این عدم تقارن در جهت x ، انحراف های اندازه گیری شده در نقاط P_1 تا P_7 در امتداد خط بالا با نتایج شبیه سازی شکل 14 مقایسه شده اند. تاثیر نقص های هندسی روی ظرفیت تحمل بار ساختار های پوسته TRC فراتر از محدوده مطالعه حاضر می باشد. مطالعه عددی تاثیر ترکیبی غیرخطی بودن ماده و نقص های هندسی توسط محققان [37] مورد بررسی قرار گرفته است.

6. مقایسه با روش طراحی ULS

مطالعات تجربی و عددی انجام شده، شناس منحصر به فردی را برای بررسی ساده سازی هایی ایجاد می کنند که برای رویکرد های اندازه گذاری قابل اجرا برای پوسته های TRC مورد نیاز هستند. ارزیابی حد موثر برای موارد بار متعدد فقط می تواند بر اساس تجزیه و تحلیل ساختاری خطی و برهم نهی نتایج تنש باشد. در مورد پایه دوچرخه ساخته شده (شکل 1)، این روش اندازه گذاری و ارزیابی ایمنی توسط محققان در [4,5] شرح داده شده است.

اولین مرحله ارزیابی ULS پیشنهادی، تعیین مقادیر قدرت مقطعی برای تنظیمات بارگذاری ابتدایی می باشد، به عنوان مثال، در تنش، خمش و فشار. نمونه های آزمایش دارای طرح مقطع عرضی یکسان با پوسته ساخته شده بودند (شکل 5). مقادیر متوسط آن ها به عنوان $n_{t,Rd} = 476 \text{ kN/m}$ برای قدرت کششی، $m_{Rm} = 3.3 \text{ kNm/m}$ برای قدرت فشاری و $n_{c,Rm} = 1360 \text{ kN/m}$ برای قدرت خمشی ارزیابی شدند. همان طور که در شکل 15.الف نشان داده شده است، پوشش مقاومت مربوطه توسط با اتصال سه نقطه داده اندازه گیری شده ایجاد شد. این تقریب ساده با این واقعیت توجیه شده است که پوشش واقعی غیر خطی است و مقاومت مقطعی بسیار بیش تری را برای تعامل فشار و خمش ایجاد می کند. در مورد تنش و خمش ترکیبی، تقریب خطی با استفاده از آزمایش های مطرح شده در [4] توجیه شده است. در مرحله دوم، بار آزمایش اعمال شده به عنوان ورودی روش ارزیابی ULS در نظر گرفته شد. محاسبه عنصر محدود خطی با شرایط مرزی مربوط به تنظیمات آزمایش انجام شد که در شکل 8 نشان داده شده است. بار مرجع با بار شعاعی $q_{ref} = 10 \text{ kN/m}$ نشان داده شد که با نیروی $S_{ref} = R \cdot q_{ref} = 14 \text{ kN}$ در نوار فولادی در ارتباط قرار دارد. نتایج تنش محاسبه شده، مانند خمش ها و نیرو های نرمال، برای محاسبه نسبت کاربرد $\eta_{nm} = \max(\eta_{nt}, \eta_{nc}) + \eta_m$ مورد استفاده قرار گرفتند، که نشان دهنده فاصله نسبی با پوشش شکست است. در شکل 15.ب، مقادیر η_{nm} در نمودار تعامل $n \times m$ برای همه نقاط تعامل گسسته سازی عنصر محدود به کار رفته نشان داده شده اند. ظاهرا، در این وضعیت، پوسته نشان دهنده هیچ خمشی نیست. توزیع فضایی η_{nm} در شکل 16 نشان داده شده است.

مقطع عرضی نشان دهنده حداکثر سطح استفاده است، $\eta_{nm,ref} = 0.227$. این بدان معنی است که بار نهایی در استفاده کامل، $\eta_{nm,el} = 1.0$ برای بار افزایش یافته با ضریب $0.227/1$ به دست می آید. بنابراین، شکست نهایی پیش بینی شده با استفاده از روش ارزیابی ULS عبارت است از

$$S_{el} = S_{ref}/\eta_{nm,ref} = 14/0.227 = 61.7 \text{ kN}.$$

سطح بار نهایی که با شبیه سازی پیش بینی شد و در آزمایش تائید شد، $S_{\text{test}} = 98.4 \text{ kN}$ بود. بنابراین، با مقایسه بار نهایی اندازه گیری شده و ارزیابی با استفاده از مدل طراحی خطی، خواهیم داشت

$$S_{\text{test}}/S_{\text{el}} = 98.4 \text{ kN}/61.7 \text{ kN} = 1.59$$

که نشان دهنده 59٪ از افزونگی ساختاری با توجه به ارزیابی ULS برای بار مورد نظر می باشد. با توجه به انتشار الگوی ترک نشان داده شده در شکل 10.ب، دلیل مقدار بالاتر تنش نهایی می تواند در توزیع مجدد تنش مشاهده شود. ترک های ریز توزیع شده، نواحی بزرگی از پوسته را تحت پوشش قرار می دهند که از مقطع های عرضی از میان لبه های طولی منتشر شدند. این رفتار منجر به فعال شدن یک ناحیه تقویت موثر و بزرگ تر از ناحیه مفروض در ارزیابی ULS می شود، که این وضعیت را فقط در یک نقطه واحد در نزدیکی لبه پوسته مورد توجه قرار می دهد. هرچند ممکن است این مشاهدات واضح باشند، برای اشاره به رابطه کمی بین تحلیل غیر خطی و روش طراحی ULS پیشنهادی در کار مهندسی روزانه، آن را مهم در نظر می گیریم. مکانیسم های توزیع مجدد تنش در یک ترکیب شامل عناصر شکننده مربوط به ترک و خمش ماتریس می باشند. تجزیه و تحلیل انجام شده، میزان ظرفیت توزیع مجدد تنش را تعیین می کند که می تواند با ترک و تنش بین ترک های هندسه پوسته ارائه شده و بار مورد نظر ایجاد شود.

TariomeFa.Com

References

- [1] Ruhnau D. Hauchdünn, Beton im Besonderen: Pavillon aus Textilbeton an der RWTH Aachen. *Deutsche Bauzeitung*, 10:74–77, October 2015.
- [2] Scholzen A., Chudoba R., and Hegger J. Thin-walled shell structure made of Textile Reinforced Concrete; Part I: structural design and construction. *Structural Concrete*, 16:106–114, 2015.
- [3] Scholzen A., Chudoba R., and Hegger J. Thin-walled shell structure made of Textile Reinforced Concrete; Part II: experimental characterization, ultimate limit state assessment and numerical simulation. *Structural Concrete*, 16:115–124, 2015.
- [4] Scholzen A., Chudoba R., and Hegger J. Ultimate limit state assessment of TRC structures with combined normal and bending loading. In Brameshuber W., editor, *11th International Symposium on Ferrocement (FERRO-11) and 3rd International Conference on Textile Reinforced Concrete (ICTRC-3)*, pages 159–166. RILEM Publications S.A.R.L., June 2015.
- [5] Scholzen A., Chudoba R., Hegger J., and Will N. Light-weight precast shell elements made of textile reinforced concrete: production, experimental investigations and application potential. *Beton- und Stahlbetonbau*, 111(10):663–675, 2016.
- [6] Cuypers H. and Wastels J. A stochastic cracking theory for the introduction of matrix multiple cracking in textile reinforced concrete under tensile loading. In Hegger J., Brameshuber W., editor, *12th International Symposium on Ferrocement (FERRO-12) and 4th International Conference on Textile Reinforced Concrete (ICTRC-4)*, pages 111–118. RILEM Publications S.A.R.L., June 2017.

- ber W., and Will N., editors. *1st International RILEM Symposium*, pages 193–202. RILEM Publications S.A.R.L., September 2006.
- [7] Mobasher B., Peled A., and Pahlajani J. Distributed cracking and stiffness degradation in fabric-cement composites. *Materials and Structures*, 39(3):317–331, June 2006.
- [8] Larrinaga P., Chastre C., San-José J. T., and Garmendia L. Non-linear analytical model of composites based on basalt textile reinforced mortar under uniaxial tension. *Composites Part B: Engineering*, 55:518–527, 2013.
- [9] Richter M. and Zastrau B. W. On the nonlinear elastic properties of textile reinforced concrete under tensile loading including damage and cracking. *Materials Science and Engineering: A*, 422(1-2):278–284, April 2006.
- [10] Li Y., Chudoba R., Sadilek V., Rypl R., and Vofechovsky M. Analysis of the tensile response of Textile Reinforced Concrete using digital image correlation technique combined with multi-scale stochastic modelling. In Brameshuber W., editor, *11th International Symposium on Ferrocement (FERRO-11) and 3rd International Conference on Textile Reinforced Concrete (ICTRC-3)*, pages 141–148. RILEM Publications S.A.R.L., June 2015.
- [11] Rypl R., Chudoba R., Scholzen A., and Vofechovsky M. Brittle matrix composites with heterogeneous reinforcement: Multi-scale model of a crack bridge with rigid matrix. *Composites Science and Technology*, 89:98–109, 2013.
- [12] Barhumi R. and Mechthalerine V. Effect of short, dispersed glass and carbon fibres on the behavior of textile-reinforced concrete under tensile loading. *Engineering Fracture Mechanics*, 92:56–71, September 2012.
- [13] Hinzen M. and Brameshuber W. Load-bearing behaviour of Textile Reinforced Concrete with short fibres. In Barrios Joaquim A.O., editor, *8th RILEM International Symposium on Fiber Reinforced Concrete: challenges and opportunities (BEFIB 2012)*, pages 254–260. RILEM Publications S.A.R.L., September 2012.
- [14] Contamine R., Si Larbi A., and Hamelin P. Contribution to direct tensile testing of Textile Reinforced Concrete (TRC) composites. *Materials Science and Engineering: A*, 528(29-30):8589–8598, November 2011.
- [15] Hartig J., Jesse F., Schickertz K., and Haüller-Combe U. Influence of experimental setups on the apparent uniaxial tensile load-bearing capacity of Textile Reinforced Concrete specimens. *Materials and Structures*, 45(3):433–446, March 2012.
- [16] Colombo I. G., Magri A., Zani G., Colombo M., and di Prisco M. Textile Reinforced Concrete: experimental investigation on design parameters. *Materials and Structures*, 46(11):1933–1951, November 2013.
- [17] RILEM Technical Committee 232-TDT (Wolfgang Brameshuber). Recommendation of RILEM TC 232-TDT: test methods and design of textile reinforced concrete: Uniaxial tensile test: test method to determine the load bearing behavior of tensile specimens made of textile reinforced concrete. *Materials and Structures*, 49(12):4923–4927, December 2016.
- [18] Hegen J., Will N., Brückermann O., and Voss S. Load-bearing behaviour and simulation of textile reinforced concrete. *Materials and Structures*, 39(8):765–776, 2006.
- [19] Graf W., Hoffmann A., Möller H., Sickert J., and Steinigen F. Analysis of textile-reinforced concrete structures under consideration of non-traditional uncertainty models. *Engineering Structures*, 29(12):3420–3431, 2007.
- [20] Höller S., Butenweg C., Noh S. Y., and Meskouris K. Computational model of Textile-Reinforced Concrete structures. *Computers & Structures*, 82(23–26):1971–1979, September 2004.
- [21] Bazant Z. P. and Planas J. *Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials*. CRC Press, 1st edition, December 1997.
- [22] Hofstetter G. and Mang H. *Computational Mechanics of Reinforced Concrete Structures*. Vieweg+Teubner Verlag, January 1995.
- [23] Krätsig W. B. and Pölling R. An elasto-plastic damage model for reinforced concrete with minimum number of material parameters. *Computers and Structures*, 82(1516):1201–1215, 2004.
- [24] Noh S. Y., Krätsig W. B., and Meskouris K. Numerical simulation of serviceability, damage evolution and failure of reinforced concrete shells. *Computers and Structures*, 81(811):843–857, 2003. K.J. Bathe 60th Anniversary Issue.
- [25] Jun D., Petryna Y., Bockhold J., and Stangenberg F. A rational framework for damage analyses of concrete shells. In K.J. Bathe, editor, *Computational Fluid and Solid Mechanics 2003*, pages 356–359. Elsevier Science Ltd, Oxford, 2003.
- [26] Gericke O., Neuhäuser S., Mittelstädt J., and Sobek W. Computational evaluation of the load-bearing behaviour of segmented shell structures. In *Future Visions Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium*. KIVI (published on USB stick), August 2015.
- [27] Waimer F., La Magna R., and Knippers J. Integrative numerical techniques for fibre reinforced polymers - forming process and analysis of differentiated anisotropy. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 54:301–309, 2013.
- [28] Rajashekhar M. and Ellingwood B. Reliability of reinforced-concrete cylindrical shells. *Journal of Structural Engineering*, 121(2):336–347, February 1995.
- [29] Sooranakorn C. and Mobasher B. Flexural analysis and design of Textile Reinforced Concrete. *Textilbeton Theorie und Praxis – Tagungsband zum 4. Kolloquium zu Textilbewehrten Tragwerken (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, Dresden, Germany*, pages 273–288, June 2009.
- [30] Noh H. C. Nonlinear behavior and ultimate load bearing capacity of reinforced concrete natural draught cooling tower shell. *Engineering Structures*, 28(3):399–410, 2006.
- [31] Bockhold J. and Petryna Y.S. Creep influence on buckling resistance of reinforced concrete shells. *Computers and Structures*, 86(78):702–713, 2008.
- [32] Tysmans T., Adriaenssens S., Cuypers H., and Wastiels J. Structural analysis of small span Textile Reinforced Concrete shells with double curvature. *Composites Science and Technology*, 69(11–12):1790–1796, September 2009.
- [33] Verwimp E., Tysmans T., Mollaert M., and Woźniak M. Prediction of the buckling behaviour of thin cement composite shells: Parameter study. *Thin-Walled Structures*, 108:20–29, 2016.
- [34] Verwimp E., Tysmans T., Mollaert M., and Berg S. Experimental and numerical buckling analysis of a thin TRC dome. *Thin-Walled Structures*, 94:89–97, September 2015.
- [35] Tomás A. and Tovar J. P. The influence of initial geometric imperfections on the buckling load of single and double curvature concrete shells. *Computers and Structures*, 96:97:34–45, April 2012.
- [36] Reitinger R. and Ramm E. Buckling and imperfection sensitivity in the optimization of shell structures. *Thin-Walled Structures*, 23(14):159 – 177, 1995. Buckling Strength of Imperfection-sensitive Shells.
- [37] Sharei E., Chudoba R., Scholzen A., and Hegger J. Thin-walled textile reinforced concrete shells: analysis of combined effect of anisotropic strain hardening and imperfect geometry. In Takemoto T., Kawaguchi K., Ohsaki M., editor, *Spatial Structures in the 21st Century Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium*, published on USB stick, September 2016.
- [38] Chudoba R., Sharei E., and Scholzen A. A strain-hardening micropalane damage model for thin-walled textile-reinforced concrete shells, calibration procedure, and experimental validation. *Composite Structures*, 152:913–928, 2016.
- [39] Jirásek M. Comments on micropalane theory. *Mechanics of Quasibrittle Materials and Structures*, Hermes Science Publications, pages 55–77, 1999.
- [40] Chudoba R. and Scholzen A. Textile-reinforced concrete: Structural behavior. In Triantaftillou T., editor, *Textile Fibre Composites in Civil Engineering, 1st Edition*. Woodhead Publishing, February 2016.

- [41] Hughes B. P. and Ash J. E. Anisotropy and failure criteria for concrete. *Matériaux et Construction*, 3(6):371–374, November 1970.
- [42] Bažant Z. P. and Prat P. C. Microplane model for brittle-plastic material: I. Theory. *Journal of Engineering Mechanics*, 114(10):1672–1688, 1988.
- [43] Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, USA. *ABAQUS Analysis Users Manual, Volume IV: Elements, Version 6.11*, 2011.
- [44] Sharei E., Chudoba R., and Scholzen A. Cross-sectional failure criterion combined with strain-hardening damage model for simulation of thin-walled textile-reinforced concrete shells. In Papadrakakis M., Papadopoulos V., Stefanou G., and Plevris V., editors, *ECCOMAS Congress 2016 - VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, volume 4, pages 6823–6831. National Technical University of Athens (NTUA), June 2016.



برای خرید فرمت ورد این ترجمه، بدون واتر مارک، اینجا کلیک نمایید.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

✓ لیست مقالات ترجمه شده

✓ لیست مقالات ترجمه شده رایگان

✓ لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI

سایت ترجمه فا؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معترض خارجی