



کد مقاله: ۲-۱۰۶

اثر هندسه ورقهای فولادی جاری شونده بر شکل پذیری قابهای خمشی

حمید مظاهری^۱

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی خمین، hmazaheri@iaukhomein.ac.ir

چکیده

با توجه به لرزه خیز بودن کشور ما ساخت سازه های مقاوم در برابر زلزله اجتناب ناپذیر میباشد. امروزه سعی بر آن است که به جای افزایش سختی و مقاومت سازه، شکل پذیری آن افزایش یافته و با روشهای کنترل فعال و غیر فعال، انرژی کمتری به سایر اجزای سازه تحمیل گردد. بدین ترتیب ضمن کاهش ابعاد اجزای مختلف سازه، خسارات و تلفات ناشی از خرابی سازه ها در زلزله کاهش می یابد. یکی از روشهای ایجاد میرایی تسلیمی در قابهای مهاربندی شده استفاده از ورقهای تسلیم شونده ADAS و یا TADAS در محل اتصال مهاربند V شکل (chevron) به تیر میباشد، نحوه قرارگیری این ورقها و ضخامت آنها میتواند بر رفتار آنها تاثیر داشته باشد. در این تحقیق سعی شده است با تغییر در ضخامت ورقهای تسلیم شونده و تعداد آنها الگوی مناسبی برای تعیین ضخامت بهینه این ورقها تعیین گردد تا با داشتن ارتفاع ورقها بتوان ضخامت بهینه را انتخاب نمود.

کلمات کلیدی: ورقهای تسلیم شونده، انرژی، زلزله، سختی، شکل پذیری.

۱- مقدمه

هدف اصلی استفاده از ورقهای فولادی جاری شونده جذب بخشی از انرژی زلزله و کاهش پاسخ دینامیکی سازه در زلزله های شدید میباشد، پارامترهای بسیاری در میزان انرژی جذب شده و کاهش پاسخ سازه توسط این سیستم موثر میباشد که توجه محققان بسیاری را جلب نموده است. Kelly و همکاران در سال ۱۹۷۲ و Whittaker و همکاران در سال ۱۹۸۹ در دانشگاه برکلی کالیفرنیا تحقیقات بسیاری را در این زمینه انجام دادند. در سال ۱۹۹۲ Tsai و همکاران نتایج آزمایشگاهی و محاسبات عددی را با یکدیگر مقایسه نمودند. [۱]

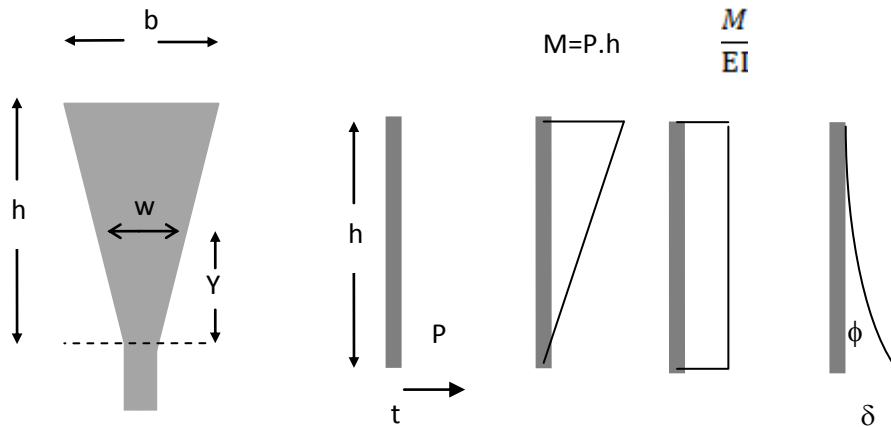
۲- سختی ورقهای جاری شونده مثلثی شکل^۱ (TADAS)

ورقهای TADAS که از یک طرف به مهاربند و از طرف دیگر به سقف سازه متصل است سبب افزایش سختی و میرایی سازه میگردد، رفتار این سیستم زمانی مناسب است که با افزایش اندک در سختی سازه میرایی آن را تا حد زیادی افزایش دهد. شکل مثلثی این ورقها سبب ایجاد

^۱ - [Three angular Added Damping And Stiffness System](#)

انحنای یکسان در سراسر طول ورق و ایجاد مفصل پلاستیک در تمامی طول آن میگردد. سختی سیستم ورقهای تسلیم شونده مطابق رابطه زیر بدست می آید

$$K_d = \frac{n \cdot E \cdot b \cdot t^3}{6 \cdot h^3} \quad (1)$$



شکل (۱): نمودار لنگر خمشی و انحنای ایجاد شده در ورقهای TADAS

استفاده از ورقهای تسلیم شونده و مهاربند به قاب خمشی سبب افزایش سختی قاب میگردد که این افزایش از رابطه زیر قابل محاسبه میباشد.

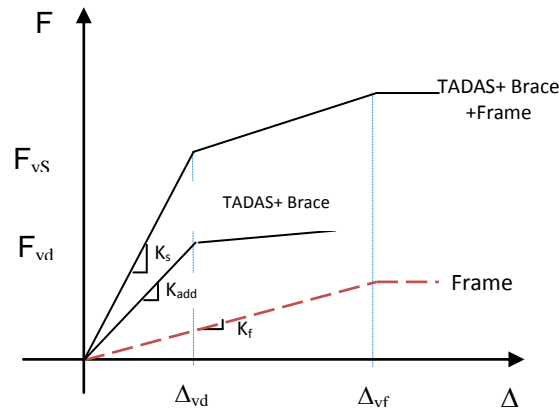
$$K_b = \frac{2EA}{L} (\cos \alpha)^3 \quad K_d = \frac{n \cdot E \cdot b \cdot t^3}{6 \cdot h^3}$$

$$K_{add} = \frac{K_d \cdot K_b}{K_d + K_b}$$

در رابطه فوق K_d سختی ورقها و K_b سختی مهاربند میباشد α زاویه امتداد مهاربند با راستای افقی است. بنابراین سختی طبقه بعد از استفاده از ورقهای تسلیم شونده به مقدار زیر افزایش می یابد.

$$K_s = K_f + K_{add} = K_f (1 + SR) \quad SR = \frac{K_{add}}{K_f}$$

SR ضریبی است که به اندازه آن سختی یک قاب با افزایش سیستم ورقهای تسلیم شونده افزایش می یابد. K_s سختی طبقه و K_f سختی قاب بدون مهاربند و ورق تسلیم شونده میباشد.



شکل (۲): نمودار بار تغییر مکان قاب خمشی قبل و بعد از اضافه شدن ورقهای TADAS

یکی از پارامترهای موثر بر رفتار مناسب ورقهای تسلیم شونده ارتفاع و ضخامت ورقها میباشد، در این تحقیق تاثیر نسبت $\frac{t}{h}$ بر رفتار این ورقها مورد مطالعه قرار گرفته است.

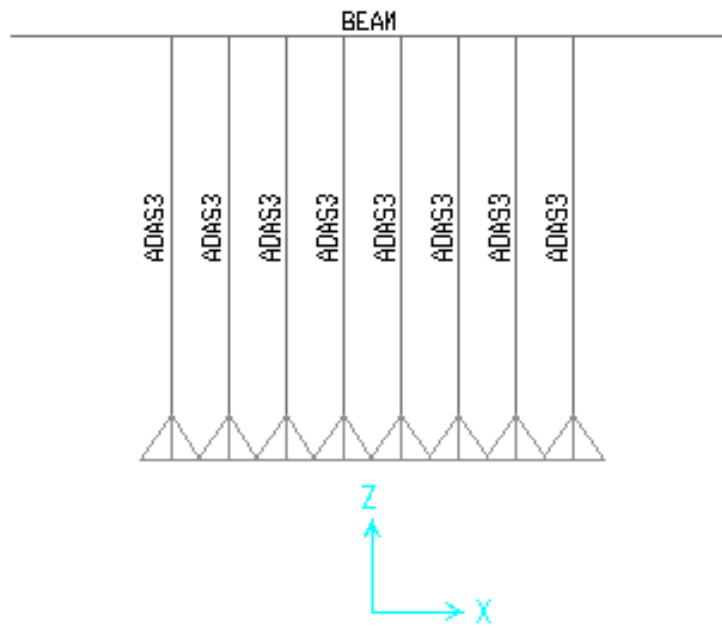
۳- مدل سازی ورقهای جاری شونده

در این تحقیق با استفاده از برنامه SAP2000 اثر ضخامت ورقهای مثلثی شکل TADAS بر پاسخ لرزه ای سازه بررسی میگردد. جهت مدل سازی ورقها از المان frame با مقطع مستطیل شکل غیر یکنواخت استفاده میگردد. محل همپوشانی ورقها با مقطع تیرهای عرضی به صورت صلب معرفی میگردد. برای بررسی دقت مدل سازی به روش فوق دو نمونه از ورقهای مثلثی شکل که بوسیله Tsai et al. در سال ۱۹۹۲ مورد آزمایش قرار گرفته است مدل سازی و نتایج تحلیل خطی با نتایج حاصل از آزمایش مقایسه میگردد.

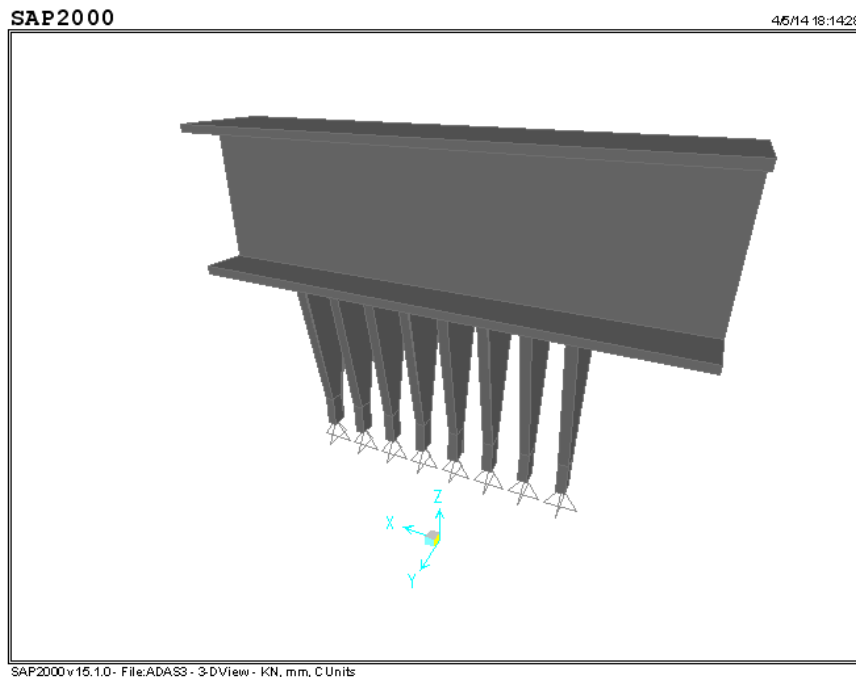
مصالح فولادی مورد استفاده بر اساس استاندارد ASTM از نوع A36 میباشد. که نمودار تنش کرنش تعریف شده برای آن مطابق شکل میباشد. مشخصات هندسی هر یک از نمونه ها و نتایج حاصل از آزمایش بارگذاری رفت و برگشت بر روی نمونه ها مطابق جدول زیر میباشد.

جدول (۱): مشخصات ورقهای آزمایش شده توسط Tsai et al

Name	b (mm)	h (mm)	t (mm)	n	Δ_y (mm)	P_y (KN)		P_u (KN)	
						test	model	test	model
TA1	150	130.2	20	8	1.06	182	207	273	268
TA3	150	305	20	8	5.45	77	92	116	125



شکل (۳): ورقهای TADAS مدل شده در برنامه SAP2000



SAP2000 v15.1.0 - File:ADAS3 - 3-DView - KN, mm, C Units

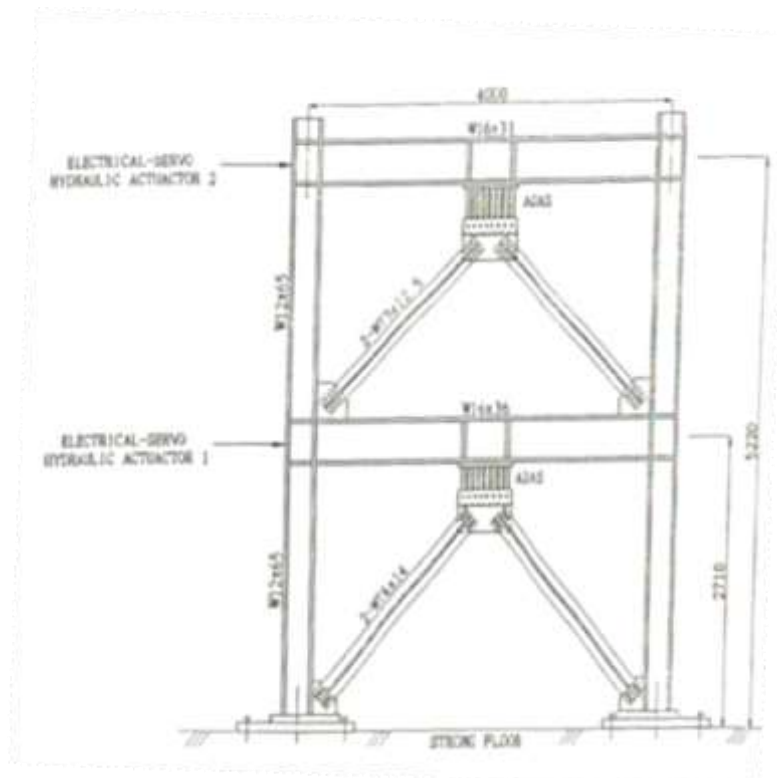
شکل (۴): نمای سه بعدی مدل ورقهای TADAS

جهت بررسی اثر هندسه ورقهای TADAS بر رفتار آنها ضخامت و تعداد ورقها به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که میزان مصالح استفاده شده برای ساخت ورقها در تمام نمونه ها یکسان باشد. مشخصات نمونه های آنالیز شده مطابق جدول زیر میباشد.

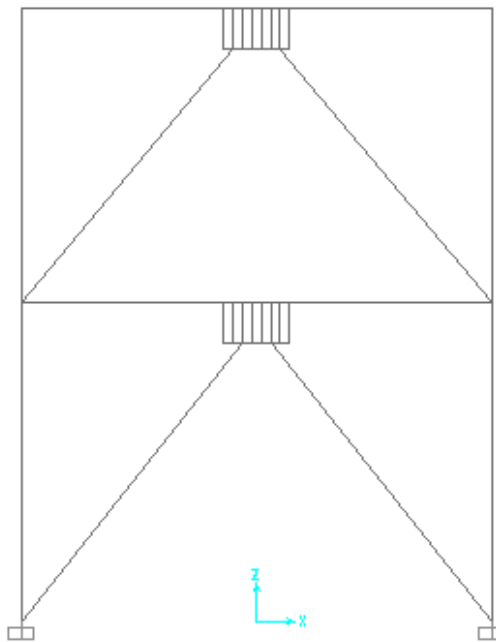
جدول (۲): مشخصات نمونه های مختلف آنالیز شده

name	b (mm)	h (mm)	t (mm)	N	$K_d = \frac{n \cdot E \cdot b \cdot t^3}{6 \cdot h^3}$
TA-10mm	150	130.2	10	16	35996
TA-16mm	150	130.2	16	10	92150
TA-20mm	150	130.2	20	8	143985
TA-26mm	150	130.2	26.7	6	256935
TA-40mm	150	130.2	40	4	575941

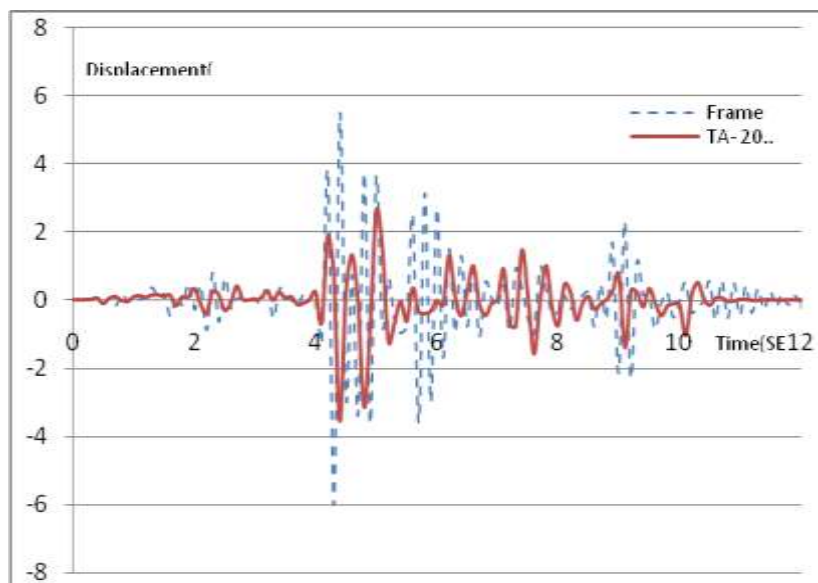
برای مقایسه نمونه های مختلف قاب دو طبقه ای که در آزمایش Tsai و همکاران مورد استفاده قرار گرفته است تحت اثر مولفه شمال - جنوب زلزله استرو آنالیز شده و تغییر مکان طبقه دوم این قاب در حالت های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌گردد.



شکل (۵): قاب دو طبقه در آزمایش Tsai و همکاران



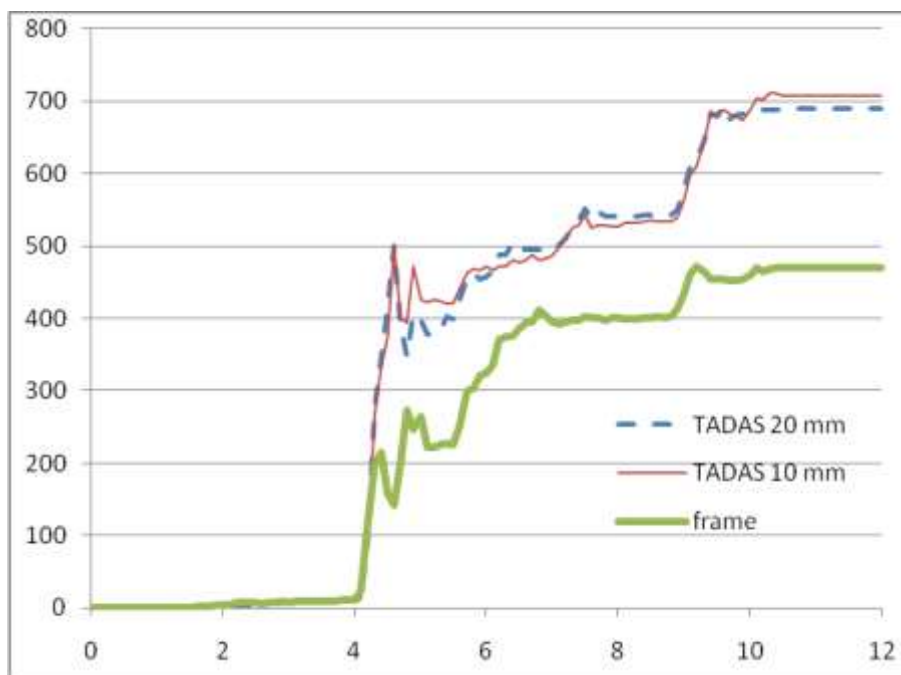
شکل (۶): قاب دو طبقه مدل سازی شده در برنامه Sap2000



شکل (۷): تغییر مکان بام قاب دو طبقه بدون استفاده از ورقهای تسلیم شونده

و با استفاده از ورقهای تسلیم شونده تحت اثر زلزله **Elcentro**

تغییر در ضخامت ورقهای تسلیم شونده به شرط آنکه ضخامت مجموع آنها ثابت باشد تغییر چندانی در انرژی ورودی سازه ایجاد نمیکند، استفاده از ورقها با ضخامت کمتر و تعداد بیشتر سختی و مقاومت افزوده کمتری در سازه ایجاد مینماید ولی انرژی بیشتری را مستهلک نموده و نیاز به مهاربندهای ضعیف تری دارد.



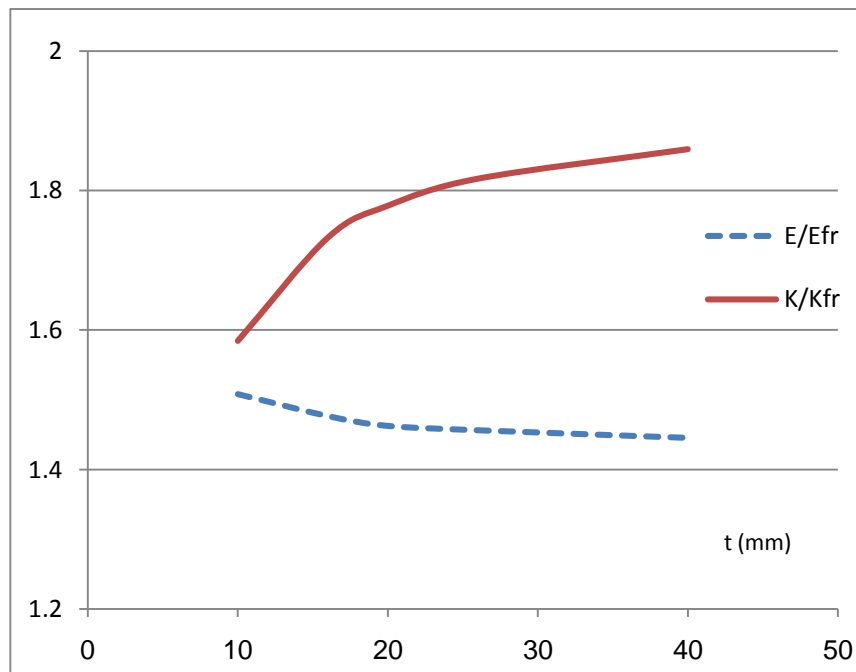
شکل (۷): انرژی ورودی به قاب خمشی بدون مهاربند و همراه با سیستم ورقهای تسلیم شونده ۱۰ و ۲۰ میلیمتر

با افزایش ضخامت ورقهای تسلیم شونده سختی آنها افزایش می یابد ولی از آنجایی که در آنالیزهای انجام شده سطح مقطع مهاربندها ثابت در نظر گرفته شده است بنابراین سختی مهاربند ثابت خواهد بود، سختی مجموع مهاربند و ورق تسلیم شونده که به صورت متوالی به یکدیگر متصل هستند به نسبت سختی ورقها افزایش نخواهد یافت. همین امر سبب میگردد زمان تناوب طبیعی سازه و انرژی ورودی زلزله در نمونه های مختلف تغییر چندانی نداشته باشد. نتایج حاصل از تحلیل قاب دو طبقه با ضخامت متفاوت ورقهای تسلیم شونده در جدول شماره (۳) آورده شده است.

جدول (۴): نتایج حاصل از آنالیز قاب دو طبقه با ورقهای تسلیم شونده مختلف

name	Period (sec)	K_s (N.mm)	$SR=(K_{add}/K_f)$	In put Energy (KN.mm)
frame	0.207	7100	0	471.3
Frame+ TA10mm	0.178	11250	0.58	710.8
Frame+ TA16mm	0.170	12300	0.73	696.0
Frame+ TA20mm	0.167	12625	0.78	693.37
Frame+ TA26mm	0.165	12900	0.816	686.42
Frame+ TA40mm	0.163	13200	0.859	681.28

نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های مختلف در نمودار شکل (۹) ترسیم شده است در این شکل سختی و انرژی نمونه‌های مختلف نسبت به سختی و انرژی ورودی قاب خمشی بدون مهاربند نرمال شده اند.



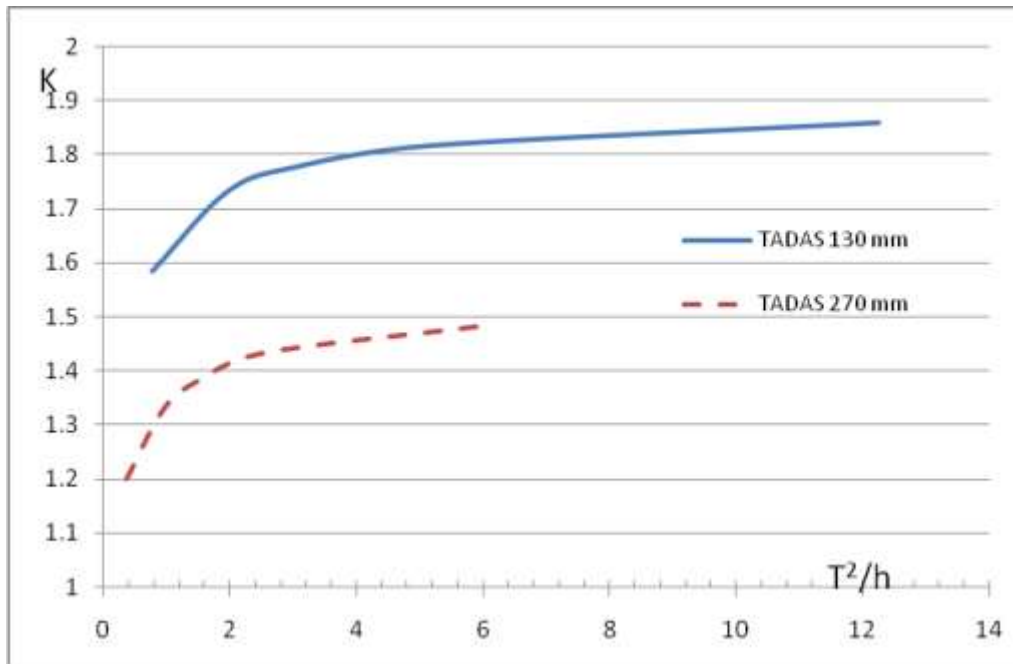
شکل (۹) : نمودار سختی و انرژی ورودی به سازه نسبت به ضخامت ورقهای تسلیم شونده

نمودار فوق نشان میدهد که افزایش ضخامت ورقهای تسلیم شونده سختی کل سازه را افزایش میدهند و در عین حال باعث کاهش انرژی ورودی سازه میگردند. روند کاهش انرژی و افزایش سختی در ضخامتهای پایین بیشتر است و در ضخامتهای بالاتر تاثیر چندانی ندارد. از طرفی ورقهای تسلیم شونده با ضخامت زیاد که میتوان آن را به عنوان مهاربند واگرا با تیر رابط قائم در نظر گرفت دیرتر از ورقها با ضخامت کمتر به حد تسلیم رسیده و لذا اتلاف انرژی در آنها با تاخیر آغاز میگردد از این رو ورقها با ضخامت کمتر مناسب تر به نظر میرسند به شرط آنکه سختی مناسب را تامین نمایند.

در صورتی که سختی قاب همراه با ورقهای تسلیم شونده در برابر نسبت $\frac{t^2}{h}$ ترسیم گردد مقدار مناسب برای این نسبت تقریباً برابر ۲ بدست می‌آید بنابراین میتوان ضخامت مناسب ورقها تسلیم شونده را از رابطه (۶) محاسبه نمود:

$$\frac{t^2}{h} = 2 \Rightarrow t = \sqrt{2h} \quad (3)$$

در این رابطه h ارتفاع ورق تسلیم شونده و t ضخامت آن میباشد که هر دو بر حسب میلی‌متر میباشند.



شکل (۱۰): تعیین ضخامت مناسب برای ورقهای TADAS با ارتفاع 130.2 میلیمتر

۲- نتیجه گیری

انتخاب ضخامت ورقهای تسلیم شونده باید به گونه‌ای باشد که اولاً سختی کافی و مناسبی را برای قاب فراهم نماید و از طرف دیگر شکل پذیری مناسبی هم داشته باشد

اگر در یک سیستم TADAS با ارتفاع مشخص ضخامت و تعداد ورقها را تغییر دهیم به گونه‌ای که مجموع ضخامت آنها ثابت باقی بماند سختی قاب با افزایش ضخامت ورق ابتدا افزایش می‌یابد و سپس ثابت باقی مانده و روند افزایش آن بسیار کم میگردد. ضخامت مناسب ورق را میتوان ضخامتی دانست که قبل از آن سختی افزایش یافته و پس از آن سختی تقریباً ثابت می‌ماند. میتوان رابطه تقریبی زیر را برای ضخامت و ارتفاع ورقهای TADAS در نظر گرفت بنابراین با فرض هر یک از آنها میتوان مقدار تقریبی برای دیگری بدست آورد.

$$t = \sqrt{2h}$$

این رابطه کمک میکند که ابعاد بهینه ورقها انتخاب شود تا ضمن صرف کمترین مصالح، میزان جذب انرژی در سیستم مناسب باشد.

1-Instructional Material Complementing FEMA 451, Design Examples 2007 *Passive Energy Dissipation* 15 – 6

2-Heightwise Distribution of Stiffness Ratio for Optimum Seismic Design of Steel Frames with Metallic-Yielding Dampers. SAMAN BAGHERIa, ALI HADIDI, and ALIREZA ALILOU, *Procedia Engineering* 14 (2011) 2891–2898

3- SAP 2000 Nonlinear Analysis" , computers and structures Inc. Berkeley California USA , ashraf Habibulla,SE. Copyright 1976-2008

4-Design of steel Triangular plat Energy Absorber for Seismic-Resistant Construction, Keh-Chyuau Tsai,M.EERI,Huan-Wei Chen,Ching-ping Hong, and Yung-Feng SU ,Dept. Of Civil Ene.,Natl. Taiwan University

5-Behavior and Performance of Structures Equipped With ADAS &TADAS Dampers (a Comparison with Conventional Structures) ,Seyed Masoud Sajjadi Alehashem, Ali heyhani, and Hassan Pourmohammad, The 14thWorld Conference on Earthquake Engineering October 12-17, 2008, Beijing, China