

# تأثیر نسبت لاغری جان تیوروقهای تحت اثر بار گسترده خطی یکنواخت، در کاهش ظرفیت برشی نهایی، تحت اثر بروز ترک در جوش بال به جان آنها

حسین شوکتی<sup>1</sup>، فرهاد فرهودی محمدزاده<sup>2</sup>، نوروز سیفی<sup>3</sup>

۱- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه ارومیه

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران (سازه)، عضو باشگاه پژوهشگران جوان

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران (سازه)، عضو باشگاه پژوهشگران جوان

پست الکترونیکی: f\_abi2004@yahoo.com

## چکیده:

استفاده از تیوروقها در سازه های بزرگ و مهم، امری متداول و اجتناب ناپذیر است. جوش بال به جان که دارای اهمیت فراوان است، بر اثر عوامل محیطی و یا فیزیکی در حین جوشکاری و یا پس از آن، ممکن است در معرض ترک خوردگی قرار بگیرد. در این تحقیق، تیوروقهایی با نسبتهای لاغری متفاوت و جوش ترک خورده در نرم افزار المان محدود LUSAS، مدل سازی شده و مورد تحلیل غیر خطی هندسی و مصالح قرار گرفتند. در این مدلها، ضمن استفاده از شبکه مش بندی بسیار ریز مربعی به ضلع ۵ سانتیمتر، از آنجا که در عمل دستیابی به سازه ای بدون ناکاملی اولیه امکان پذیر نمی باشد، یک ناکاملی اولیه به صورت نیم موج سینوسی و به مقدار حداکثر یک هزارم طول دهانه در وسط پانلها در نظر گرفته شد. در تمامی مدلها بار وارده به صورت گسترده خطی یکنواخت بر روی بال فوقانی اعمال گردیده و در دو طرف تیرها، از دو تکیه گاه مفصلی ثابت و متحرک استفاده شد. در طراحی تمامی نمونه های مدل سازی شده، ضوابط آیین نامه AISC-LRFD، کاملاً رعایت شده است. بررسی نتایج حاصل، نشان می دهد که تاثیر منفی وجود ترک در جوش بال به جان تیوروقهای تحت اثر بار گسترده خطی یکنواخت، در ظرفیت برشی نهایی آنها، در حالتی که جان تیوروق به صورت غیر لاغر (با نسبت لاغری کم) طراحی شود، نسبت به تیوروقهای مشابه با جان لاغر (نسبت لاغری زیاد)، بیشتر است.

کلید واژه: تیوروق، ترک، جوش، نسبت لاغری جان، ظرفیت برشی

## ۱- مقدمه:

از سال ۱۹۶۰ میلادی تحقیقاتی بر روی تیوروقهای لاغر در ایالات متحده آمریکا و ژاپن انجام گرفت. نتایج حاصله نشان میداد برای جلوگیری از وقوع ترکهای خستگی در اثر بارگذاری ورقها، باید محدودیتهایی را برای نسبتهای ابعادی (عرض به عمق) و نسبتهای لاغری (عمق به ضخامت)، در نظر گرفت [1]. در سال ۱۹۹۳ میلادی تحقیقات وسیعی برای بررسی محل ترکهای بوجود آمده تحت اثر برش، خمش و یا ترکیب آن دو صورت گرفت [2,3]. نتایج این تحقیقات نشان می داد، اغلب ترکهای بوجود آمده در جوش بال به جان تیوروقها، از پنجه جوش گوشه روی جان تیوروق شروع شده و در تمامی ضخامت جان گسترش می یابند. اگر محل ترک در ابتدا یا انتهای پانل جان باشد، سرعت رشد ترکها، نسبت به حالتی که ترک جوش در وسط پانل بوجود آید، بیشتر شده و در نهایت خرابی سازه با کماتش بال فشاری و جان آغاز میشود [2]. ادامه این تحقیقات در سال ۲۰۰۲ میلادی مشخص کرد، این ترکها که اغلب در جوش بال فشاری به جان تیوروق بوجود می آیند، در اثر تنشهای خمشی خارج صفحه ای ایجاد میشوند [1]. در سال ۲۰۰۵ میلادی آزمایشاتی بر روی ورقهای ترک خورده، تحت اثر بارهای فشاری و کششی انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد، در ورقهایی که دارای ترک در لبه های پانل بودند، با افزایش ضخامت ورق، مقدار ضریب کاهش مقاومت، افزایش می یافت [4]. در ادامه تحقیقات انجام شده، در این مقاله با فرض کنترل افزایش طول ترک، تاثیر ترک در طولهای مختلف را در تیوروقهای با نسبت لاغری متفاوت بررسی می کنیم.

## ۲- مدل سازی تیوروقها در نرم افزار المان محدود LUSAS:

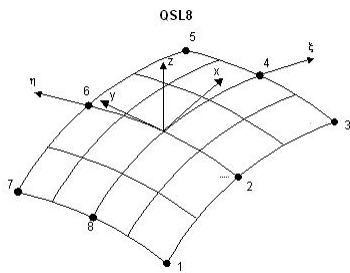
نرم افزار المان محدود LUSAS، یکی از نرم افزارهای توانمندی است که قابلیت تحلیل غیر خطی را داراست. در این تحقیق کلیه مدل های مطالعه شده، در این نرم افزار مدل سازی گردیده و تحت آنالیز غیر خطی هندسی و غیر خطی مصالح قرار گرفتند. برای مدل سازی، یک تیر ساده با دو تکیه گاه مفصلی

ثابت و متحرک در طرفین ، در نظر گرفته شد. این تیر که در شکل ۱، نشان داده شده است ، با استفاده از ضوابط آئین نامه **LRFD** ، طراحی شده و با توجه به مشخصات هندسی به دست آمده، در نرم افزار مدلسازی شد.

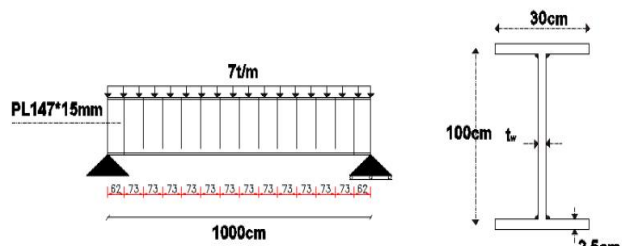
لازم بذکر است، با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده [4] و در راستای تکمیل آنها ، در این تحقیق ارتفاع تیورورها ثابت فرض شده و با تغییر ضخامت ورق جان، نسبت لاغری جان بعنوان متغیر مورد بررسی انتخاب گردید. با توجه به مشخصات هندسی مقطع مدلها و با استفاده از ورقهای ۴، ۸ و ۱۰ میلیمتری برای ورق جان ، به ترتیب تیورورهایی با نسبت لاغری ۲۵۰، ۱۶۷ و ۱۲۵ در نرم افزار مدلسازی گردید.

برای شبکه بندی اجزای مدل ، از المانهای هشت گرهی پوسته ای از گروه **Thin Shell** و با عنوان **QSL8** که قابلیت آنالیز غیر خطی را دارا است ، در شکلهای مربعی به ضلع ۵ سانتیمتر ، استفاده شد. درجات آزادی این المان در شکل ۲، نشان داده شده است.

بارورده بر مدلها به صورت گسترده خطی یکنواخت، بر بال فوقانی اعمال گردید، و برای انجام تحلیل غیر خطی بطور یکنواخت بر میزان این بار افزوده میشود.



شکل ۲: درجات آزادی المان QSL8



شکل ۱: ابعاد و مشخصات تیورورق طراحی شده

برای افزایش دقت محاسبات از مصالح با رفتار الاستوپلاستیک چهارخطی و تنش تسلیم ۲۷۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (فولاد **St40kis**)، استفاده گردید. همچنین برای نزدیکتر شدن به نتایج واقعی ، از آنجا که در عمل ، اغلب ورقهای جان تیورورق دارای یک تغییر شکل اولیه هستند، در مدلسازی نمونه ها ، ورق جان تیورورق همراه با یک ناکاملی اولیه به اندازه یک هزارم طول دهانه ، مدلسازی شد. این ناکاملی به صورت یک معادله نیم موج سینوسی (رابطه ۱) ، محاسبه شده و در مدلسازی پانلهای جان تیورورق در نظر گرفته شد.

$$X = 0.01 \times \sin\left(\frac{\pi y}{h}\right) \sin\left(\frac{\pi z}{a}\right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه  $a$  نشان دهنده طول یک پانل و  $h$  نشان دهنده ارتفاع پانل است، و محور  $y$  محور قائم و محور  $z$  محور طولی تیر میباشد. شایان ذکر است تمامی متغیرهای موجود در این معادله برحسب متر می باشند. برای جلوگیری از کمانش ورقهای بال، بالهای فشاری و کششی تیورورها ، در طول تیر و محل نصب سخت کننده ها ، با استفاده از تکیه گاههای جانبی، مهار گردید.

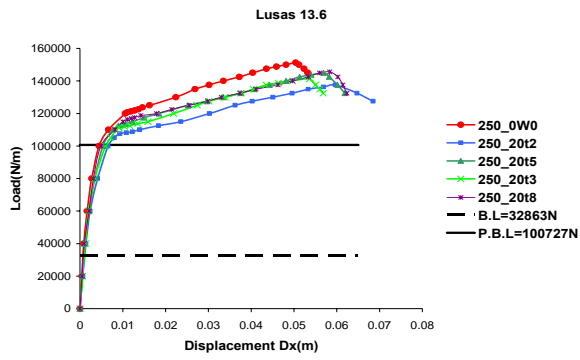
برای مدلسازی ترک، با توجه به تحقیقات پیشین انجام شده [5,6] و با فرض کنترل گسترش ترک ، از جداسازی المانهای بال و جان تیورورق در طولهای مورد نظر استفاده شد. به بیانی دیگر فرض شد ترک بوجود آمده تا طولهای مورد نظر گسترش یافته و با استفاده از مکانیزم های علمی موجود از رشد آن جلوگیری شده و به بررسی تاثیر این ترک کنترل شده، در ظرفیت برشی نهایی تیورورق پرداخته شد. در این بررسی ترکها ، در دو طول ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری در چهار موقعیت متفاوت در جوش بال فشاری به جان تیورورها ، مدلسازی شده و تاثیر آنها، در تیورورقهایی با نسبتهای لاغری متفاوت بررسی شد. به صورتی که در مجموع با احتساب مدلهای بدون ترک ، ۲۷ مدل تیورورق ، توسط نرم افزار تحلیل گردید. با توجه به استفاده از مش بندی بسیار ریز و ابعاد بزرگ تیورورقهایی تحلیل شده، مدت زمان آنالیز نمونه ها بسیار طولانی بوده ، به طوری که آنالیز هر مدل تیورورق بین ۳۰ تا ۳۲ ساعت طول کشید.

برای نامگذاری نمونه های بررسی شده در این تحقیق از فرم کلی  $G\_a(t \text{ or } w)n$  ، استفاده گردید.  $G$ ، معرف نسبت لاغری جان،  $a$  نشاندهنده طول ترک و  $n$  مشخص کننده پانلی است که ترک در آن بوجود

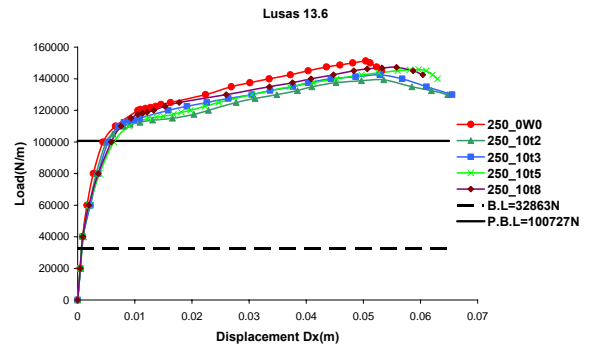
آمده است (شماره گذاری پانلهای تکیه گاه سمت چپ تیر انجام شده است). در نامگذاری نمونه های دارای ترک از حرف  $t$  (مخفف **Top crack**) و برای نمونه های بدون ترک از حرف  $w$  (مخفف کلمه **Without crack**) استفاده شده است. در حالت بدون ترک بجای  $a, n$ ، عدد صفر قرار می گیرد.

### ۳- نمودارهای بار - تغییر مکان جانبی :

در شکلهای ۳ تا ۵ ، نمودار بار - تغییر مکان جانبی به دست آمده از تحلیل المان محدود این مدلها ، آورده شده است. در این اشکال خطوط افقی رسم شده ، نشاندهنده بارهای کمانشی (**B.L**) و فراکمانشی (**P.B.L**) هستند که از طریق روابط تئوری موجود در آئین نامه **LRFD** ، محاسبه شده اند. در این اشکال ، مقایسه ای بین نتایج حاصل از تحلیل المان محدود و نتایج حاصل از روابط تئوری آئین نامه صورت گرفته است.

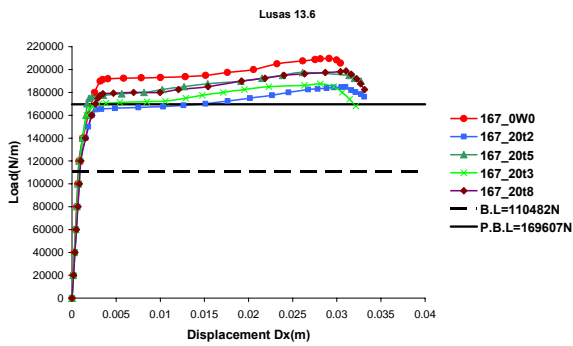


20cm ترک (ب)

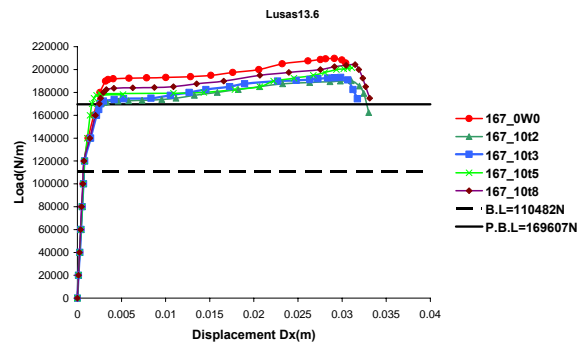


10cm ترک (الف)

شکل ۳: نمودار بار- تغییر مکان جانبی و بارهای کماتنشی و فراکاتنشی برای مدل‌های با نسبت لاغری جان ۲۵۰

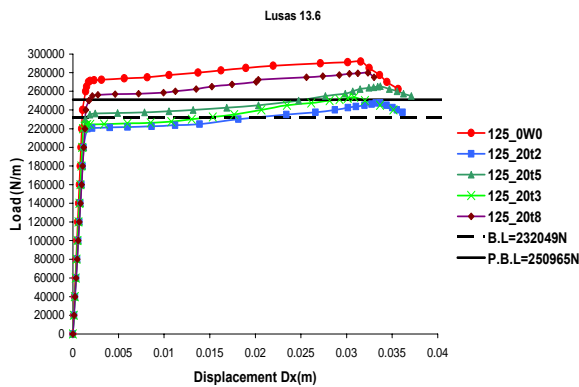


20cm ترک (ب)

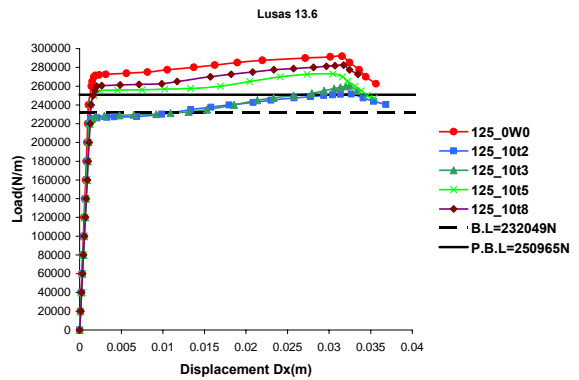


10cm ترک (الف)

شکل ۴: نمودار بار- تغییر مکان جانبی و بارهای کماتنشی و فراکاتنشی برای مدل‌های با نسبت لاغری جان ۱۶۷



20cm ترک (ب)



10cm ترک (الف)

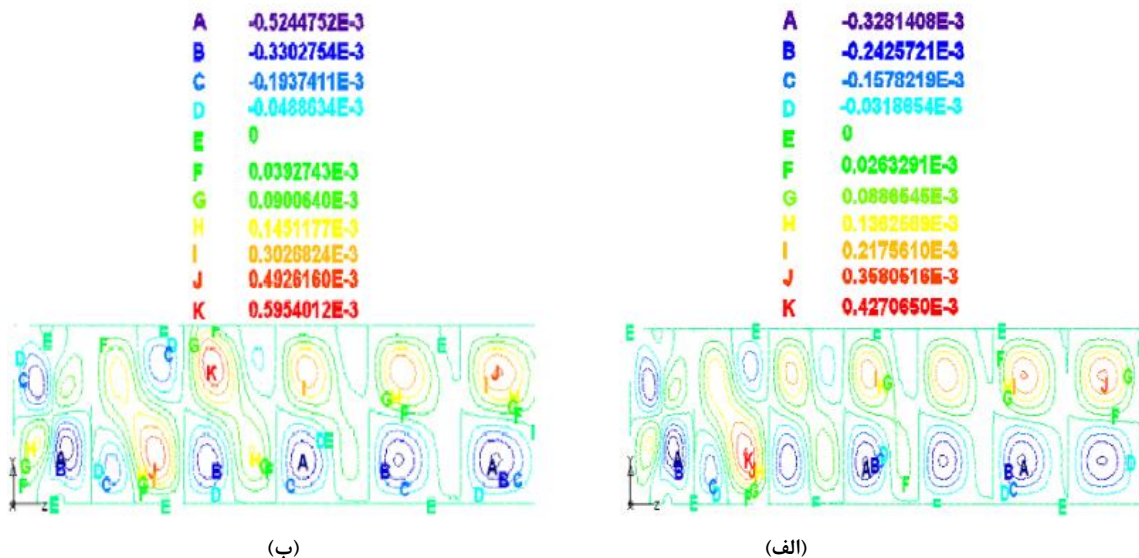
شکل ۵: نمودار بار- تغییر مکان جانبی و بارهای کماتنشی و فراکاتنشی برای مدل‌های با نسبت لاغری جان ۱۲۵

همانطور که در این نمودارها دیده میشود، نمودار بار - تغییر مکان جانبی مدلها شامل سه قسمت : ۱- خطی ۲- چند خطی ۳- منحنی شکل، تقسیم میشود. ناحیه خطی مربوط به ظرفیت کمانشی تیورقها و ناحیه چند خطی مربوط به ظرفیت فراکمانشی آنهاست. بعد از مرحله چند خطی، شرایط مقطع تیورقها به حالتی می رسد که با افزایش اندکی که در بار وارده بوجود می آید، خیز جانبی بطور چشم گیری افزایش می یابد. با دقت در این اشکال ملاحظه میشود، با افزایش نسبت لاغری تیورق، ناحیه چند خطی گسترش می یابد. به طوری که برای تیورقهای با نسبت لاغری ۱۲۵، که با توجه به روابط آیین نامه LRFD جزو تیورقهای غیر لاغر هستند، این ناحیه بسیار محدود می باشد و ظرفیت کمانشی در این نوع تیورقها، نقش عمده ای در تامین مقاومت مدلها دارد.

مقایسه نتایج حاصل از روابط تئوری آیین نامه LRFD، با نتایج بدست آمده از تحلیل المان محدود نمونه ها، نشان میدهد تطبیق خوبی بین روابط تئوری و نتایج آنالیز وجود دارد. به طوری که بار کمانشی در ناحیه خطی و بار فراکمانشی در قسمت چندخطی نمودار مدلهای بدون ترک واقع شده است. بررسی نتایج نشان میدهد بروز ترک در مدلهای با نسبت لاغری ۲۵۰، تاثیر چندانی در افت ظرفیت کمانشی و فراکمانشی، نسبت به مقادیر به دست آمده از روابط تئوری ندارد. در تیورقهای با نسبت لاغری ۱۶۷، نیز این موضوع دیده میشود، اما فقط در مدل دارای ترک ۲۰ سانتیمتری در پانل مجاور تکیه گاه ظرفیت فرکمانشی نسبت به حالت تئوری کاهش می یابد. برای تیورقهای با نسبت لاغری ۱۲۵ (غیر لاغر) ترکهای ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری بوجود آمده در پانلهای دوم و سوم از تکیه گاه سمت چپ تیر، باعث افت ظرفیت کمانشی و فراکمانشی، نسبت به نتایج بدست آمده از روابط تئوری شده اند. همچنین شایان ذکر است ترکهای ۲۰ سانتیمتری در این پانلهای، حتی باعث کمتر شدن بارنهایی از بار فراکمانشی بدست آمده از روابط تئوری شده اند.

در شکل ۶، کانتور خیز جانبی برای دو مدل با نسبت لاغری ۲۵۰، در دو حالت بدون ترک و دارای ترک ۲۰ سانتیمتری در پانل سوم، که تحت اثر اعمال بار اولیه ۲۰۰۰ نیوتون قرار دارند، آورده شده است.

همانطور که دیده میشود خیز جانبی ماکزیمم در پانل دارای ترک اتفاق می افتد. این مسئله در تمامی مدلهای دارای ترک و در حالت اعمال بارهای کم دیده شد. اما با افزایش مقادیر بار و مخصوصا در حالت اعمال بار نهایی، در تمامی مدلها حداکثر خیز جانبی در پانل مجاور تکیه گاه (محل برش ماکزیمم) بوجود می آید. (برای بزرگنمایی بهتر به علت وجود تقارن، کانتور نصف تیر رسم شده است).

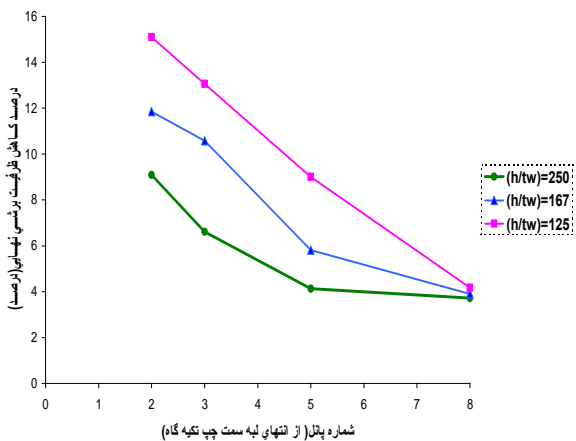


شکل ۶: کانتور خیز جانبی مدلها با نسبت لاغری ۲۵۰ (الف) نمونه بدون ترک (ب) نمونه دارای ترک ۲۰cm در پانل سوم

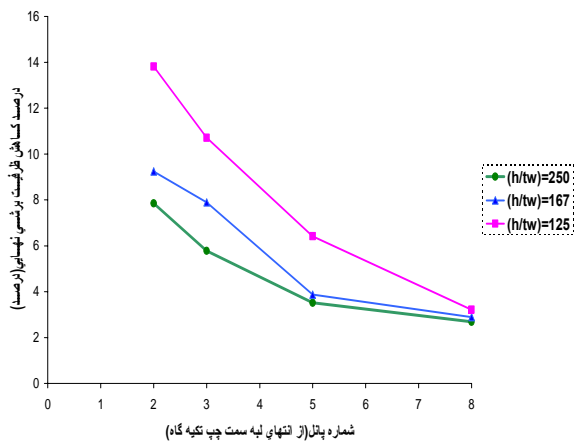
#### ۴- بررسی ظرفیت برشی نهایی مدلها :

برای تعیین ظرفیت برشی نهایی تیورقها، بارنهایی قابل تحمل برای هر یک از نمونه ها را از طریق نمودار بار- تغییر مکان جانبی به دست آورده و بر روی تیر اعمال می کنیم. در واقع حداکثر برشی که در اثر اعمال این بار در تیر بوجود می آید، حداکثر ظرفیت نهایی برشی تیورق می باشد. بعد از محاسبه ظرفیت برشی نهایی تیورقها، نمودار درصد تغییرات این ظرفیت برشی را در مقابل موقعیت ترک برای هر دسته از مدلها با نسبتهای لاغری متفاوت رسم می نمایم. (شکل ۷)

همانطور که در شکل ۷ ملاحظه میشود، در اثر بروز ترکهای ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری در اتصال بال به جان تیورقهای تحت اثر بار متمرکز، با افزایش نسبت لاغری جان تیورق، ظرفیت برشی نهایی کاهش بیشتری خواهد داشت. به عبارت دیگر با افزایش ضریب لاغری جان تیورق، تاثیر ترکهای بوجود آمده در جوش بال به جان در افت مقاومت تیورق کاهش می یابد. به عبارتی دیگر تاثیر منفی بروز ترک در جوش بال به جان، با وسعت ناحیه چند خطی نمودار بار- تغییر مکان جانبی، نسبت عکس دارد. یعنی با افزایش مقاومت پس از کمانشی تیورقها، تاثیر ترکهای بوجود آمده در جوش بال به جان، کاهش می یابد.



ب) مدل‌های دارای ترک 20cm



الف) مدل‌های دارای ترک 10cm

شکل ۷: نمودار درصد تغییرات ظرفیت برشی نهایی در مقابل موقعیت ترک

بنابراین می‌توان گفت جوش بال به جان تیورق‌های غیر لاغر، نیاز به مراقبت بیشتری نسبت به جوش تیورق‌های لاغر، در برابر عوامل ترک خوردگی جوش دارد.

همانطور که در شکل (۷-ب) دیده می‌شود، بیشترین کاهش مقاومت برشی نهایی ۱۵٪ بوده و در مدل 20t2\_125، بوجود می‌آید. همچنین با دقت در شکل ۷، می‌توان گفت ترک‌های بحرانی، ترک‌هایی هستند که در فاصله نزدیکتری نسبت به تکیه گاه بوجود آمده‌اند. به طوری که ترک‌های بوجود آمده در وسط تیر تاثیر منفی بسیار کمی در افت مقاومت دارند و تقریباً می‌توان گفت اثر آنها مستقل از نسبت لاغری جان تیورق است.

#### ۵- نتیجه گیری:

بررسی نتایج حاصل از تحلیل مدل‌ها، مشخص نمود:

۱- تطبیق بسیار خوبی بین نتایج حاصل از تحلیل المان محدود نمونه‌ها و نتایج حاصل از روابط آئین نامه **LRFD** وجود دارد. فقط در تیورق‌های با جان غیر لاغر، در صورت بروز ترک در پانلهای بحرانی (نزدیک تکیه گاه) روابط تئوری تعیین ظرفیتهای کمانشی و فراکمانشی، صادق نمی‌باشد. استفاده از این روابط برای تیورق‌های با جان لاغر در صورت بروز ترک‌های ۱۰ و ۲۰ سانتیمتری، صحیح است.

۲- با افزایش نسبت لاغری جان تیورق ( $\frac{h}{t_w}$ )، تاثیر ترک‌های بوجود آمده در جوش بال به جان تیورق‌های تحت اثر بار گسترده خطی یکنواخت، در مقاومت برشی نهایی مقطع، کاهش می‌یابد.

۳- در جوشکاری بال به جان تیورق‌های با جان غیر لاغر (جان ضخیم)، به علت کم بودن لاغری جان، باید دقت عمل بیشتری لحاظ شود و بعد از جوشکاری، جوش بطور صحیحی مراقبت گردد، چون ترک‌های احتمالی بوجود آمده نسبت به نمونه‌های مشابه با جان لاغر، تاثیر چشم گیری در کاهش مقاومت تیورق ایفا می‌کنند.

#### ۶- منابع و مراجع:

1. Roberts T.M.A, Davies A.W. Fatigue induced by plate breathing. Journal of Constructional Steel Research 58 (2002) 1495-1508
2. Okura I, Yen BT, Fisher JE.1993.Fatigue of Thin walled plate girders .Structural Engineering International 1993, 1:39-44
3. Corcetti .R .2003.Web breathing of full-scale slender I-girders subjected to combine action of bending and shear. Journal of Constructional Steel Research 59(2003)271-290
4. Joem kee Paik, Y.V.Satish Kumar, Jae Myung Lee.2005.Ultimate Strength of cracked plate elements under axial compression or tension. Thin-walled structures43 (2005)237-272

۵) اکبری، ه.، ۱۳۸۵، تاثیر ترک در جوش سخت کننده های قائم در رفتار کمانشی و فراکمانشی تیورق‌ها، پایان نامه دوره کارشناسی

ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، دانشکده فنی

۶) فرهودی محمدزاده، ف.، ۱۳۸۶، تاثیر ترک در جوش بال به جان تیورق‌های تحت اثر بار گسترده در ظرفیت خمشی نهایی آنها،

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مراغه، دانشکده فنی