



ISAV2022

دوازدهمین کنفرانس بین المللی آکوستیک و ارتعاشات

۲۳ و ۲۴ آذر ماه ۱۴۰۱ تهران - ایران



مقایسه روابط تحلیلی موجود در محاسبه سختی جانبی جداگرهای الیافی غیرمتصل مستطیلی

مریم منصوری^{۱*}، حمید توپچی نژاد^۲

^۱ایران، کرمانشاه، بلوار باغ ابریشم، دانشگاه رازی، دانشکده فنی مهندسی، ۶۷۱۴۴۱۴۹۷۱، دانشجو کارشناسی ارشد سازه

^۲ایران، کرمانشاه، دانشگاه رازی، ۶۷۱۴۴۱۴۹۷۱، دانشیار سازه

*maryammansoori075@gmail.com

چکیده

جداسازی لرزه ای روش موثری در کاهش پاسخ لرزه ای سازه ها است و هدف اصلی آن تامین شرایط استفاده بی وقفه از سازه پس از یک زلزله شدید می باشد. با این وجود به دلیل هزینه های بالای این فناوری کاربرد آن در ساختمان های معمولی گسترش قابل توجهی پیدا نکرده است. یکی از انواع نسبتا جدید جداگرها بالشتک های الاستومری مسلح به الیاف (جداگرهای الیافی) می باشند که با توجه به ویژگی های فنی خود از توجیه اقتصادی لازم جهت کاربرد در ساختمان های معمولی را هم خواهند داشت. این مقاله ضمن معرفی جداگرهای الیافی که به طور غیرمتصل به کار گرفته می شوند و ذکر مزایای آنها جهت کاربرد اقتصادی در بسیاری از ساختمان های معمولی، به بررسی روابط تحلیلی ارائه شده توسط محققین مختلف جهت محاسبه سختی جانبی این جداگرها و مقایسه نتایج این روابط با مطالعات آزمایشگاهی می پردازد.

کلمات کلیدی: جداگر لرزه ای؛ سختی جانبی؛ تغییرشکل شبه غلطان؛ کاربرد غیرمتصل.

۱- مقدمه

در طول چند دهه اخیر که ایده جداسازی لرزه ای برای بهبود عملکرد سازه در برابر زلزله مطرح شده، انواع مختلفی از جداگرهای لاستیکی تولید شده اند که عبارت اند از:

۱. جداگرهای لاستیکی با هسته سربی
۲. جداگرهای لاستیکی مسلح شده با صفحات فولادی
۳. جداگرهای لاستیکی مسلح شده با الیاف

جداگرهای الاستومری مسلح به صفحات فولادی متداول ترین نوع جداگرهای الاستومری هستند که از لایه های به هم پیوسته الاستومر و صفحات فولادی ساخته شده اند. صفحات فولادی با محدود کردن کرنش جانبی لایه های الاستومری که تحت اثر

بارهای فشاری قائم هستند موجب کاهش تغییرشکل های قائم جداگر و در نتیجه تامین سختی لازم در جهت قائم می گردند [1]. لازم به ذکر است که اثر این صفحات بر سختی جانبی ناچیز است و مدول برشی الاستومر عمدتاً تعیین کننده سختی جانبی جداگر می باشد. این جداگرها عمدتاً در وجوه تحتانی و فوقانی خود دارای صفحات فولادی نسبتاً ضخیم موسوم به صفحات انتهایی می باشد که با استفاده از این صفحات، جداگر به تکیه گاه های خود متصل می شود. بدیهی است وجود صفحات انتهایی و همچنین صفحات فولادی میانی موجب افزایش وزن جداگر و در نتیجه افزایش هزینه های قالب، حمل و نقل، نصب، دستمزد نیروی انسانی و... می شود. بنابراین نوع دیگری از جداگرهای الاستومری موسوم به "جداگرهای الاستومری مسلح به الیاف" طرف یک و نیم دهه گذشته ابداع شده اند [2]. در این جداگرها به جای صفحات فولادی از صفحات الیافی جهت مهار کرنش جانبی لایه های الاستومر و تامین سختی لازم در امتداد قائم استفاده می شود. در پی این جایگزینی، وزن جداگر به میزان بسیار زیادی کاهش یافته است. با نصب صفحات فولادی انتهایی به وجوه فوقانی و تحتانی جداگرهای الیافی، می توان آنها را مانند جداگرهای الاستومری متداول به روش کاربرد متصل به خدمت گرفت. اگر چه جداگرهای الیافی متصل سبک تر از جداگرهای الاستومری متداول هستند، اما وجود صفحات انتهایی فولادی در آنها به معنای تحمیل هزینه بیش تر و همچنین وزن بیش تر جداگر می باشد که این امر کماکان قیمت تمام شده جداگر را بالا خواهد برد به همین دلیل صفحات انتهایی را حذف کرده و جداگر را در کاربرد غیرمتصل به کار برده تا با حذف قالب، فرآیند تولید جداگر کم هزینه تر گردد [3-4-5]. جداگرهای الیافی غیرمتصل آن دسته از جداگرهای الاستومری مسلح به صفحات الیافی هستند که فاقد صفحات فولادی انتهایی در بالا و پایین بوده و به صورت غیرمتصل به کار گرفته می شود. حذف صفحات انتهایی موجب کاهش بیش تر وزن جداگر می شود. جداگرهای الیافی غیرمتصل را می توان در عمل بدون ایجاد هرگونه پیوستگی و یا اتصال مکانیکی (همانند پیچ و مهره) با سطوح تماس فوقانی و تحتانی جداگر به کار گرفت. در این حالت نیروهای برشی به وسیله اصطکاک موجود در سطوح تماس جداگر با تکیه گاه های آن، منتقل می شود. هنگامی که جداگرهای الیافی غیرمتصل تحت اثر نیروهای جانبی برشی قرار می گیرند بخشی از سطوح تماس فوقانی و تحتانی آنها به دلیل شرایط مرزی غیرمتصل جداگر وعدم وجود سختی خمشی در لایه های تسلیح الیاف- از سطوح تکیه گاهی بلند می شوند. چنین تغییر شکل جانبی ویژه ای را اصطلاحاً تغییر شکل شبه غلتان می نامند. تغییر شکل شبه غلتان منجر به ظهور مزایای فنی و اقتصادی ویژه ای در عملکرد جانبی جداگرهای الیافی غیرمتصل در مقایسه با جداگرهای الاستومری متداول و یا جداگرهای الیافی که به طور متصل به کار می روند، می شود. از این رو جداگرهای الیافی غیرمتصل را می توان به عنوان نسل جدید جداگرهای لرزه ای الاستومری که دارای مزایای فنی و اقتصادی ویژه می باشد در نظر گرفت [1].

مزایای مذکور به شرح ذیل می باشد:

- کاهش قابل توجه سختی جانبی جداگرها با افزایش تغییرمکان های جانبی وارده
 - پایداری جانبی مناسب (در صورتی که ابعاد هندسی مناسبی برای جداگر در نظر گرفته شده باشد رفتار جانبی آن همواره پایدار می ماند).
 - ظرفیت تغییرشکل جانبی قابل توجه جداگر
 - قابلیت استهلاک انرژی مناسب جداگر
 - کاهش هزینه های تولید با توجه به عدم نیاز به صفحات فولادی انتهایی در کاربرد غیرمتصل جداگر و امکان حذف قالب در فرایند تولید
 - امکان استفاده از مواد ارزان قیمت تر به دلیل پایین بودن نسبی تقاضای تنش در درون و مرز مشترک لایه های مختلف جداگرها
 - نیاز به تعداد لایه های الاستومر کمتر- در مقایسه با جداگرهای متداول و جداگرهای الیافی متصل- برای رسیدن به میزان مشخصی از سختی جانبی که این امر به منزله صرفه جویی در حجم مصالح مصرفی در جداگر است.
- با توجه به موارد فوق بنظر می رسد که جداگرهای الیافی غیرمتصل جهت کاربرد اقتصادی در بسیاری از سازه ها و ساختمان های معمولی از پتانسیل مناسبی برخوردار است [4]. از این رو محققین مختلف به منظور بررسی عملکرد این جداگرها، مطالعات تحلیلی بر روی آنها انجام داده اند که در بخش های بعدی به معرفی این روابط پرداخته شده است.

۲- ارائه مدل‌های تحلیلی

هدف اصلی از مطالعات تحلیلی به دست آوردن روابطی است که بتوان بر اساس هندسه و مشخصات مصالح جداگرها امکان تخمین سختی‌های جداگر در امتداد قائم و افقی فراهم گردد. در جداگرهای الاستومری مسلح به صفحات فولادی سختی جانبی با استفاده از معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$k_H = \frac{G.A}{t_r} \quad (1)$$

که در رابطه فوق G مدول برشی الاستومر، A سطح مقطع جداگر و t_r ضخامت کل لایه‌های الاستومری را بیان می‌کند. در جداگرهای الاستومری مسلح به صفحات الیافی، صفحات مسلح فولادی با صفحات الیاف جایگزین می‌شوند در نتیجه جداگرهای الیافی نسبت به جداگرهای متداول انعطاف‌پذیرند همچنین برخلاف صفحات فولادی که در تغییر شکل‌های جانبی تقریباً صلب باقی می‌مانند، صفحات مسلح الیافی در انتهای خود تغییر شکل شبه غلتان از خود نشان می‌دهند که موجب می‌شود رابطه نیرو-جابجایی جانبی در جداگرهای الیافی غیرمتصل، غیرخطی شود اما این رابطه در جداگرهای متعارف تقریباً خطی می‌باشد. بنابراین معادله (۱) که یک رابطه خطی بین نیرو - جابجایی جانبی ایجاد می‌کند برای جداگرهای الیافی غیر متصل نمی‌توان به کار برد. در ادامه مدل‌های تحلیلی ارائه‌شده توسط محققین مختلف برای به دست آوردن سختی جانبی جداگرهای الیافی غیر متصل در جدول شماره (۱) شرح داده شده است که در جدول زیر:

- G : مدول برشی الاستومر
- A_{eff} و A_r و A_{cave} مساحت سطحی از جداگر که در تماس با تکیه‌گاه‌های فوقانی و تحتانی می‌باشد.
- u و s : جابجایی جانبی اعمال شده به جداگر
- a و b : ابعاد جداگر
- d پارامتری هندسی که تابعی از جابجایی جانبی و ضخامت کل جداگر است.
- مقادیر α و n_1 و n_2 به ترتیب برابر با 0.64 ، 0.05 ، 0.15 می‌باشد.
- S_1 : مساحت یک لایه الاستومر در پلان تحت بارگذاری به مساحت جانبی همان لایه
- S_2 : نسبت بعد جداگر در راستا بارجانبی وارده به ارتفاع کل جداگر
- P_L و P_Z : بار عمودی
- P_{Cr} : بار بحرانی
- l_0 و l_t : طول اولیه و طول فعلی جداگر (موازی با جهت بارگذاری)
- m_L ضریبی ثابت که برابر با 0.75 می‌باشد.
- γ : کرنش برشی
- t : ضخامت یک لایه الاستومر
- n : تعداد لایه‌های الاستومر
- t_r : ضخامت کل لایه‌های الاستومر
- h : ارتفاع کل جداگر

جدول ۱. روابط تحلیلی ارائه شده برای محاسبه سختی جانبی جداگرهای الیافی غیرمتصل

نویسندگان	معادلات	پارامترها
Toopchi nezhad [6]	$k_H = \frac{G \cdot A_{eff}}{t_r} \quad (2)$	Model1: $A_{eff} = a \left(b - \frac{3}{4} u \right) \quad (4)$
	$F = k_H \cdot u \quad (3)$	Model2: $A_{eff} = a(b - d) \quad (5)$
Karaji [7]	$k_H = \frac{G \cdot A_{eff}}{t_r} \cdot \alpha \cdot S_1^{n_1} \cdot S_2^{n_2} \quad (6)$	$A_{eff} = a \left(b - \frac{3}{4} u \right) \quad (8)$
	$F = k_H \cdot u \quad (7)$	
Rasso [8]	$k_H = \frac{G \cdot A_{C,ave}}{t_r} \quad (9)$	$A_{C,ave} = \frac{A_C(d=0) + A_C(d=d_{max})}{2} \quad (11)$
	$F = k_H \cdot S \quad (10)$	
Kelly [9]	$k_H = \frac{G \cdot A_{eff}}{t_r} \quad (12)$	$A_{eff} = a(b - u) \quad (14)$
	$F = k_H \cdot u \quad (13)$	
Van Ngo [10]	$k_H = \frac{G_{eff} \cdot A_{eff}}{t_r} \quad (15)$	$A_{eff} = a(b - d) \quad (17)$ $\begin{cases} G_{eff} = G \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_{crit0(1-\frac{u}{a})^2}} \right)^2 \right] \left(1 - \frac{u}{a} \right) \text{for } 0 \leq u \leq 1.0t_r \\ G_{eff} = G \left[1 - \left(\frac{P_z}{P_{crit0(1-\frac{1.0t_r}{a})^2}} \right)^2 \right] \left(1 - \frac{1.0t_r}{a} \right) \text{for } 1.0t_r \leq u \leq 1.5t_r \end{cases} \quad (18)$
	$F = k_H \cdot u \quad (16)$	
Milani [11]	$k_H = \frac{G \cdot A_r}{t_r} \cdot \left(1 - \left(\frac{P_L}{P_{Cr}} \right)^2 \right) \quad (19)$	$A_r = b \cdot (l_0 - (u \cdot m_L)) \quad (21)$
	$F = k_H \cdot u \quad (20)$	
Peng [12]	$F - abG\gamma + antG\gamma^2 - \frac{2A}{\gamma^2} \cdot \tan \left[\arcsin \left(\frac{aG\gamma b - F}{aG\gamma h} \right) \right] \cdot \arcsin \left(\frac{aG\gamma b - F}{aG\gamma h} \right) = 0 \quad (22)$	

۲-۱ مقایسه مدل های تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی

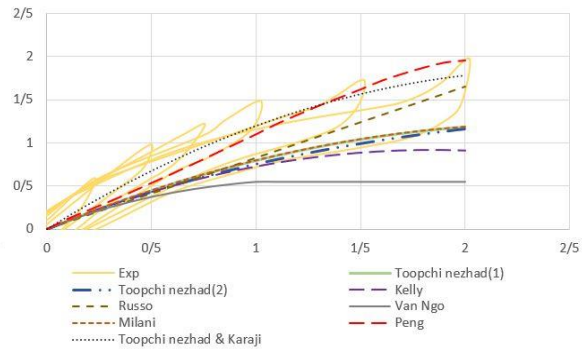
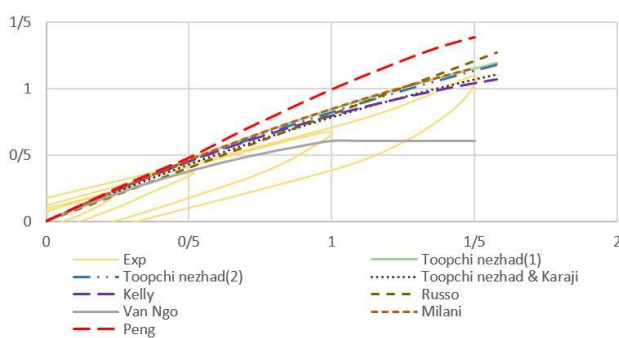
در این بخش مدل های تحلیلی ارائه شده را با نتایج حاصل از آزمایش مقایسه کرده و در شکل های (۱) تا (۵) نشان داده شده منحنی های نیرو-جابجایی جانبی در روش آزمایشگاهی به صورت حلقه های هیستریزس ناشی از بارگذاری رفت و برگشتی هستند که در دامنه های مختلف انجام می شود. دامنه های در نظر گرفته شده به صورت تابعی از t_r بیان شده اند. حداکثر جابجایی در نظر گرفته شده در نمونه های آزمایشگاهی $2t_r$ (دو برابر ضخامت کل لایه های الاستومر) می باشد که این مقدار تقریباً معادل غلتش کامل جداگر است. قابل ذکر است که اکثر روابط تحلیلی توانایی مدل کردن بیش از این مقدار جابجایی را ندارند زیرا بعد از غلتش کامل از آنجایی که سطح تماس جداگر با تکیه گاه ها مجدداً افزایش می یابد، نمودار دچار سخت شدگی مجدد می شود. در آزمایشات انجام شده بر روی نمونه ها، در هر دامنه معمولاً چندین سیکل رفت و برگشتی نیرو اعمال شده است. زمانی مدل های تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی عملکرد مناسبی از خود نشان می دهند که بتوانند از نقاط پیک هر دامنه عبور کنند.

برای این منظور جابجایی در نمودار هیستریزس نمونه های آزمایشگاهی را نسبت به ضخامت کل لایه های الاستومر t_r رسم کرده و در نقطه پیک هر دامنه، مقدار نیرو را با توجه به نمودار بدست آورده سپس با استفاده از رابطه $F=K \cdot U$ سختی جانبی را محاسبه کرده و

با سختی جانبی در جابجایی متناظر مدل های تحلیلی ارائه شده مقایسه کرده و مقادیر خطا را بدست آورده. در ادامه به رسم منحنی نیرو-جابجایی جانبی حاصل از آزمایش در قیاس با مدل های تحلیلی ارائه شده توسط محققین مختلف پرداخته و میزان خطا سختی جانبی آن ها را بدست آورده.

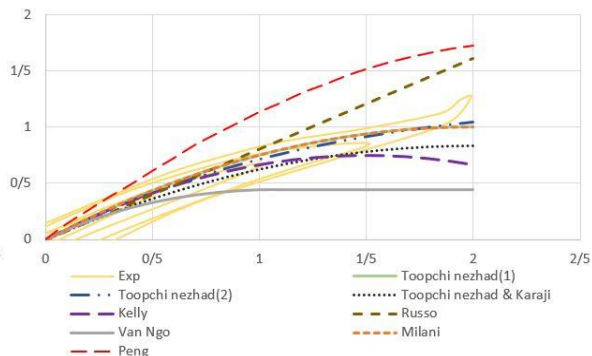
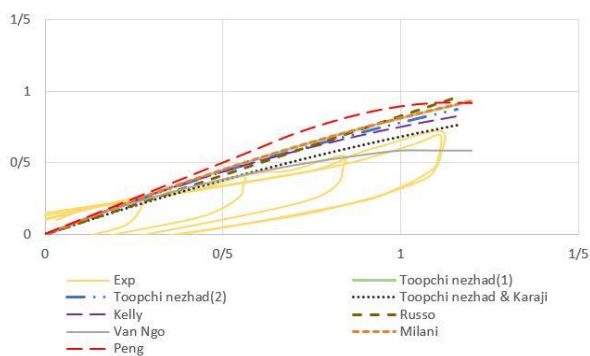
جدول ۲. مشخصات هندسی جداگرا در نمونه های آزمایشگاهی محققین مختلف

نویسندگان	a	b	t_f	t_e	t_r	h	Ge	S	R
Toopchi Nezhad[13]	70	70	0.54	1.58	19	25	0.4	11	2.8
AL-Anany[14]	61.2	87.75	0.25	3	18	19.5	0.86	6	4.5
Milani[11]	150	150	0.5	10	50	52	0.6	3.75	2.89
Zhang[15]	150	150	0.25	1.76	37	42	1.85	5.07	3.57
Sciascetti[16]	64	64	0.17	2.57	18	19	0.85	5.5	3.4



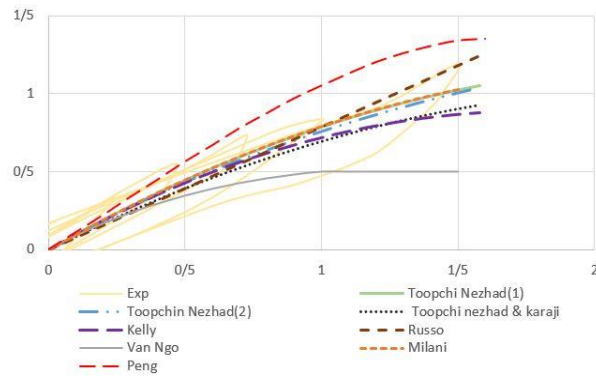
شکل ۲. مقایسه نمودار نیرو-جابجایی جانبی مدل های تحلیلی و نتایج حاصل از آزمایش AL-Anany

شکل ۱. مقایسه نمودار نیرو-جابجایی جانبی مدل های تحلیلی و نتایج حاصل از آزمایش Toopchi Nezhad

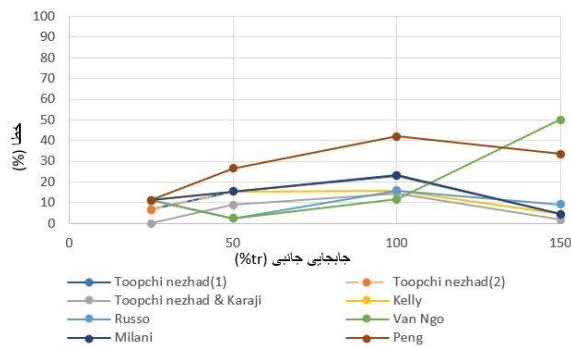


شکل ۴. مقایسه نمودار نیرو-جابجایی جانبی مدل های تحلیلی و نتایج حاصل از آزمایش Zhang

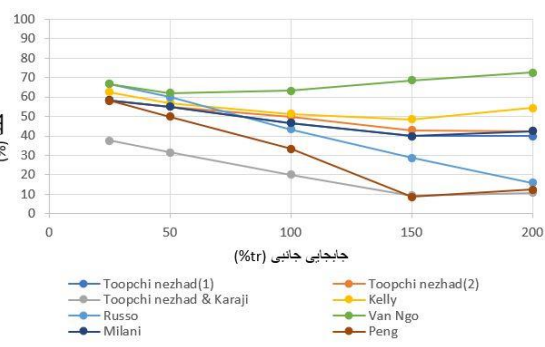
شکل ۳. مقایسه نمودار نیرو-جابجایی جانبی مدل های تحلیلی و نتایج حاصل از آزمایش Milani



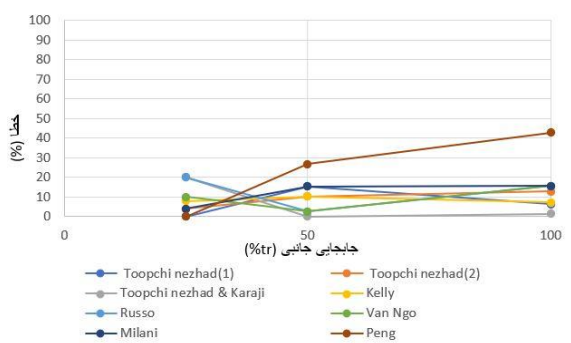
شکل ۵. مقایسه نمودار نیرو-جابجایی جانبی مدل های تحلیلی و نتایج حاصل از آزمایش Sciacetti



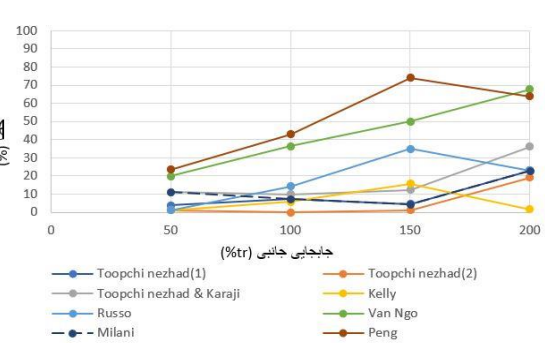
شکل ۶. درصد خطای سختی جانبی مدل های تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی AL-Anany



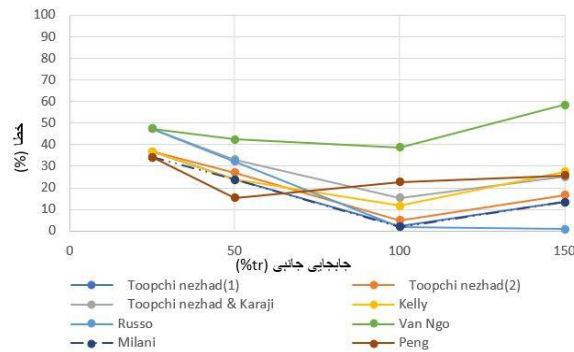
شکل ۷. درصد خطای سختی جانبی مدل های تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی Toopchi Nezhad



شکل ۸. درصد خطای سختی جانبی مدل های تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی Zhang



شکل ۹. درصد خطای سختی جانبی مدل های تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی Milani



شکل 10. درصد خطای سختی جانبی مدل های تحلیلی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی Sciascetti

درصد خطای سختی جانبی مدل های تحلیلی ارائه شده جدول (1) در مقیاس با نتایج آزمایشگاهی [13] Toopchi Nezhad برده شده، در جدول (2) ذکر شده است- به ترتیب، در شکل های (6) تا (10) نشان داده شده. در مدل های آزمایشگاهی Toopchi Nezhad [13] و AL-Anany [14] بهترین نتیجه را مدل تحلیلی [7] Karaji به ترتیب با حداکثر 37.5% و 14.5% خطا به خود اختصاص داده است. مدل 2 [6] Toopchi Nezhad در مقایسه با نمونه آزمایشگاهی [11] Milani نتایج رضایت بخشی داشته و حداکثر خطا برابر با 19.23% می باشد. در نمونه آزمایشگاهی [15] Zhang که تا جابجایی برابر 1tr رسم شده است، مدل تحلیلی [7] Karaji مطابقت بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشته به طوری که حداکثر خطا برابر با 20% در جابجایی 0.25tr است. در مدل آزمایشگاهی [16] Sciascetti که تا جابجایی 1.5tr رسم شده است مدل 1 [6] Toopchi Nezhad و [11] Milani نتایج قابل قبولی داشته و حداکثر خطای آنها به ترتیب برابر با 35.84% و 34.21% در جابجایی 0.25tr می باشد. در اکثر نمونه های آزمایشگاهی ارائه شده به ازای دامنه های ابتدایی، مدل های تحلیلی در قیاس با این نمونه ها خطای بالایی داشته این به دلیلی آن است که در جابجایی های کوچک، جداگر همچنان با سطوح تکیه گاهی تقریباً در تماس کامل می باشد. منحنی های رسم شده در نمونه های آزمایشگاهی به ازای جابجایی 2tr در انتهای خود دارای یک سخت شدگی مجدد می باشند که این به دلیل غلتش کامل جداگر است که این امر در مدل های تحلیلی دیده نمی شود.

۳- نتیجه گیری

به منظور گسترش کاربرد جداگرهای الیافی غیرمتصل به عنوان جداگرهای لرزه ای روابط تحلیلی متنوعی توسط محققین مختلف ارائه شده است این روابط به عنوان یک ابزار اساسی برای پیش بینی سختی جانبی جداگرهای الیافی پیشنهاد شده اند. تغییر شکل شبه غلتان در جداگرهای الیافی غیرمتصل موجب غیرخطی شدن رفتار جانبی جداگر و وابسته شدن شرایط مرزی جداگر و سختی جانبی آن به تغییر شکل های وارده می گردد به همین دلیل تخمین سختی جانبی در این جداگرها متفاوت با جداگرهای متداول می باشد. با توجه به مواردی که ذکر شد بعضی از نمونه های آزمایشگاهی در دامنه های ابتدایی سختی بالایی داشته و همچنین در دامنه 2tr دارای یک سخت شدگی مجدد می باشد به همین خاطر مدل های تحلیلی ارائه شده در قیاس با آنها خطای بالایی داشته بنابراین ملاک طراحی جداگرها نیز بیشتر منحنی های هیستریزس در بازه (1tr, 2tr) می باشد. مدل های تحلیلی Toopchi Nezhad, Karaji, Milani به دلیل اینکه تقریباً 25% از ناحیه ای که جداگر تماس خود را با تکیه گاه های فوقانی و تحتانی از دست داده، به محاسبه سختی جانبی جداگر کمک می کند تطابق خوبی با نمونه های آزمایشگاهی دارند. اما در رابطه Kelly تاثیر مقاطع غلتان در سختی جانبی در نظر گرفته نمی شود به همین دلیل نتایج این مدل در مقایسه با نمونه های آزمایشگاهی ضعیف می باشد. مدل تحلیلی Karaji به دلیل استفاده از ضرایب shape factor و aspect ratio در محاسبه سختی جانبی جداگر، مطابقت بسیار خوبی با نمونه های آزمایشگاهی دارد. رابطه ارائه شده توسط Van Ngo متأثر از مدول برشی موثر و سطح پلان

موثر می باشد که اندازه مدول برشی موثر در دامنه جابجایی های افقی پایین تا $1t_r$ کاهش یافته و بعد از آن ثابت نگه داشته شده است. در مدل تحلیلی Peng با افزایش بعد جداگر، مدول برشی الاستومر، مدول الاستیک لایه های الاستومر و صفحات الیافی، نیروی برشی نیز افزایش یافته اما به ازای افزایش تعداد لایه های الاستومر و ضخامت آن ها، نیروی برشی کاهش میابد در میان پارامترهای به کار رفته در این رابطه تعداد و ضخامت لایه های الاستومر، مدول برشی الاستومر و ابعاد جداگر می توانند مقدار نیروی برشی را به طور قابل توجهی تغییر دهند.

مراجع

1. توپچی نژاد، ح. "جداگرهای الیافی غیر متصل دارای تغییر شکل شبه غلتان پایدار به عنوان نسل جدید جداگرهای لرزه ای الاستومری" دومین کنفرانس ملی مصالح و سازه های نوین در مهندسی عمران، اصفهان، 1392.
2. Kelly, James M. "Analysis of fiber-reinforced elastomeric isolators." *Journal of Seismology and Earthquake Engineering* 2.1 (1999): 19-34.
3. Kelly, James M. "Seismic isolation systems for developing countries." *Earthquake Spectra* 18.3 (2002): 385-406.
4. Toopchi-Nezhad, Hamid, Michael J. Tait, and Robert G. Drysdale. "Testing and modeling of square carbon fiber-reinforced elastomeric seismic isolators." *Structural Control and Health Monitoring: The Official Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring and of the European Association for the Control of Structures* 15.6 (2008): 876-900.
5. طراحی ساختمان ها با جداساز های لرزه ای / مولفین فرزاد نعیم، جیم کلی - تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، 1382.
6. Toopchi-Nezhad, Hamid. "Horizontal stiffness solutions for unbonded fiber reinforced elastomeric bearings." *Structural engineering and mechanics: An international journal* 49.3 (2014): 395-410.
7. Toopchi-Nezhad, H., M. Karaji, and M. Ghotb. "An efficient horizontal stiffness solution for unbonded FREBs." *Proceedings of Academics World 103rd International Conference*. 2018.
8. Russo, Gaetano, Margherita Pauletta, and Andrea Cortesia. "A study on experimental shear behavior of fiber-reinforced elastomeric isolators with various fiber layouts, elastomers and aging conditions." *Engineering Structures* 52 (2013): 422-433.
9. Konstantinidis, Dimitrios, and James M. Kelly. "Two low-cost seismic isolation systems." *15th world conference on earthquake engineering*. Lisbon, Portugal: September. 2012.
10. Van Ngo, Thuyet, Anjan Dutta, and Sajal K. Deb. "Evaluation of horizontal stiffness of fibre-reinforced elastomeric isolators." *Earthquake Engineering & Structural Dynamics* 46.11 (2017): 1747-1767.
11. Habieb, Ahmad Basshofi, Marco Valente, and Gabriele Milani. "Base seismic isolation of a historical masonry church using fiber reinforced elastomeric isolators." *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 120 (2019): 127-145.
12. Peng, T. B., et al. "Pilot study on the horizontal shear behaviour of FRP rubber isolators." *Journal of Vibration and Shock* 28.1 (2009): 127-130.
13. Toopchi-Nezhad, Hamid, Michael J. Tait, and Robert G. Drysdale. "Lateral response evaluation of fiber-reinforced neoprene seismic isolators utilized in an unbonded application." *Journal of Structural Engineering* 134.10 (2008): 1627-1637.
14. Al-Anany, Yasser M., and Michael J. Tait. "Fiber reinforced elastomeric isolators for the seismic isolation of bridges." *Composite Structures* 160 (2017): 300-311.
15. Wu, Yifeng, et al. "The Experimental Study on Mechanical Behavior of Conveyor Belt Rubber Bearings." *Applied Sciences* 10.13 (2020): 4452.
16. Sciascetti, Alexander, and Michael Tait. "Effect of Temperature on the Response of Unbonded Fiber-Reinforced Elastomeric Isolators." *Journal of Structural Engineering* 145.11 (2019): 04019124.