

تحلیل الاستوپلاستیک ورق خمیده تحت اثر بار فشاری

پدرام عدالت^{۷۶}، محمدرضا خدمتی^{۷۷}

تهران دانشگاه صنعتی امیر کبیر دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی

P_edalat@cic.aut.ac.ir

چکیده

در این تحقیق به تحلیل الاستوپلاستیک غیرخطی ورق خمیده محل اتصال دیواره به کف (بیلج^{۷۸}) پراخته شده. تحلیل انجام شده در محیط نرم افزار اجزای حدود بر روی مدل هایی با ابعاد و مشخصات مکانیکی مختلف می باشد. از نتایج این تحلیل استخراج منحنی تنش و کرنش است. با مطالعه این منحنی ها برای مدل با مشخصات ابعادی و مکانیکی متغیر، تاثیر هر یک از پارامترهای موثر بر رفتار این منحنی مطالعه و تفسیر می شود. مشاهده می شود که رفتار این منحنی ها عموماً از دو بخش خطی و غیرخطی تشکیل شده اند که بخش خطی آن با شیبی برابر با مدول الاستیسیته ثابت برای هر کدام از حالات و مدل های در نظر گرفته شده است. بخش دیگر، بخش غیرخطی می باشد که در این بخش برای ضخامت های برابر و تغییر تنش جاری شدن با حالتی که تنش جاری شدن را ثابت نگه داشته و تغییر در ضخامت اعمال می شود، از لحاظ شیب نزول نمودار، رفتاری متفاوت دارد.

کلمات کلیدی: ورق خمیده- تحلیل الاستوپلاستیک غیرخطی- تغییر شکل اولیه- تنش نهایی-

شروع تسلیم شدگی- کمانش- پس از کمانش

⁷⁶ - دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی معماری کشتی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

⁷⁷ - دانشیار دانشکده مهندسی کشتی سازی و صنایع دریایی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

مقدمه

تحلیل استحکام طولی کشتی معیاری مناسب جهت تخمین اطمینان کاربری کشتی در معرض بارهای وارده می باشد. از جمله مهمترین این بارها می توان گشتاور خمشی مقطع میانی نام برد. در این تحلیل سازه‌ای عمدتاً کشتی را به صورت تیری مدل می‌نمایند. نحوه مدل نمودن این تیر و میزان دقت در مدل سازی آن، تاثیر مستقیم بر دقت نتایج و هم گرایی آن با واقعیت دارد.

از جمله ساده سازی هایی که در مدل نمودن این تیر انجام می‌پذیرد، گوشه دار در نظر گرفتن محل اتصال دیوارها به عرشه و کف می باشد که این با واقعیت خمیده بودن ورق اتصال در آن محل متفاوت است. در اثر این ساده سازی مود خرابی ورق خمیده محل اتصال بین دیواره با عرشه و با کف نادیده گرفته می شود.

در این تحقیق سعی بر استخراج منحنی های تنش-کرنش بی بعد برای جزء سازه ای ورق بیلج که واسط اتصال دیوار به کف می باشد، شده است. نمودارهای استخراج شده بر اساس نتایج حاصل شده از تحلیل مدل با ابعاد هندسی متفاوت و خواص مکانیکی متغیر می باشد.

مدل برای تحلیل

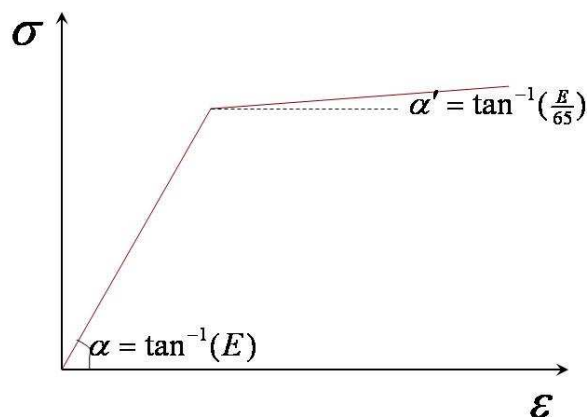
مدل در نظر گرفته شده در این تحقیق بخشی از پوسته یک استوانه به شعاع $1800 [mm]$ و طول $2250 [mm]$ می باشد. ضخامت متغییر ورق مورد نظر با توجه به مقادیر $9,10,12,14,16 [mm]$ و نیز مقدار تنش جاری شدن با توجه به مقادیر $235.2, 274.4, 313.6 [MPa]$ مقدار دهی شده است. مشخصات در نظر گرفته شده برای ورق مذکور در این تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است.

از آنجایی که در این تحقیق از تحلیل الاستو پلاستیک غیرخطی استفاده شده است، لذا منحنی تنش کرنش هر کدام از المان ها را به صورت Bilinear فرض شده است، که با توجه به کوچک

بودن المان ها، فرضی با خطای مورد قبول می باشد. نمایی از منحنی تنش- کرنش در نظر گرفته شده برای المان ها در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات هندسی و مکانیکی مدل مورد مطالعه

$Length (L) [mm]$	2250
$Radius (R) [mm]$	1800
$Thickness (t) [mm]$	9,10,12,14,16
$Yilding Stress (\sigma_y) [MPa]$	235.2,274.4,313.6
$Young's Modulus (E) [MPa]$	206000



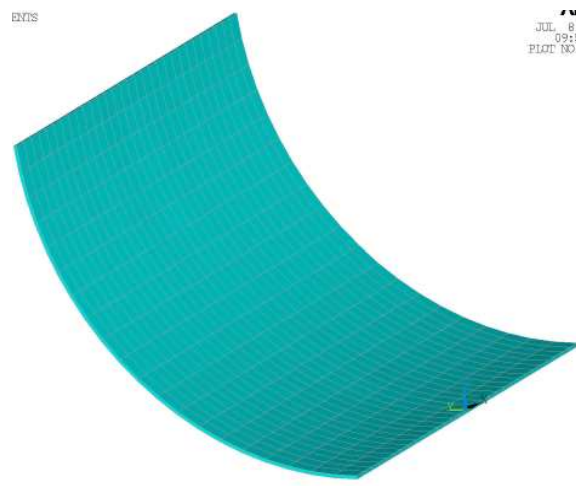
شکل ۱. رفتار مکانیکی در نظر گرفته شده برای هر المان

انجام تحلیل غیرخطی نیاز به اعمال یک تغییر شکل اولیه دارد. الگوی تغییر شکل اولیه اعمال شده بر روی ورق مورد نظر با توجه به رابطه (۱) در نظر گرفته شده است. که در آن، $\beta = 90^\circ$ ، $A_{0mn} = t/100$ ، $m = 1,3,5,7,9,11$ و $n = 1,3$ می باشند. در راستای شعاع استوانه مفروض می باشد بدین معنی که در هر نقطه از سطح ورق بر آن مماس است.

(۱)

$$w_0 = \sum_m \sum_n A_{0nm} \sin\left(\frac{m\pi x}{L}\right) \sin\left(\frac{n\pi\theta}{\beta}\right)$$

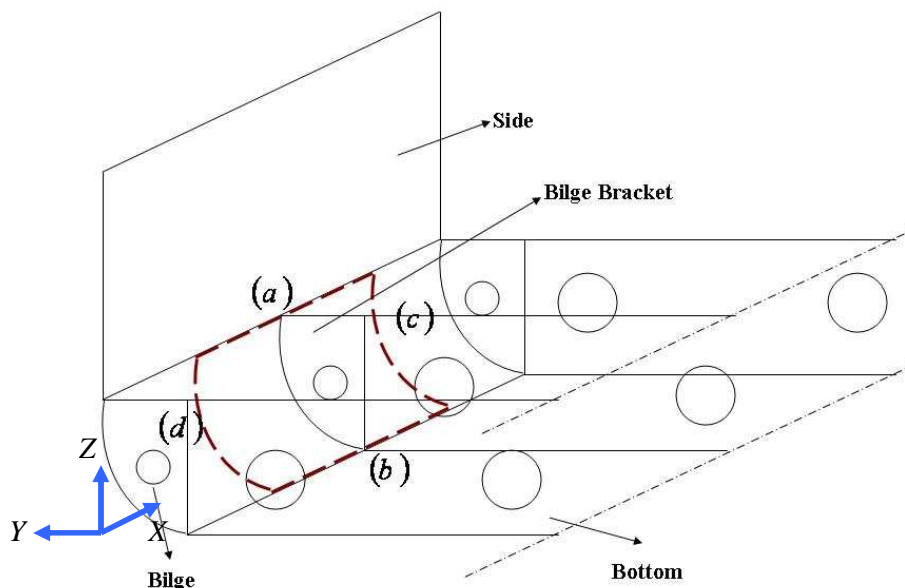
نمایی از مدل ایجاد شده در محیط نرم افزار المان محدود در شکل (۲) ارائه شده است.



شکل ۲. نمایی از مدل ایجاد شده در محیط نرم افزار المان محدود

شرایط مرزی و بارگذاری

با توجه به این که وسعت مدل که از طرف بالا به دیواره، از پایین به کف شناور و نیز از اطراف در محل میانه فاصله بین تقویت کننده های عرضی و از طرفی نیز یک برکت نیز در وسط مدل قرار دارد، شرایط مرزی اعمال شده به شرح زیر با توجه به شکل (۳) که موقعیت قرارگیری مدل را در شناور نشان می دهد، ارائه می گردد.

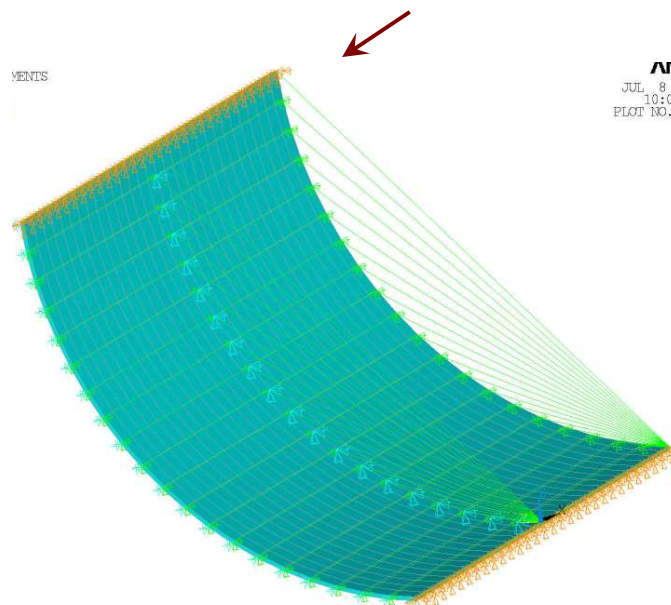


شکل ۳. موقعیت قرارگیری مدل مورد بررسی و المان های اطراف آن

حرکت انتقالی گره های قرار گرفته بر روی ضلع (a) در راستای Z به هم کوپل شده اند و نیز تمامی حرکات دورانی این گره ها حول هر سه محور مقید و صفر در نظر گرفته شده است. حرکت انتقالی گره های قرار گرفته بر روی ضلع (b) در راستای Y به هم کوپل شده اند و نیز تمامی حرکات دورانی این گره ها حول هر سه محور مقید و صفر در نظر گرفته شده است. حرکت انتقالی تمامی گره های قرار گرفته بر روی ضلع (c) در راستای X به هم کوپل شده و حرکت انتقالی گره های موجود بر روی ضلع (d) در راستای X مقید و صفر در نظر گرفته شده است و نیز گره های قرار گرفته شده بر روی اضلاع (c,d) دارای شرایط مرزی پرئودیک می باشند.

شرایط مرزی پرئودیک به این صورت اعمال می شود که درجات آزادی دو گره انتهایی قرار گرفته شده در امتداد محور X ، در راستای محورهای Y و Z و نیز حول هر سه محور مختصات با هم کوپل شده اند.

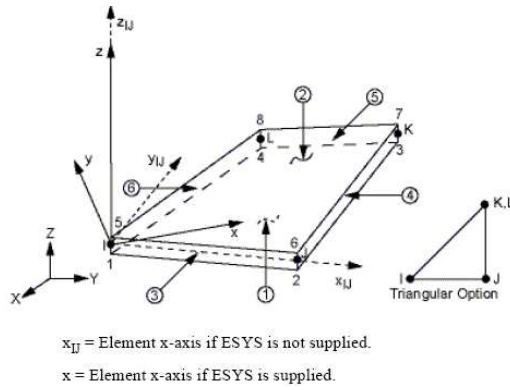
به علت این که در این تحقیق منحنی تنش-کرنش در حالت فشار مورد مطالعه می باشد، بار متمرکز فشاری بر روی گره محل تقاطع دو ضلع (a) و (c) اعمال شده است. نمایی از اعمال شرایط مرزی و بارگذاری در شکل (۴) ارائه شده است.



شکل ۴. نمایی از اعمال شرایط مرزی و بارگذاری

المان مورد استفاده

در این تحقیق جهت مدل سازی در فضای نرم افزار المان محدود (*ANSYS*) از المان *SHELL43* استفاده شده است. این المان دارای چهار گره و در هر گره دارای شش درجه آزادی می باشد. همچنین مناسب جهت تحلیل های الاستو پلاستیک و تغییر شکل های بزرگ است. نمایی از این المان در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل ۵. نمایی از المان SHELL43

نتایج

نتایج بدست آمده بر اساس مطالعه اثرات تغییرات ضخامت بر روی نمودار منحنی تنش-کرنش و نیز بر روی نقطه شروع تسلیم شدگی و نیز تغییرات تنش جاری شدن بر روی پارامترهای ذکر شده به سه دسته کلی زیر تقسیم می گردد.

دسته اول: تاثیر تغییرات ضخامت بر رفتار منحنی تنش-کرنش

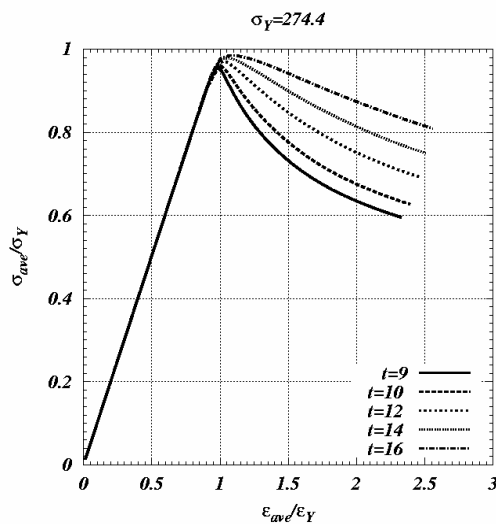
نمودارهای ارائه شده در این قسمت بر اساس تنش تسلیم دسته بندی و بر روی هرکدام از این نمودارها تاثیر تغییرات ضخامت مطالعه شده است. همان طور که در اشکال (۶) الی (۸) مشاهده می شود، با افزایش ضخامت ورق منطقه مورد بررسی نرخ نزولی نمودار پس از نقطه پیک کاهش می یابد و همچنین نقطه پیک هم به سمت بالا جابجا می شود.

دسته دوم: تاثیر تغییرات تنش جاری شدن بر رفتار منحنی تنش-کرنش

نمودارهای ارائه شده در این قسمت بر اساس ضخامت ورق دسته بندی و بر روی هرکدام از این نمودارها تاثیر تغییرات در تنش تسلیم مطالعه شده است. نتایج این قسمت در نمودارهای اشکال (۹) الی (۱۳) ارائه شده است.

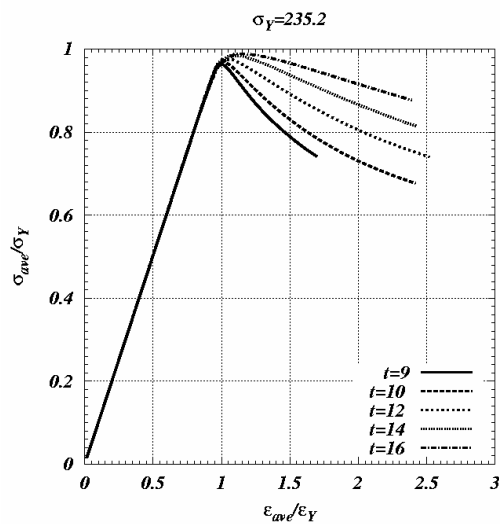
دسته سوم: تاثیر تغییرات در ضخامت و تنش جاری شدن بر نقطه شروع تسلیم شدگی

تاثیر تغییرات در دو پارامتر ضخامت و تنش جاری شدن را بر روی نقطه شروع تسلیم شدگی می توان در نمودار شکل (۱۴) مشاهده نمود. همان طور که در نمودار مورد نظر مشاهده می شود، تاثیر این تغییرات بر روی نقطه شروع تسلیم شدگی در حد $\pm 5\%$ می باشد که شاید این تغییرات ناشی از میزان دقت در محاسبات و بیش از آن ناشی از استخراج نتایج باشد.



شکل ۷. نمودار تنش-کرنش برای

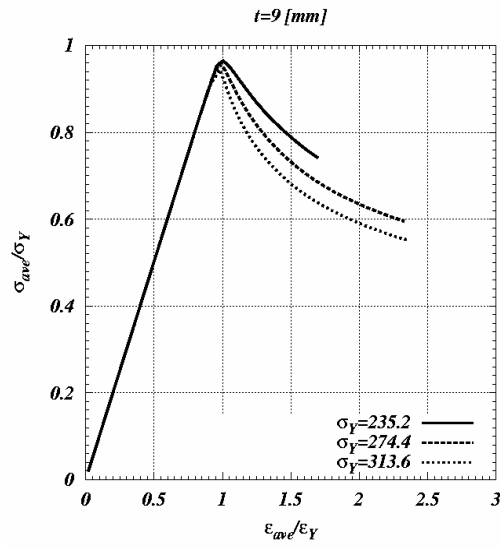
$$\sigma_y = 274.4 [MPa]$$



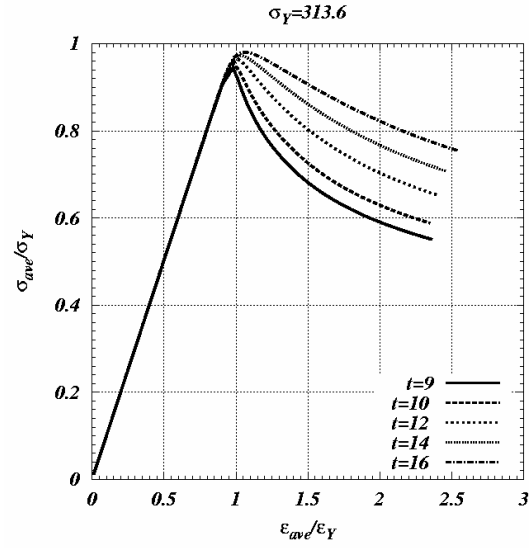
شکل ۶. نمودار تنش-کرنش برای حالت

$$\sigma_y = 235.2 [MPa]$$

حالت



شکل ۹. نمودار تنش-کرنش برای

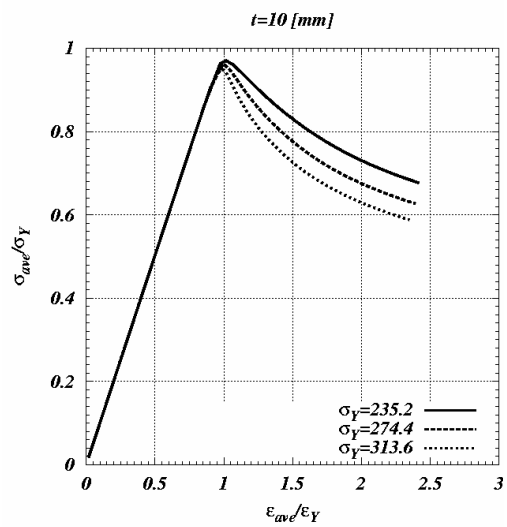
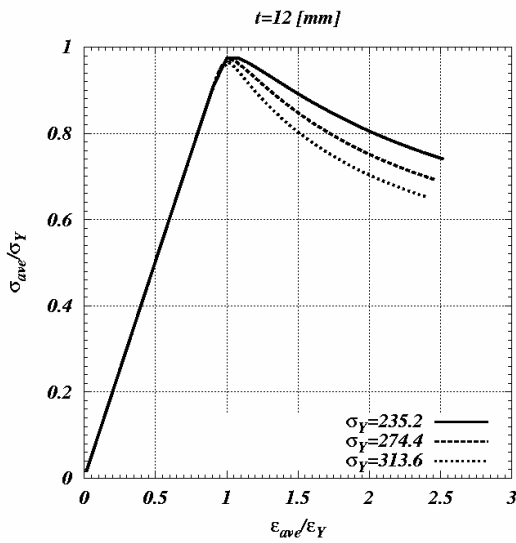


شکل ۸. نمودار تنش-کرنش برای حالت

حالت

$$t = 9[mm]$$

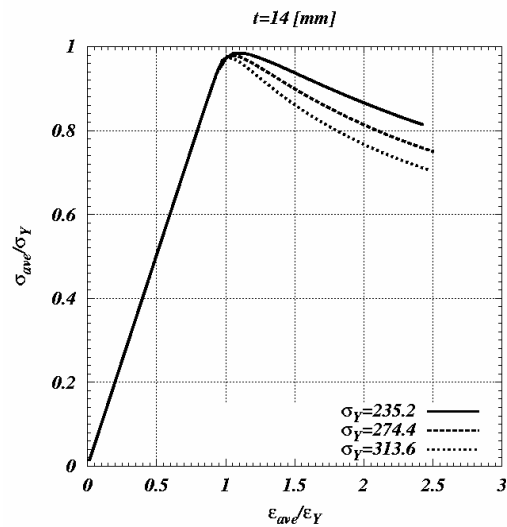
$$\sigma_Y = 313.6[MPa]$$



شکل ۱۰. نمودار تنش-کرنش برای حالت

حالت

$$t = 10 [mm]$$

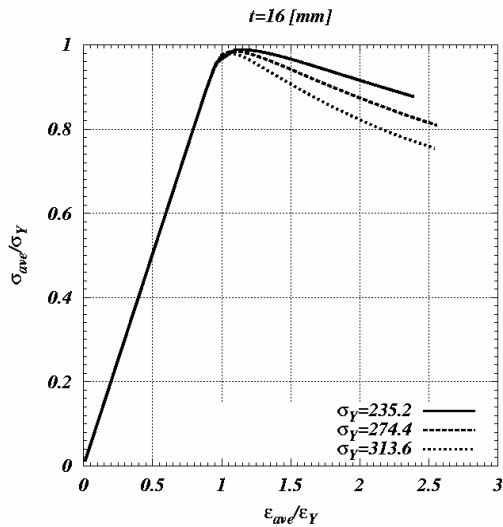


شکل ۱۲. نمودار تنش-کرنش برای حالت

$$t = 14 [mm]$$

شکل ۱۱. نمودار تنش-کرنش برای

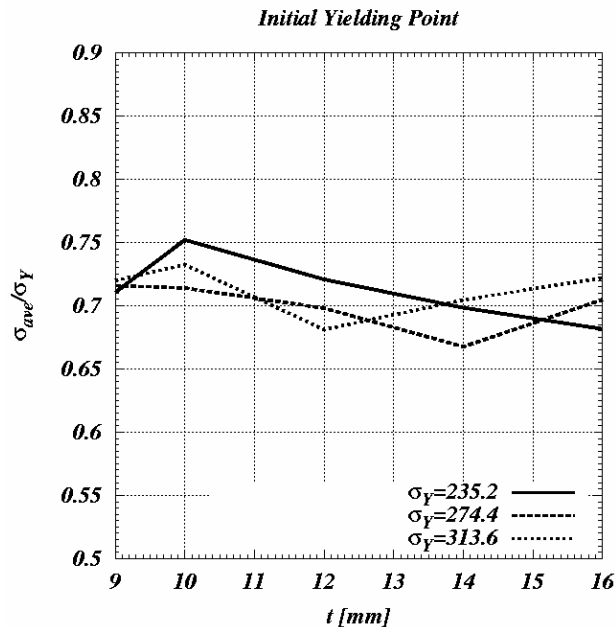
$$t = 12 [mm]$$



شکل ۱۳. نمودار تنش-کرنش برای حالت

$$t = 16 [mm]$$

همان طور که در نمودارهای (۱۰) الی (۱۴) مشاهده می شود، با افزایش تنش تسلیم شدگی در یک ضخامت ثابت، نرخ نزولی پس از نقطه پیک افزایش می یابد و بر خلاف حالت قبلی محل نقطه پیک ثابت می ماند.



شکل ۱۴. نمودار تاثیر تغییرات در ضخامت و تنش جاری شدن بر نقطه شروع تسلیم شدگی

نتیجه گیری و بحث

- ❖ با ثابت در نظر گرفتن تنش تسلیم با افزایش ضخامت ورق مورد تحلیل، شیب بخش نزولی نمودار کاهش یافته این در حالتی است که بخش صعودی نمودار برای تمامی ضخامت ها یکسان است و تغییرات در ناحیه مذکور به صورت خطی می باشد.
- ❖ در یک ضخامت ثابت با تغییر در تنش تسلیم، افزایش نرخ نزولی در بخش پس از کمانشی مشاهده می شود. و در این حالت نیز بخش قبل از کمانش و خطی نمودار در هر سه حالت بر هم منطبق است.
- ❖ با توجه به نمودارهای ارائه شده، شیب بخش خطی نمودارهای تنش-کرنش واحد می باشد. که با توجه به بی بعد سازی محورهای نمودار، در واقع شیب نمودار تنش-کرنش متوسط نیز در ناحیه خطی همان مدول الاستیسیته می باشد.

❖ با توجه به نمودار شکل (۱۵)، مشاهده می شود که تغییر در ضخامت و نیز تنش تسلیم تأثیری در حدود $\pm 5\%$ در مقدار تنش تسلیم اولیه دارد که تقریباً می توان از این تغییر اندک چشم پوشی نمود و آن را ناشی از خطاهای استخراج نتایج دانست.

مراجع

- [1] Ship structural Design,
- [2] Theory of Elastic Stability, Stephen P.Timoshenko,Second Editopn,1963
- [3] ANSYS user manual, Version ۱۰
- [4] Fujita, Y., Nomoto, T., Niho, O. and Yoshie, A.(1979). Ultimate Strength of Rectangular Plates Subjected to Combined Loading (2nd Report) – Rectangular Plates under Compression and Lateral Pressure. J.
- [5] Soc. Naval Arch. of Japan, Vol. 146, 289-297. (in Japanese).
Smith,C.S.(1977).
Influence of Local Compressive Failure on Ultimate Longitudinal Strength of a Ship's Hull. Int. Symp. on PRADS, A-10,72-79.
- [6] Yao, T. and Nikolov, P.I.(1992). Progressive Collapse Analysis of a Ship's Hull under Longitudinal Bending (2nd Report). J. Soc. Naval Arch. of Japan Vol.172, 437-446.
- [7] Yao, T. (2000). Report of Special Task Committee VI.2 Ultimate Hull Girder Strength. 14th ISSC, Vol.2, 321-391.
- [8] Yao,T. Fujii,Y. Buckling/Plastic Collapse Behavior and Strength of Bilge Circle and Its Contribution to Ultimate Longitudinal Strength of Ship's Hull Girder