

ارزیابی همگرایی روابط تئوری کمانش موضعی ومقاومت نهایی صفحات تقویت شده با روش اجزاءمحدود

فرهاد ریاحی^۱، ارسطو ارمغانی^۲، فایق مصطفی نژاد^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد سازه _ دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

f.riyahi@yahoo.com

۲-استادیار گروه مهندسی عمران _ دانشکده فنی دانشگاه تبریز

aarmaghani@tabrizu.ac.ir

۳- دانشجوی کارشناسی _دانشگاه ارومیه

f.mostafanejad@yahoo.com

خلاصه :

موضوع اصلی این مقاله ، بررسی همگرایی بین نتایج روابط تئوری - تجربی با نتایج روش عناصر محدود، برای صفحات تقویت شده با سخت کننده ها، تحت اثر بار محوری فشاری می باشد. بدین منظور تعداد ۹ نمونه با ابعاد هندسی در سه تیپ مورد تحلیل غیر خطی با نرم افزار ABAQUS قرار گرفتند و نتایج روابط تئوری در نمونه هایی که نسبت طول به عرض کمتری دارند همگرایی خوبی را با روش عناصر محدود نشان می دهند. همچنین با افزایش طول صفحه واستفاده از سخت کننده های با ارتفاع بیشتر، می توان مقاومت کمانش موضعی را به طور محدودافزایش دادولی این کار در مقاومت نهایی صفحات تقویت شده تاثیرچندانی ندارد.

کلمات کلیدی :

کمانش موضعی ، مقاومت نهایی ، روش عناصر محدود، صفحات تقویت شده، سخت کننده ها.

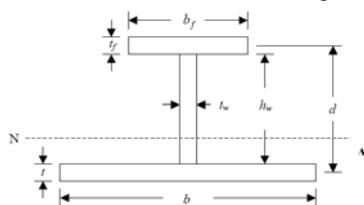
مقدمه :

صفحات تقویت شده بوسیله سخت کننده ها، اعضای اصلی سازه ای در کشتی ها ، سازه های فرا ساحلی و پل ها می باشند. همچنین کاربردهای فراوانی در زمینه های هوانوردی ، شاتل های فضایی را به سبب سادگی در ساخت ، مقاومت بسیار خوب وضریب باربری عالی، دارا می باشند.

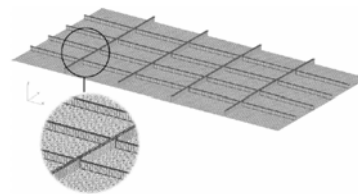
صفحات تقویت شده با سخت کننده ها در یک یا دو جهت قابلیت پیکربندی دارد که اصطلاحاً شبکه تیرهای سنگین^۱ نامیده می شود. مقاومت صفحات با تکیه گاههای ساده با نیروی فشاری درون صفحه ای ، تحت تأثیر نسبت طول به عرض صفحه قرار دارد ، بطوریکه با افزایش این نسبت مقاومت فشاری به سرعت کاهش می یابد.

صفحات تقویت شده با سخت کننده بعلاوه افزایش مقاومت باربری وکاهش وزنشان ، نسبت به سایر سازه ها ،سازه های کارآمد تری هستند، شکل (۱).

سطح مقطع سخت کننده ها در این تحقیق T شکل، انتخاب شده است ، شکل (۲).



شکل (۲)



شکل (۱)

از اولین کارها در زمینه صفحات تقویت شده ، توسط "Riddell, Cox" (1949) صورت پذیرفته که با استفاده از روش انرژی ، مقدار کمانش موضعی را در صفحات تقویت شده با سه سخت کننده طولی و دو سخت کننده عرضی ، بدون در نظر گرفتن اثر پیش محاسبه نمودند[1].

" Klitchieff " (1951) با استفاده از معادلات تیموشنکو مقدار بار بحرانی را برای صفحات با سخت کننده های طولی بدست آورد [2]. " Need leman و Tvergard " (1975) با استفاده از روش اجزاء محدود رفتار پس کمانشی و نقطه دو شاخگی را در صفحات تقویت شده بررسی کردند [3, 4].

"Grondin " (2002) ارزیابی پایداری صفحات تقویت شده با سخت کننده T شکل تحت اثر فشار محوری را با روش عناصر محدود ، انجام داده است [5] .

¹ .Grillage

تئوری هندسی مسئله :

در این تحقیق یکی از پارامترهای مورد بررسی، نسبت طول به عرض می باشد که کلیه نمونه ها نسبت به این پارامتر در سه گروه طبقه بندی شده اند و نسبت به تغییرات ابعاد هندسی سخت کننده ها ، هر گروه به سه زیر شاخه تقسیم شده است که مجموعاً ۹ نمونه ی این تحقیق را شامل می شوند. بدین ترتیب نمونه های هر شاخه در هر گروه فقط در دو پارامتر یکی طول صفحه و دیگری ارتفاع سخت کننده با هم فرق دارند.

نمونه های مدل سازی شده در نرم افزار ABAQUS ، صفحات تقویت شده با سه سخت کننده طولی هستند که سخت کننده ها دارای سطح مقطع T شکل می باشند که مشخصات هندسی آنها در جدول زیر آمده است که به ترتیب برای:

صفحه : a : طول - b : عرض - t : ضخامت - A_p : مساحت صفحه .

سخت کننده : h_w : ارتفاع جان - t_w : ضخامت جان - b_f : عرض جان - t_f : ضخامت بال - A_s : مساحت سخت کننده.

جدول (۱) a=1800 m

نمونه ها	صفحات				سخت کننده ها				A_s
	a	b	t	a/b	h_w	t_w	b_f	t_f	A_p
PS11	۱۸۰۰	۹۰۰	۲۱	۲	۵۰	۲۰	۲۰۰	۳۰	۰/۳۷
PS12	۱۸۰۰	۹۰۰	۲۱	۲	۸۴	۱۲	۱۰۰	۱۵	۰/۱۳
PS13	۱۸۰۰	۹۰۰	۲۱	۲	۵۰	۱۰	۲۰۰	۳۰	۰/۳۴

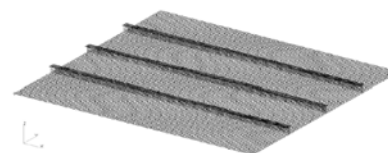
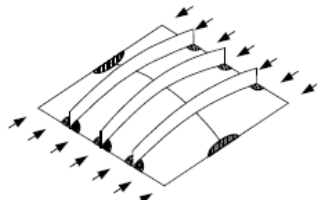
جدول (۲) a=2640 m

نمونه ها	صفحات				سخت کننده ها				A_s
	a	b	t	a/b	h_w	t_w	b_f	t_f	A_p
PS21	۲۶۴۰	۹۰۰	۲۱	۲/۹۳	۸۰	۲۰	۲۰۰	۳۰	۰/۴
PS22	۲۶۴۰	۹۰۰	۲۱	۲/۹۳	۱۲۳	۱۲	۱۰۰	۱۵	۰/۱۶
PS23	۲۶۴۰	۹۰۰	۲۱	۲/۹۳	۷۵	۱۰	۲۰۰	۳۰	۰/۳۶

جدول (۳) a=3600 m

نمونه ها	صفحات				سخت کننده ها				A_s
	a	b	t	a/b	h_w	t_w	b_f	t_f	A_p
PS31	۳۶۰۰	۹۰۰	۲۱	۴	۱۱۲	۲۰	۲۰۰	۳۰	۰/۴۴
PS32	۳۶۰۰	۹۰۰	۲۱	۴	۱۶۶	۱۲	۱۰۰	۱۵	۰/۱۸
PS33	۳۶۰۰	۹۰۰	۲۱	۴	۱۰۶	۱۰	۲۰۰	۳۰	۰/۳۷

نمونه ها در نرم افزار با المان پوسته ای shell چهار گره ای به نام S4 مش بندی شده اند هر پانل صفحه ی تقویت شده با ۳ سخت کننده طولی، به ۸۰×۲۴ المان و جان سخت کننده به ۸۰×۸ المان و بال سخت کننده به ۸۰×۶ المان، مش بندی شده است ، همچنین نیروی اعمالی به صفحات تقویت شده به صورت بار فشاری درون صفحه اعمال می شود که در شکل (۳) نشان داده شده اند.



شکل (۳)

مشخصات مصالح مصرفی :

مشخصه فولاد مصرفی بصورت جدول زیر برای نرم افزار معرفی شده است:

E	= ۲۰۵۸۰۰ Mpa
ν	= ۰/۳
σ_y	= ۳۵۲/۸ Mpa

E : مدول یانگ

ν : ضریب پواسون

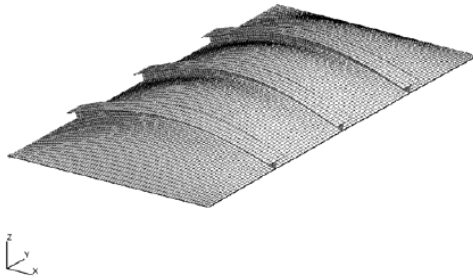
σ_y : تنش تسلیم

رابطه تئوری کمانش موضعی:

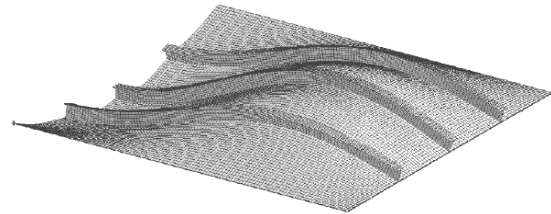
برای محاسبه تنش کمانش موضعی صفحات از معادله Bryan (1891) استفاده نموده ایم [6].

$$\sigma_{local} = \frac{\pi^2 d}{b^2 t} k \quad (1)$$

که ضریب k در محاسبه کمانش بستگی به شرایط تکیه گاهی دارد که در این مسئله $k = 4$ در نظر گرفته شده است
 d : ارتفاع سخت کننده، b : عرض پانل بین سخت کننده در روی صفحه و t : ضخامت صفحه تقویت شده می باشد که در شکل (۲) نشان داده شده اند. تعدادی از مدهای کمانش موضعی در صفحات تقویت شده نیز در اشکال زیر ارایه گردیده:



شکل (۵)



شکل (۴)

با استفاده از رابطه فوق مقدار تنش کمانش موضعی برای تمام نمونه ها محاسبه گردید [6]. سپس نمونه ها در نرم افزار بصورت غیر خطی تحلیل شده اند و نتایج حاصله برای مقایسه در جداول زیر ارائه می شود:

جدول (۴)

نمونه ها	$\sigma_{buck,fem}$	σ_{local}	$\frac{\sigma_{local}}{\sigma_{buck,fem}}$
PS11	۴۹۴	۵۱۱	۱/۰۳۵
PS12	۴۲۸	۴۱۰	۰/۹۵۷
PS13	۴۴۵	۴۴۶	۱/۰۰۲
			۰/۹۹۸

جدول (۵)

نمونه ها	$\sigma_{buck,fem}$	σ_{local}	$\frac{\sigma_{local}}{\sigma_{buck,fem}}$
PS21	۵۰۲	۵۰۶	۱/۰۰۹
PS22	۴۳۲	۴۰۹	۰/۹۴۷
PS23	۴۴۲	۴۳۸	۰/۹۹۲
			۰/۹۸۲

جدول (۶)

نمونه ها	$\sigma_{buck,fem}$	σ_{local}	$\frac{\sigma_{local}}{\sigma_{buck,fem}}$
PS31	۵۰۱	۵۰۲	۱/۰۰۲
PS32	۴۳۲	۴۰۹	۰/۹۴۶
PS33	۴۴۰	۴۳۲	۰/۹۸۲
			۰/۹۴۷

مقاومت کمانشی صفحات با تکیه گاههای ساده با نیروی فشاری درون صفحه ای، تحت تأثیر نسبت طول به عرض صفحه قرار دارد، بطوریکه با افزایش طول این صفحات مقاومت کمانشی آنها به سرعت کاهش می یابد.

در نمونه های: PS11، PS21، PS31 و PS32، با افزایش طول صفحه استفاده از همان سخت کننده های اولیه اما با ارتفاع بیشتر می توان مقاومت کمانشی را افزایش داد ولی این کار همیشه مفید نخواهد بود بطوریکه در نمونه PS31، با آنکه ارتفاع سخت کننده ها افزایش یافت ولی

مقاومت کمانشی صفحه کاهش می یابد. همچنین در نمونه های: PS13، PS23 و PS33، مشاهده می شود که با افزایش طول صفحه استفاده از همان سخت کننده های اولیه اما با ارتفاع بیشتر، مقاومت نهایی کمانش صفحه کاهش می یابد و عدم کارایی روش افزایش ارتفاع سخت کننده ها مشهود است. بنابراین به جای افزایش ارتفاع سخت کننده ها می توان تعداد آنها را افزایش داد. در مجموع نتایج همگرایی خوبی را بین نتایج حاصل از روابط Bryan و نرم افزار المان محدود ABAQUS بیان می کند. از میانگین تطابق سازی نمونه ها می توان نتیجه گرفت که پارامتر نسبت طول به عرض صفحه تاثیر بسزایی در افزایش همگرایی دارد بطوریکه با نسبت طول به عرض کمتر، همگرایی در نمونه ها بارزتر است. همچنین می توان نتیجه گرفت که رابطه تجربی Bryan برای نمونه های با ابعاد مساوی جوابهای دقیقی را ارائه می نماید.

محاسبه مقاومت نهایی صفحات تقویت شده:

بدین منظور از روش ورق های ارتوتروپیک با تغییر شکل های زیاد استفاده می شود که در این حالت مقاومت نهایی با استفاده از رابطه Troitsky (1976) بدست می آید مزیت این روش نسبت به سایر روشها این است که الگوی تنش غشایی ورق در آن در نظر گرفته شده است که در سایر روشها نادیده گرفته شده است [7,8]. در سال 2003 Thayamballi, Paik رابطه اصلاحی برای معادله ارائه شده توسط Troitsky ارائه دادند که در این معادله تاثیرات ناکاملی اولیه، شرایط مرزی و بارهای اعمالی لحاظ گردید که اعمال ضرایبی همچون A_m : ضریب تغییر شکل جانبی اولیه، A_{om} : ضریب کمانش تغییر شکلهای جانبی اولین مد کمانش، در آن قابل توجه می باشد [9,10,11].

$$\left(\frac{\sigma_{xb}}{\sigma_y}\right)^2 - \left(\frac{\sigma_{xb}}{\sigma_y}\right)\left(\frac{\sigma_{yb}}{\sigma_y}\right) + \left(\frac{\sigma_{yb}}{\sigma_y}\right)^2 = 1 \quad (2)$$

$$\sigma_{xb} = \sigma_{xav} - \rho_x \frac{m^2 \pi^2 E_x A_M (A_M + 2A_{OM})}{8a^2} - E_x \frac{t_{eq}}{2} \frac{(A_M + A_{OM})}{1 - \nu_x \nu_y} \left[\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \nu_y \left(\frac{\pi}{B}\right)^2 \right]$$

$$\sigma_{yb} = -\rho_x \frac{\pi^2 E_x A_M (A_M + 2A_{OM})}{8b^2} - E_y \frac{t_{eq}}{2} \frac{(A_M + A_{OM})}{1 - \nu_x \nu_y} \left[\nu_x \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{B}\right)^2 \right]$$

$$\sigma_{xav} = \frac{1}{B} \int \sigma_x dy$$

ρ_x : ضریب تصحیح تغییر شکل های

m : تعداد نیم موجهای کمانشی

E_x, E_y : مقدار میانگین مدول یانگ ورق های ارتوتروپیک در دو جهت متعامد X,Y

ν_x, ν_y : مقدار میانگین ضریب پواسون ورق های ارتوتروپیک در دو جهت متعامد X,Y

t_{eq} : ضخامت معادل ورق

B : عرض پانل صفحه سخت کننده ها

با استفاده از رابطه فوق مقادیر تنش نهایی صفحات تقویت شده محاسبه و با نتایج آنالیز عددی در جداول زیر مقایسه گردیده است:

جدول (۷)

نمونه ها	$\frac{\sigma_{ult,FEM}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{urth,plate}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{urth,plate}}{\sigma_{ult,FEM}}$
PS11	۰/۷۸	۰/۸۳	۱/۰۶۶
PS12	۰/۶۸	۰/۸۳	۱/۲۱۶
PS13	۰/۷۵	۰/۸۳	۱/۱۱۴
			۱/۱۳۲

جدول (۸)

نمونه ها	$\frac{\sigma_{ult,FEM}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{urth,plate}}{\sigma_y}$	$\frac{\sigma_{urth,plate}}{\sigma_{ult,FEM}}$
PS21	۰/۷۷	۰/۸۷	۱/۱۳۰
PS22	۰/۶۸	۰/۸۷	۱/۲۹۰
PS23	۰/۷۲	۰/۸۷	۱/۲۰۴
			۱/۲۰۸

نمونه ها	$\sigma_{ult,FEM}$	$\sigma_{urth,plate}$	$\sigma_{urth,plate}$
	σ_y	σ_y	$\sigma_{ult,FEM}$
PS31	۰/۷۸	۰/۹۰	۱/۱۶۵
PS32	۰/۷۰	۰/۹۱	۱/۲۹۷
PS33	۰/۷۴	۰/۹۰	۱/۲۴
			۱/۲۲۷

دراکثر نمونه ها با افزایش طول صفحه و استفاده از همان سخت کننده های اولیه اما با ارتفاع بیشتر، مقاومت نهایی تغییر چندانی ننموده و حتی مقادیر بدست آمده از رابطه تئوری مقاومت نهایی، برای نمونه هایی که ابعاد صفحه یکسان دارند، ثابت است، بنابراین افزایش ارتفاع سخت کننده هادر مقاومت نهایی صفحات تأثیری قابل توجهی ندارند. نتایج رابطه تئوری مقاومت نهایی برای صفحات یکسان با سخت کننده های متفاوت نشان از عدم دقت کافی این رابطه می دهد در حالیکه نتایج روش عناصر محدود از دقت قابل قبولی برخوردارند.

نتیجه گیری:

۱- در این تحقیق به بررسی درستی روابط ارائه شده توسط Bryan (1891) برای تنش کمانش موضعی و رابطه اصلاحی Troitsky برای تنش مقاومت نهایی، صفحات تقویت شده با سه سخت کننده طولی با مقایسه خروجی این روابط با خروجی نرم افزار ABAQUS به روش اجزاء محدود پرداخته ایم و پارامتر تأثیرگذار را نسبت طول به عرض صفحه ی تقویت شده در نظر گرفتیم و متوجه شدیم که صحت و درستی این روابط برای $\frac{a}{b} < 2$ بسیار مناسب و برای $\frac{a}{b} > 2$ دارای خطا می باشند.

۲- با بررسی پارامتر $\frac{A_{stiffener}}{A_{plat}}$ متوجه شدیم که با افزایش این نسبت مقادیر تنش کمانش موضعی و تنش مقاومت نهایی افزایش می یابد ولی هنوز معادله ای که این رابطه را بیان نماید، بدست نیامده است. زیرا پارامترهای ابعاد هندسی صفحه و سخت کننده در آن تأثیرگذار و لذا متغیرهای معادله ی مورد نیاز بسیار زیاد می گردد.

۳- مقاومت کمانشی صفحات با تکیه گاههای ساده با نیروی فشاری درون صفحه ای، تحت تأثیر نسبت طول به عرض صفحه قرار دارد، بطوریکه با افزایش طول این صفحات مقاومت کمانشی آنها به سرعت کاهش می یابد.

۴- روابط تجربی برگرفته از آزمایشات در مورد صفحات تقویت شده به علت محدودیت های آزمایشگاهی، کاربردهای محدودی دارند ولی استفاده از نرم افزارهای امان محدود امکان، محاسبه ی کلیه ی پارامترها را با متغیرهای نامحدود میسر ساخته، لذا در تحقیقات به عنوان ابزاری ممتاز شناخته شده است.

مرجع:

- 1- Cox, H.L. and Riddell, J.R. (1949). Buckling of a longitudinally stiffened flat panel, Aeronaut, Vol.1, pp.225-244
- 2- Klitchieff, J.M. (1951). On the stability of plates reinforced by longitudinal ribs J. Applied Mechanics, 18(4), pp. 364-366
- 3- Tvergaard, V. (1973). Influence of post-buckling behavior on optimum design of stiffened panels, Int. J. Solids Structures, Vol.9, pp.1519
- 4- Tvergaard, V., Needleman, A. (1975). Buckling of eccentrically stiffened elastic- plastic panels on two simple supports or multiply supported, Int. J. Solids Structures, Vol.11, pp.647-663.
- 5- Sheikh, I.A., Grondin, G.Y. and Elwi, A.E. (2002). Stiffened steel plates under uniaxial compression, J. of Constructional Steel Research, Vol.58, pp.1061-1080.
- 6- Bryan, G.H. (1891). Proc. London Math. Soc., Vol.22, pp.54
- 7- Timoshenko, S. (1936). Theory of elastic stability, McGraw Hill, New York.
- 8- Troitsky, M.S. (1976). Stiffened panels : bending, stability and vibrations, Elsevier, Amsterdam
- 9- Paik, J.K., Thayamballi, A.K. (2000). Buckling strength of steel plating with elastically restraining edges, Thin-Walled Structures, Vol.37, pp.27-55.
- 10- Paik, J.K. (2001). ULSAP user's manual, Proteus Engineering, MD.
- 11- Paik, J.K., Thayamballi, A.K. (2003). Ultimate Limit State Design of Steel Plated Structures, John Wiley & Sons.
- 12- Chen, Y. (2003). Ultimate strength analysis of stiffened panels using a beam- column method, PhD. dissertation, Department of Aerospace and Ocean Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, January
- 13- Hughes, O.F. (1988). Ship structural design, a rationally-based, computer-aided optimization approach, SNAME, New Jersey.
- 14- Hughes, O.F. and Ghosh, B. Improved Prediction of Simultaneous Local and Overall Buckling of Stiffened Panels, communicated for publication in Thin-Walled Structures.