

توزیع تنش در مقاطع مختلف تیرلانه زنبوری در شرایط الاستیک و پلاستیک

امید حداد

مریی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد

پست الکترونیکی Omhdd2003@yahoo.com

عبدالرسول رنجبریان

استاد گروه مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شیراز

چکیده

محققان زیادی تلاش کرده اند که الگوی توزیع تنش و مقاومت تیرلانه زنبوری را شناسایی نمایند و بر اساس آن روشهایی را برای طراحی اینگونه اعضا ارائه نموده اند. از میان این روشها روش قیاس به خرابی ویرندیل به دلیل سادگی و ارائه نتایج تا حدودی منطقی، بصورت وسیعی تا کنون مورد استفاده قرار گرفته است. صرفنظر از کاستی های این روش، دو ایده برای توزیع تنشهای ناشی از خمش کلی (primary bending) در مقاطع T شکل وجود دارد. در این مقاله سعی شده است که با مدلسازی تیرهای لانه زنبوری آزمایش شده در مرجع [۳] و آنالیز این تیرها در شرایط الاستیک و پلاستیک، الگوهای توزیع تنشهای نرمال و برشی در مقاطع مختلف مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با روش قیاس به خرابی ویرندیل مقایسه گردید و این نتیجه به دست آمد که در صورتی تنشهای ناشی از خمش کلی در مقاطع T شکل بصورت یکنواخت در مقطع در نظر گرفته شود نتایج بهتری حاصل میگردد. همچنین حداکثر تنشهای نرمال در بال در ناحیه متناظر با وسط طول مایل لبه سوراخ ایجاد میگردد.

کلید واژه ها : تنش، تیر لانه زنبوری

۱- مقدمه

تیر لانه زنبوری بصورت وسیعی در زمینه های ساختمانی و صنعتی مورد استفاده قرار میگیرد. ولی علیرغم استفاده وسیع، اطلاعات جامع و دقیقی از عملکرد این تیر در شرایط مختلف رفتاری و بارگذاری در دست نیست. در این مقاله تلاش شده با استفاده از روش اجزای محدود در مورد یکی از ساده ترین روشهای آنالیز تیر لانه زنبوری تحقیق شود.

خلاصه ای از روش قیاس به خرابی ویرندیل:

در این روش فرضیات زیر در نظر گرفته می شوند:

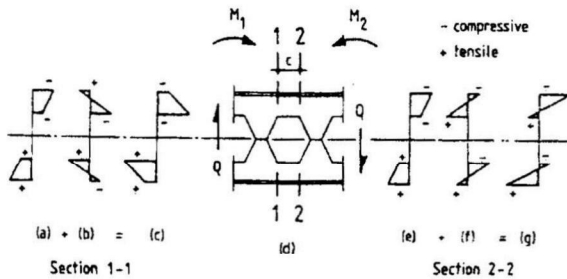
(۱) برش قائم به تساوی بین مقاطع T شکل فوقانی و تحتانی تقسیم می گردد.

(۲) نقاط عطف (INFLECTION) در مقاطع T شکل در وسط طول آنها و نقاط عطف در ارتفاع جان توپر در وسط ارتفاع (محل جوش جان) واقع می گردد.

(۳) توزیع تنش خمشی ثانویه ناشی از برش خطی بوده و لنگر ثانویه در مقاطع مختلف متناسب با فاصله مقطع از نقاط عطف خواهد بود.

(۴) تنش کل از جمع آثار تنشهای ناشی از خمش کلی با تنشهای خمشی ثانویه حاصل می گردد.

(۵) نیروی برشی در مقطع جوش جان با در نظر گرفتن دیگرام آزاد و تعادل یک مدول برش خورده در طول جوش جان و در امتداد مقاطع گذرنده از وسط سوراخها در طرفین مطابق

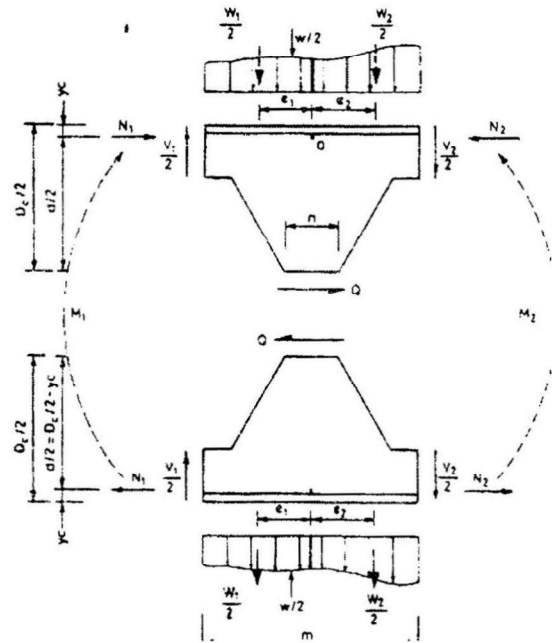


شکل ۲- فرض توزیع خطی در مقطع T شکل

منظور صحت مدلسازی به دلیل در دسترس نبودن دیاگرام بار-خیز تیرها، از روش تطبیق نیروهای آزمایشگاهی و مدلسازی استفاده شده است. شکل هندسی تیرهای آزمایش شده مطابق شکل ۴ می باشد. نمونه های آزمایشی از نوع CAST IPE 18 مطابق مشخصات آیین نامه ایران، ضمیمه الف مبحث دهم تیرهای لانه زنبوری می باشند. تمامی نمونه ها بصورت تیرهای دوسر ساده مورد آزمایش قرار گرفته اند. بارگذاری اعمالی روی نمونه، بار متمرکز در وسط دهانه میباشد. برای جلوگیری از کمائن قائم جان در محل تکیه گاه و اعمال بار متمرکز از سخت کننده قائم جان استفاده شده است.

۳- مدلسازی به روش اجزای محدود

مدل هندسی تیر ها با در نظر گرفتن تقارن مطابق شکل ۵ میباشد که در آن از المانهای پوسته سه بعدی مرتبه دوم هشت گانه برای مدل کردن جان و بال و سخت کننده ها استفاده شده است. این نوع المانها در برگیرنده اثرات غشایی- خمشی و تغییر شکلهای برشی در راستای عرضی المان میباشد. تمامی تیرها به روش استاتیکی غیر خطی ماده و هندسه (material&geometry) بوسیله نرم افزار (NISA (1996) تحلیل شدند که در آن خواص مصالح و ضابطه سخت شدگی مطابق شکل ۶ میباشد و از قانون تسلیم von-misses بعنوان شرط تسلیم و ضابطه سخت شدگی ترکیبی (ترکیب سخت شدگی ایزوپارامتریک و سینماتیک) بعنوان قانون سخت شدگی استفاده گردید. گامهای بارگذاری یکنواخت انتخاب شد. تلوئانس همگرایی برای انرژی کرنشی و نیرو و تغییر مکانها برابر ۰/۰۰۱ انتخاب گردید. حداکثر تعداد تکرار مجاز برای دستیابی به همگرایی ۱۵ مرتبه تعیین شد. [۱]



شکل ۱- دیاگرام بدنه آزاد پانل تیر لانه زنبوری

شکل ۱ حاصل می گردد. با توجه به آنکه در مقطعی که به این ترتیب برش خورده اند بر اساس فرض ۲، لنگر برابر صفر فرض گردیده است، مسأله با این مفروضات معین بوده و نیروی برشی مزبور به سهولت قابل محاسبه است.

۶) توزیع تنش خمشی در مقطع گذرنده از جان توپر خطی است و میزان تنش متناسب با فاصله مورد نظر از تار خنثی خواهد بود.

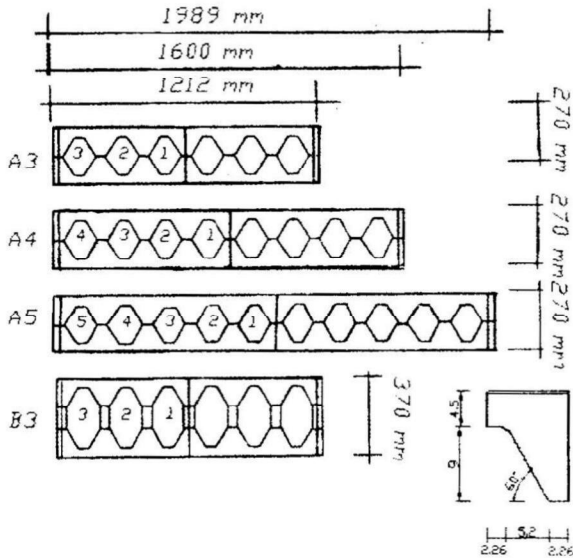
$$N_1 - Q = N_2 \quad N_1 = M_1/d, \quad N_2 = M_2/d$$

$$V_1 = V_2 + W_1 + W_2$$

در روش ساده سازی شده ویرندیل دو ایده برای توزیع تنش خمشی کلی (Primary Bending) در مقطع T شکل وجود دارد. الف) توزیع تنش خمشی کلی در مقطع T، خطی متناسب با فاصله از تار خنثی فرض می گردد. ب) توزیع تنش خمشی کلی در مقطع T، یکنواخت فرض می گردد. [مرجع ۳، ۵، ۷ و ۱۴]

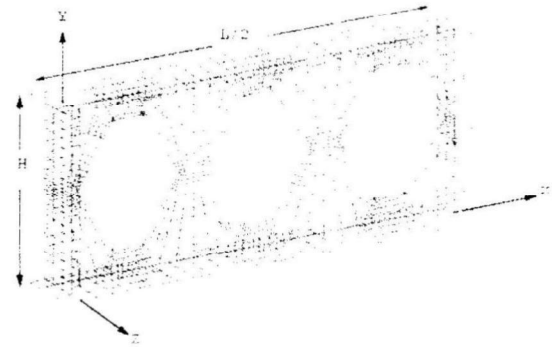
۲- نتایج آزمایشگاهی

تیرهایی که به روش اجزای محدود در این مقاله مدلسازی شده اند بوسطه مرجع [۴] ساخته شده و آزمایش گشته اند.

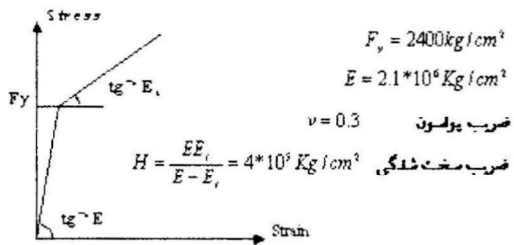


شکل ۴- شکل کلی نمونه های آزمایشی و ابعاد مدول تکراری پانل

شکل ۳- فرض توزیع یکنواخت درمقطع T شکل



شکل ۵- مدل هندسی و شبکه بندی تیرهای مدل شده به روش اجزا



شکل ۶- مدل سخت شدگی مصالح

جدول شماره ۱

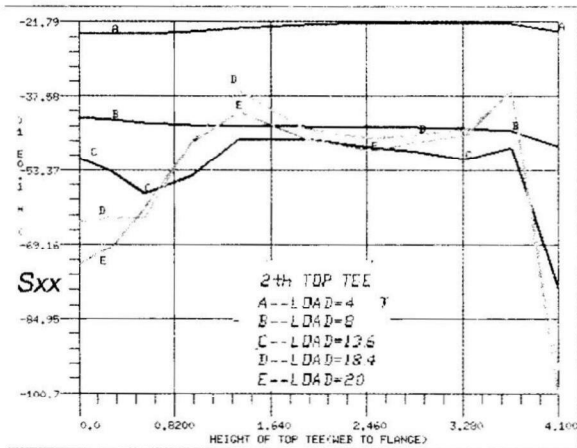
بارشروع کماتش Ton		بارکمانش گسترده Ton		
تحلیل	نسبت تحلیل به آزمایش	آزمایش	تحلیل	نسبت تحلیل به آزمایش
13.6	0.91	18.3	20	1.09
14.4	1.03	16	18.4	1.15
13.6	0.94	16.75	16	0.96
8.8	0.83	12.4	13.6	1.09

۴ - بحث بر روی نتایج آنالیز تنشهای نرمال

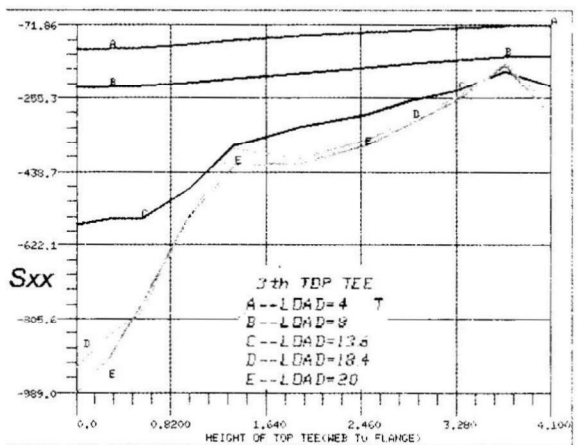
توزیع تنش نرمال در مقطع گذرنده از وسط مقطع T شکل فوقانی سوراخهای اول تا سوم تیر شش پانلی در شکل ۷ در مراحل مختلف بارگذاری نشان داده شده است. لازم به ذکر است که توزیع این تنشها در مقطع T شکل تحتانی نیز کاملاً متقارن با اشکال مذکور میباشد. با افزایش بار و شروع کمانش تیر، ملاحظه میشود که در تمامی مقاطع توزیع تنشها از حالت خطی (منحنیهای A, B) به غیر خطی تبدیل میشود و تنشها در مقاطع دور از محل اثر بار، در لبه بال و لبه جان بیش از هر نقطه دیگر از مقطع افزایش می یابند. در مقاطع دور از محل اثر بار و عکس العمل تکیه گاهها (شکل ۷-b) میتوان گفت در تمامی مراحل بارگذاری در صورتی که توزیع تنشهای نرمال یکنواخت فرض شوند، تقریب نزدیکی خواهد بود.

شکل ۸ توزیع تنشهای نرمال را در مراحل مختلف بارگذاری در مقطع وسط جان اول تیر (بین سوراخ اول و دوم) نشان میدهد که نتایج آن از بال تحتانی به فوقانی مرتب شده اند. ملاحظه میشود که توزیع این تنشها نسبت به جوش جان کاملاً متقارن میباشد. و نیز با افزایش بار و شروع رفتار غیر خطی توزیع تنشها به سمت غیر خطی میل میکند. در کلیه حالات میتوان گفت که نواحی هم ارتفاع با مقاطع T شکل فوقانی و تحتانی مقطع جان، در تحمل تنشهای نرمال شرکت میکنند. توزیع تنشهای نرمال در مقطع وسط جانهای اول و دوم تیر شش پانلی در شکل ۹ نشان داده شده اند. میتوان ملاحظه نمود که نتایج فوق در مورد جان دوم نیز صادق است ولی با دور شدن از مرکز تیر (و محل اثر نیرو) مقدار تنشها و همچنین میزان توزیع غیر خطی بودن آنها کاهش می یابد.

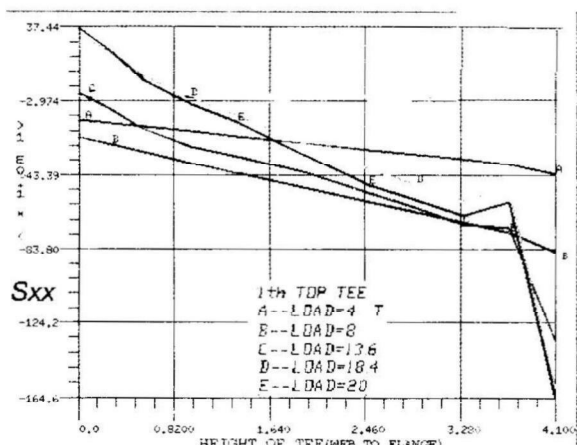
اشکال a-۱۰ تا d-۱۰ توزیع تنش نرمال را در مراحل بارگذاری در مقاطع T شکل فوقانی سوراخهای اول تا چهارم تیر ده پانلی را (نسبت به مرکز تیر) نشان میدهد. مانند تیرهای قبلی در مقاطع دور از محل اثر بار و تکیه گاه، توزیع تنش را میتوان در بیشتر نقاط مقطع، یکنواخت در نظر گرفت.



LABORATORY SPECIMEN A3 NLHATSGEO- out of plane=2 (PA3-2)

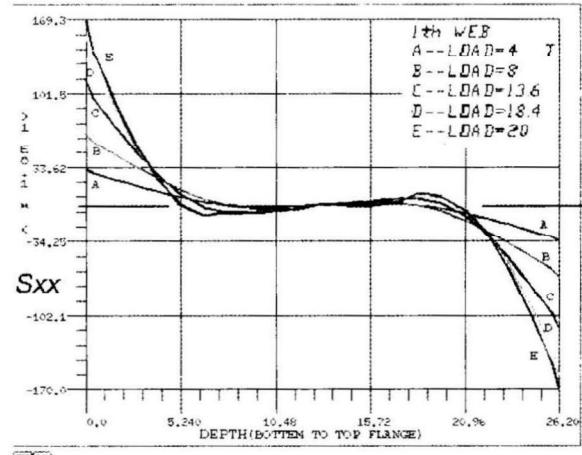
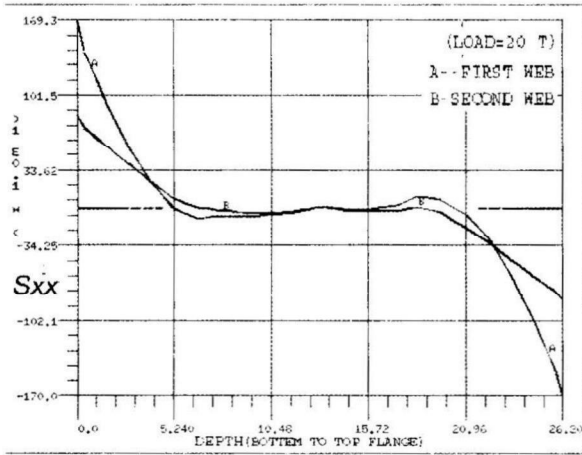


LABORATORY SPECIMEN A3 NLHATSGEO- out of plane=2 (PA3-2)



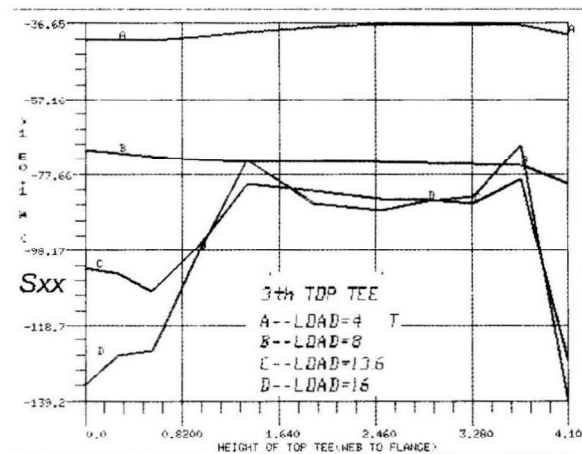
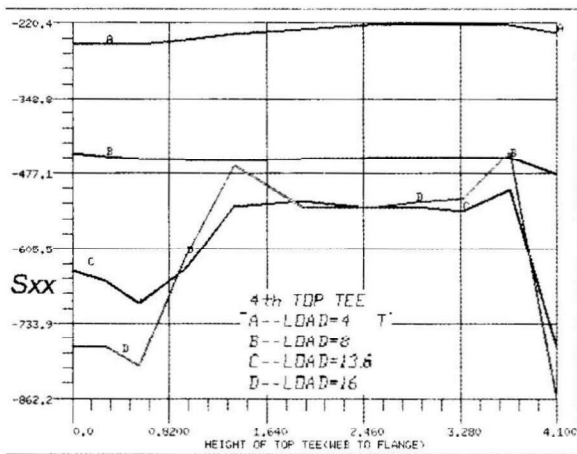
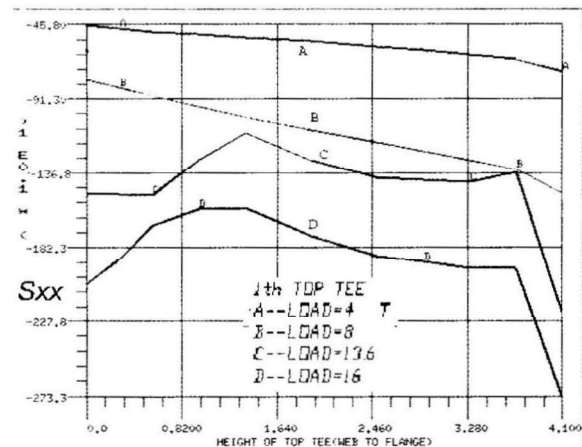
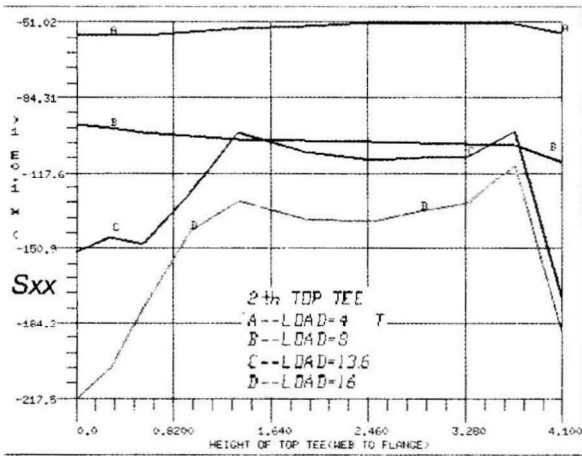
LABORATORY SPECIMEN A3 NLHATSGEO- out of plane=2 (PA3-2)

شکل ۷- توزیع تنشهای نرمال در بارهای مختلف در وسط مقاطع T شکل فوقانی سوراخهای اول تا سوم تیر شش پانلی

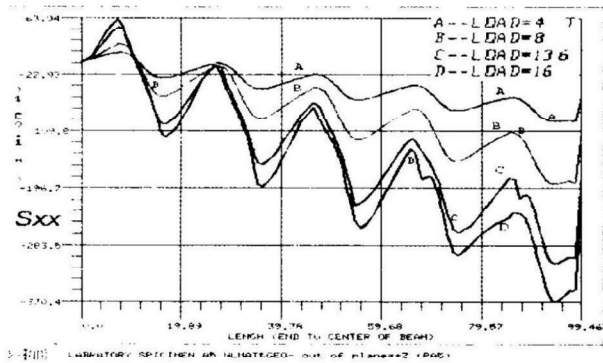


شکل ۹- توزیع تنشهای نرمال در وسط مقاطع جان های اول و دوم تیر تنش پانلی در بار نهائی تحلیل

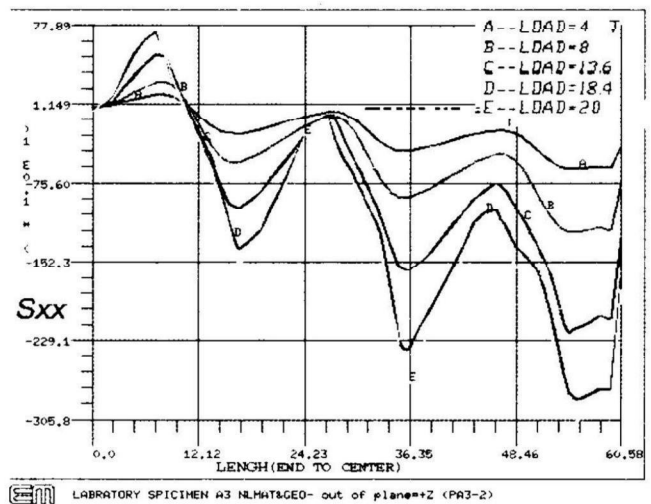
شکل ۸- توزیع تنشهای نرمال در بارهای مختلف در وسط جان اول تیر شش پانلی



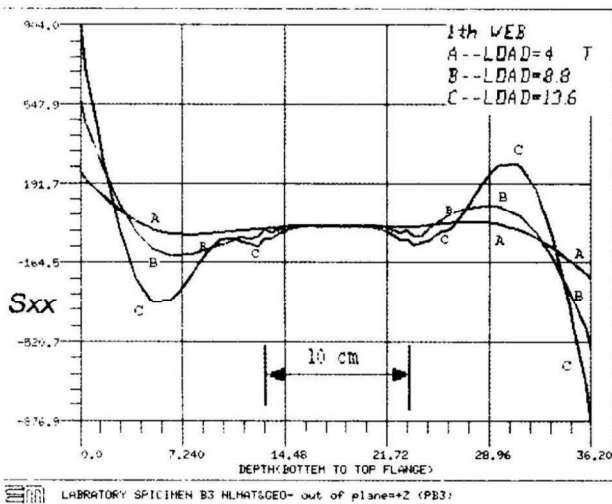
شکل ۱۰- توزیع تنشهای نرمال در مراحل مختلف بارگذاری در وسط مقطع T فوقانی سوراخهای اول تا چهارم تیر ده پانلی



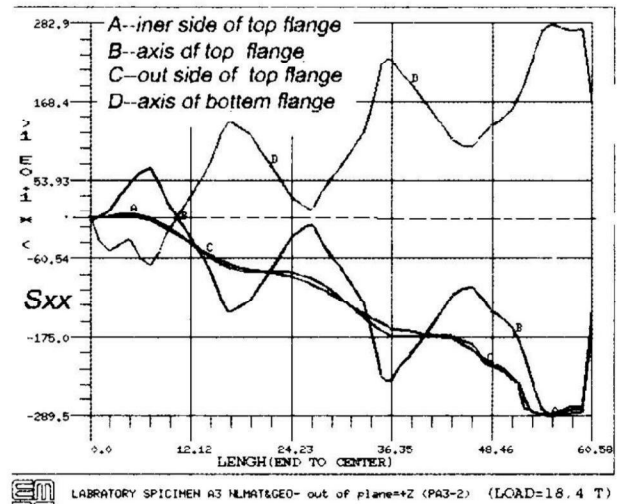
شکل ۱۲- تغییرات تنش نرمال در بارهای مختلف در مرکز سطح بال فوقانی در طول تیر ده پانلی



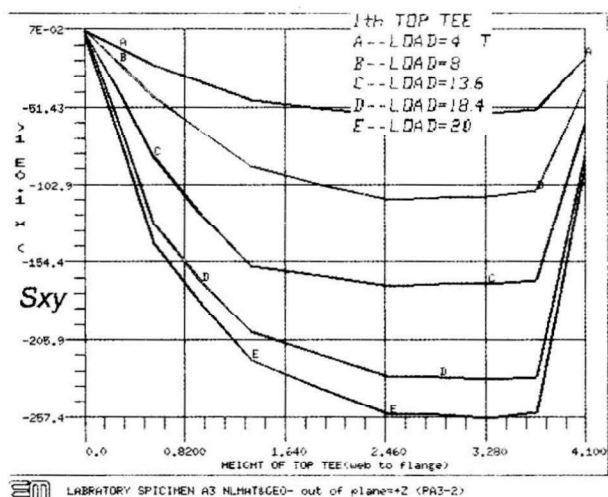
شکل ۱۱- تغییرات تنش نرمال در بارهای مختلف در مرکز سطح بال فوقانی طول تیر شش پانلی



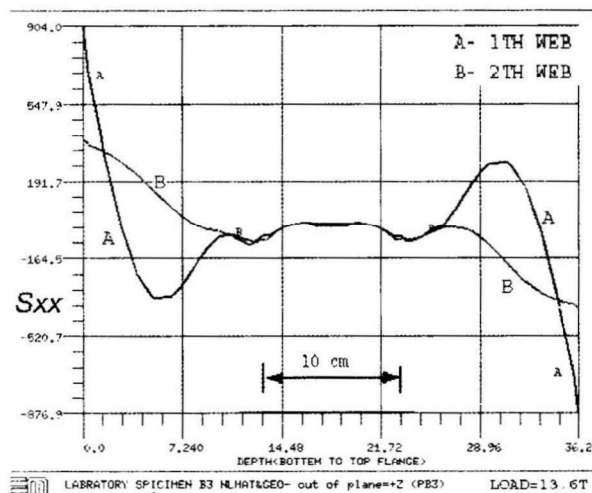
شکل ۱۴- توزیع تنشهای نرمال در مقطع وسط جان اول تیر بسط داده شده شش پانلی. در محدوده بین جوش ورق میانی به گوه های جان (یعنی فاصله ۱۰ سانتی متری) مقدار تنشهای نرمال به صفر نزدیک است و در نواحی نزدیک جوش تغییرات ناگهانی تنشها دیده میشود.



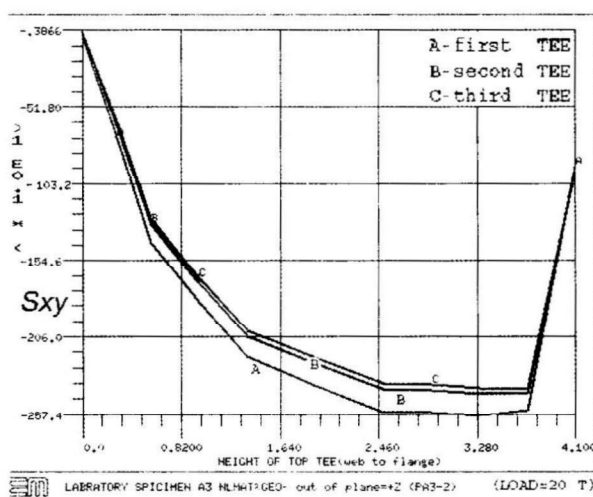
شکل ۱۳- تغییرات تنش نرمال در بارنهایی تحلیل در لبه های داخلی و خارجی و مرکز سطح بال فوقانی و مرکز سطح بال تحتانی تیر شش پانلی



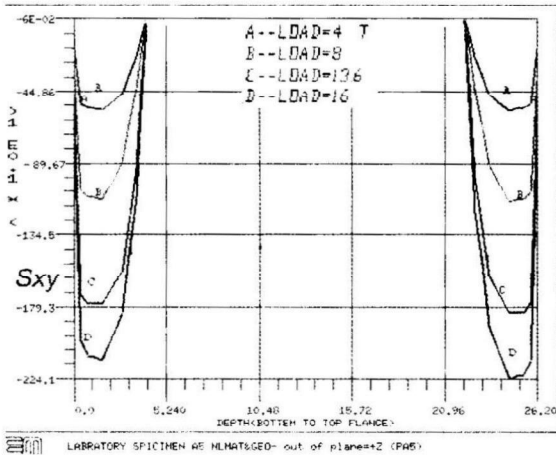
شکل ۱۶- توزیع تنشهای برشی در وسط مقطع T شکل فوقانی اولین سوراخ تیر شش پانلی



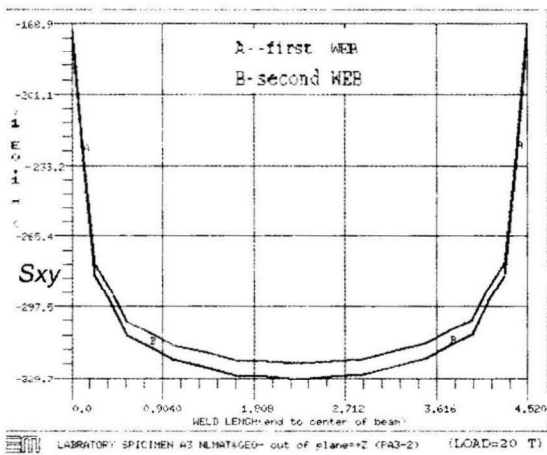
شکل ۱۵- توزیع تنشهای نرمال در بار نهایی تحلیل در مقاطع وسط جانهای اول و دوم تیر B3. دو منحنی در محدوده ورق میانی کاملاً بر هم منطبق هستند



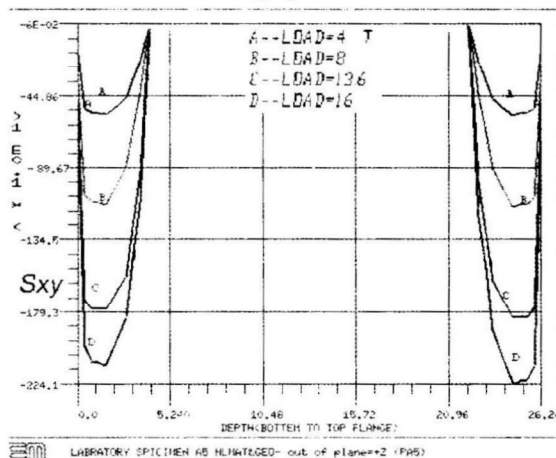
شکل ۱۷- توزیع تنشهای برشی در وسط مقطع T شکل فوقانی سوراخهای اول تا سوم تیر شش پانلی در بار نهایی تحلیل



شکل ۲۱- توزیع تنشهای برشی در طول جوش جان اول تیر شش پانلی

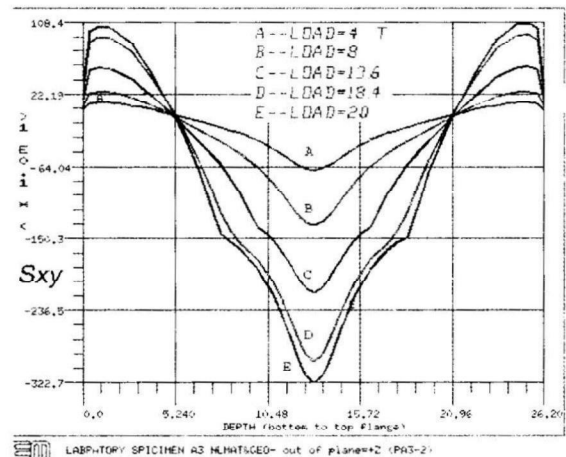


شکل ۲۲- تنشهای برشی در طول جوش جانهای اول و دوم در بار نهایی

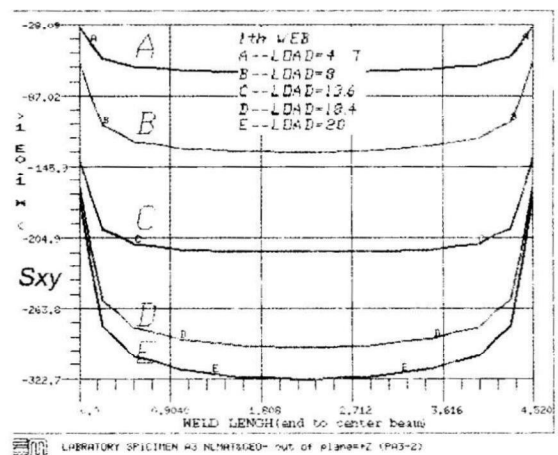


شکل ۲۳- توزیع تنشهای برشی در مقطع گذرنده از وسط سوراخ اول تیر ده پانلی. با شروع کماتش، تنشهای برشی بیشتری در مقطع T شکل فوقانی بوجود می آید.

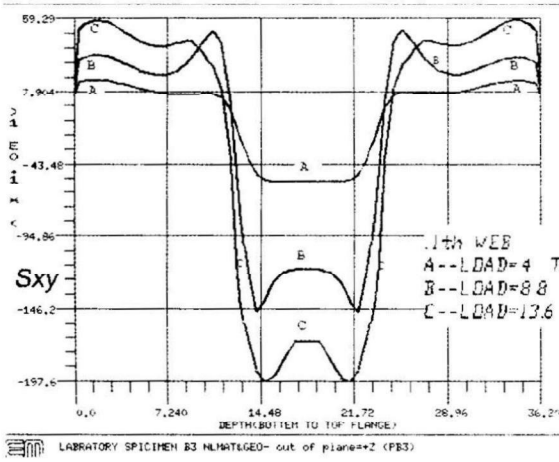
مقدار و توزیع تنشهای برشی در جوش افقی گوه جان با موقعیت‌های مختلف در یک تیر تقریباً یکسان است. بعبارت دیگر نیروی برشی تقریباً ثابتی در تمامی گوه‌های جان یک تیر ایجاد می‌شود. اما در مورد تیرهای لانه زنبوری بسط داده شده وضعیت مقداری متفاوت است. همچنانکه بر اساس گزارش مرجع [۳] این تیرها، باری به مراتب کمتر از تیرهای لانه زنبوری معمولی هم دهانه تحمل کردند و در اثر گسیختگی ناگهانی جوش جان به ورق میانی گسیخته شده‌اند. می‌توان از شکل‌های ۲۸ و ۲۹ در براحتی استنباط کرد که برعکس تیرهای لانه زنبوری معمولی، در این تیرها در ابتدا و انتهای جوش جان به ورق میانی تمرکز شدید تنش‌های برشی وجود دارد که منجر به گسیختگی ترد جوش جان شده است.



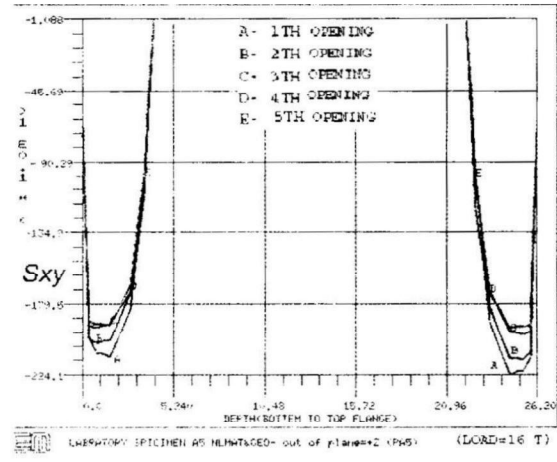
شکل ۱۹- توزیع تنشهای برشی در مقطع وسط جان اول تیر شش پانلی



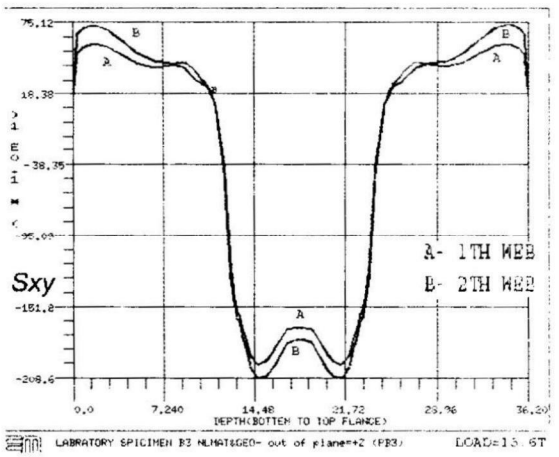
شکل ۲۰- توزیع تنشهای برشی در مقطع وسط جان اول و دوم تیر شش پانلی در بار نهایی



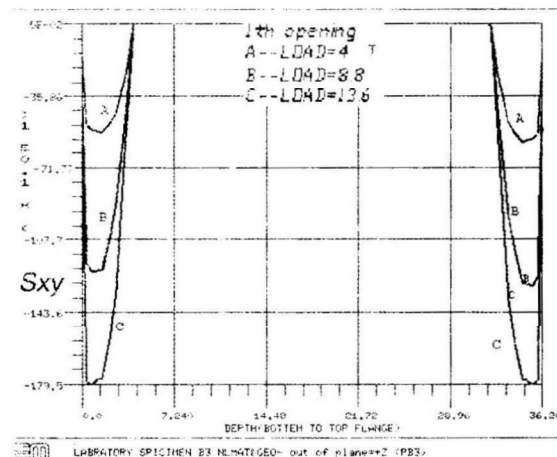
شکل ۲۶- توزیع تنشهای برشی در مقطع گذرنده از وسط جان اول تیر بسط داده شده شش پانلی B3. تنشهای برشی در ابتدا و انتهای جوش بیش از سایر نقاط افزایش می یابند



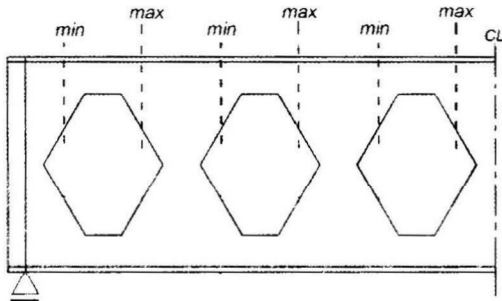
شکل ۲۴- توزیع تنشهای برشی در بار نهایی تحلیل (۱۱۶) در مقاطع گذرنده از وسط سوراخهای اول تا پنجم تیرده پانلی، با دور شدن از مرکز تیر (ومحل اعمال نیرو) اختلاف تنشهای مقاطع T فوقانی و تحتانی کاهش می یابد بطوریکه منحنی های D و E بر هم منطبق هستند



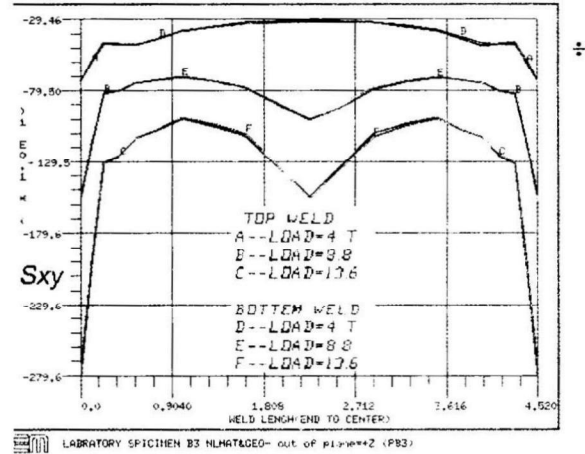
شکل ۲۷- توزیع تنشهای برشی در بار نهایی تحلیل در مقاطع وسط جانهای اول و دوم تیر B3. در اکثر نقاط دو منحنی بر هم منطبق هستند ولی در جان دوم تنشهای برشی اندکی بیشتر است



شکل ۲۵- توزیع تنشهای برشی در مقطع گذرنده از وسط سوراخ اول تیر بسط داده شده شش پانلی B3. بر عکس تیرهای لانه زنبوری معمولی، با افزایش بار، حداکثر تنشهای برشی در بار نهایی تحلیل در مقاطع T شکل فوقانی و تحتانی با هم برابرند. در صورتی که در بارهای کمتر (منحنی A,B) بین تنشهای حداکثر دو نیمه اختلاف وجود دارد و در نیمه فوقانی تنشهای برشی بیشتری ایجاد میشوند



شکل ۳۰- محل‌های حداکثر و حداقل تنش‌های نرمال در طول بال‌ها



شکل ۲۸- توزیع تنش‌های برشی در جوش فوقانی و تحتانی

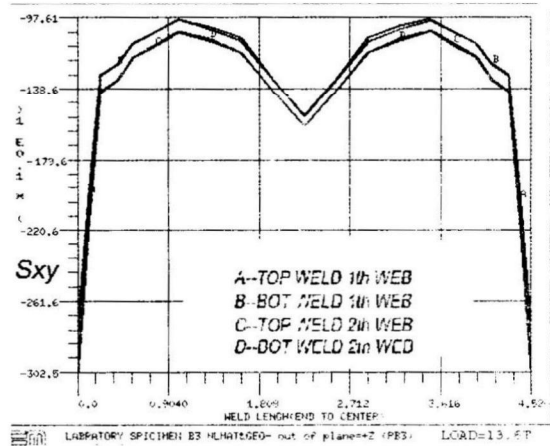
جان اول تیر B3 به صفحه میانی

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب قبلی به نظر می‌رسد که فرض دوم تحلیل ویرندیلی که توزیع تنش‌های خمشی ناشی از خمش کلی را در مقاطع T شکل یکنواخت فرض می‌کند منطقی‌تر می‌باشد. در مقاطع توپر جان توزیع تنش‌ها در مراحل اولیه بارگذاری و قبل از شروع رفتار غیر خطی و یا کماتش، خطی است که پس از آن توزیع تنش‌های نرمال حالت غیر خطی به خود می‌گیرد ولی به هر حال در تیرهای کوتاه مانند A3 یک پنجم ارتفاع مقطع در ابتدا و انتهای مقطع توپر جان (ارتفاع متناظر با ارتفاع مقطع T شکل) در تحمل تنش‌های نرمال شرکت می‌کنند. با افزایش طول تیر، این ارتفاع افزایش یافته و در طول‌ترین تیر در این بررسی (A5) این ارتفاع به یک و نیم پنجم ارتفاع جان توپر افزایش می‌یابد. تغییرات تنش‌های نرمال در طول تیر حالتی نرم شده دارد که با افزایش بار شیب منحنی‌ها بیشتر می‌شود. تنش‌های نرمال در مرکز سطح بال‌ها بیشتر از لبه‌های بال می‌باشد و منحنی تغییرات تنش‌های نرمال در این لبه‌ها به اندازه مرکز سطح بال در طول تیر انحناء ندارد.

شکل توزیع تنش‌های برشی در مقاطع T شکل بصورت غیر خطی کاملاً مشابه توزیع بدست آمده از رابطه $\tau = VQ / It$ می‌باشد.

توزیع تنش برشی در طول جوش جان در مراحل مختلف بارگذاری نزدیک به توزیعی یکنواخت در بخش عمده طول جوش می‌باشد ولی در نزدیکی لبه‌های طرفین شروع به کاهش نموده و در مجاورت رئوس طرفین با شدت بیشتری کاهش می‌یابد. در تیرهای بسط داده شده لانه زنبوری، جوش جان به ورق‌های میانی، محل تمرکز تنش‌های برشی است.



شکل ۲۹- توزیع تنش‌های برشی در بار نهایی تحلیل در جوش‌های فوقانی و تحتانی صفحات میانی به جان‌های اول و دوم.

اولاً: تنش‌های برشی در جوش فوقانی و تحتانی جان کاملاً برابرند (منحنی‌های A&B و C&D)
ثانیاً: تنش‌های برشی در جوش جان‌های اول و دوم اختلاف بسیار ناچیزی با هم دارند و علاوه بر توزیع غیر خطی تنش‌ها، تمرکز تنش‌های برشی در لبه‌های جوش می‌باشد.

- [13] Kolosowski, Ki, j. Stresses and deflection in castellated beams. *struct Engr* Vol 42, No 1, , jan 1964, pp 19 - 24
- [14] Maalek, S. and Burdekin, F M. Weld quality requirement for castellated beams. *Structural Engineer*. Vol 69, No 13, July 1991, pp 243 - 254.
- [15] Redwood, R. and Demirdjian, S. Castellated beam web buckling in shear. *Journal of structural engineering*. October 1998. pp 1202 - 1207.
- [16] Shearboorn, A N, and Von Oostrom, J. Plastic analysis of castellated beams - Part I: Interaction of moment, shear and axial force. *Computers and structure*, Vol 2, 1972, pp 79 - 109
- [17] S rimani, S L. And Das, P k. Finite element analysis of castellated beams. *Computers and structures*. Vol 9, Aug 1978, pp 169 - 174.
- [18] Sherbourne A. N. The Plastic behaviour of castellated beams.
- [19] Von Oostrom, J. And Shearboorn, A N. Plastic analysis of castellated beams - Part II: analysis and tests. *Computer and structure*, Vol 2, 1972, pp 111-140
- [20] Zaarour, W. and Redwood R. Web buckling in thin webbed castellated beams. *Journal of Structural Engineering*. August 1996. pp 860-866.

۶- مراجع

- [۱] امید حداد - رسول رنجبران، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - سازه، مطالعه پایداری و مقاومت تیرهای لانه زنبوری تحت شرایط الاستیک و پلاستیک - دانشگاه سیستان و بلوچستان - بهار ۱۳۸۱
- [۲] ضمیمه الف - مقررات ملی ساختمانی - مبحث دهم؛ طرح و محاسبه ساختمانهای فولادی - وزارت مسکن و شهرسازی
- [۳] بالسامو محمودیان - شاهرخ مالک، پایان نامه کارشناسی ارشد عمران - سازه، مطالعه کمانش جانبی پیچشی جان در تیرهای لانه زنبوری - دانشکده فنی دانشگاه تهران - ۱۳۶۲
- [۴] سازه های فولادی با اتصالات جوشی - ترجمه شاپور طاجونی - انتشارات دهخدا - آبان ۱۳۷۵
- [۵] مجموعه مقالات ارائه شده در مورد تیرهای لانه زنبوری - کنفرانس بین المللی عمران - دانشگاه فردوسی مشهد - ۱۳۷۸
- [6] Altfillisch, MD Cooke B.R and Toprac A.A. An investigation of welded open-web expanded besm. *J Amer welding soc, welding Res supplement*, Vol 36, NO 2, Feb 1957, pp 77s-88s
- [7] Dougherty B.K. Castellated beams: A state of the art report. *SAICE Journal second Quarter 1993*. PP 12-20.
- [8] Gibson J E, and Jenkins, W M. An investigation of stress and deflection in Castellated beams. *struct Engr*, Vol 35, NO 12, Dec 1957, pp 467 - 479.
- [9] Halleux, P. Limit analysis of castellated stell beams. *Acier - stahl - atell*, VOL 32, NO 3, Mar 1967, pp 133 - 144.
- [10] Hope, B B. and Sheikh, M A. The design of castellated beam. *Trans, Engng Inst of Canada. EIC - 69 - BR & STR6*, VOL 12, NO A-8, sept 1969.
- [11] Hosin, M U, and Speirs, W G. Experiments on Castellated steel beams. *J Amer welding Soc, welding Res Supplement*, Vol 52, NO 8, Aug 1973, pp 329s- 342s.
- [12] Hosin, M U, Cheng, W K, and Neis, V V. Deflection analysis of expanded open - web steel beams. *Computers and structures*. Vol 4, No 2, Mar 1974, pp 327 - 336

Distribution of stress in sections of castellated beam in elastic and plastic condition.

Omid haddad

Islamic Azad University, Mahabad Branch.

Omhdd2003@yahoo.com

Rasul Ranjbaran

Department of Civil Engineering, Shiraz university, Shiraz, Iran.

Many researchers have been efforded to identify the shape of distribution of stress and strength of castellated beam and base on that, offer a method for design that members. Through this methods, comparing virendil method by simplicity and reasonable results, have been used widly. Regardless from shortcoming of this method, there is two idea for distribution of stresses via primary bending in T-section. In this paper we have tried by modeling of castellated beams which tested in refrence [3] and analysing them in plastic and elastic condition, the shape of distribution of normal and shear stress studied and finally we conclude that if primary bending stress distribution bee assumed uniform, better result will bee obtain. Also the maximum value of normal stress in flang occure in corespond area with middle length of skew edge of opening.

Key word: stress, castellated beam.