



Study of Seismic Behavior of Drilled Flange Connection with Slot Hole

P. Shademan, R. Ahmady Jazany*

Department of Civil Engineering, Islamic Azad University (East Tehran Branch), Tehran, Iran.

ABSTRACT: Extensive damages in welded unreinforced flange (WUF) connections in 1994 Northridge earthquakes has led to the idea of using reduced beam section (RBS) connections and Drilled Flange (DF) connection to prevent brittle failure modes in welded joints. In this paper, the seismic behavior of DF moment-resisting connection with slot holes as an easy-to-construct method for DF connection in seismic regions was investigated. DF connection is made by drilling at top and bottom beam flange along beam main axis to establish an intentional weak point to reduce stress concentration at the beam to column flange welded connection. In this investigation, Finite Element models which were validated with previous experiments were utilized to consider the effect of slot holes in DF connection compared to circular holes on rupture potential of the beam to column welded connection. The utilized FE models of DF connection with various geometric properties and different panel zone strength ratios were developed to investigate the optimum slot hole configuration and reduce the rupture potential at CJP groove weld. The results showed that the optimum drilled slot holes can shift the plastic strain at the beam to column welded connection having the ratio of slot hole length to hole diameter (L/D) by up to 2. Using the configuration of the latter holes, the plastic strain at the beam to column weld connection and around the holes decreases approximately by up to, on average, 28 and 70% respectively compared to corresponding values of DF connection with circular holes.

Review History:

Received: 5/8/2018

Revised: 7/4/2018

Accepted: 7/17/2018

Available Online: 7/22/2018

Keywords:

Drilled flange (DF) connection

Welded unreinforced flange (WUF) connections

Drilled flange connection with slot hole

Reduced beam section (RBS) connections

Panel zone

1. INTRODUCTION

The 1994 Northridge earthquake was a turning point in the design and construction of welded steel beam-to-column moment connection [1,2].

Reduced Beam Section (RBS) connections were developed to find a reliable and practical solution for eliminating the CJP groove weld line fracture at beam-to-column welded connection [3]. The fabrication of RBS connections is difficult although it is categorized as a prequalified connection for use in special moment resisting frames (SMRFs) [1]. As an alternative for RBS connection, Drilled Flange (DF) moment-resisting connection was proposed by some researchers [4-5]. Some researchers proved that the DF connection is capable of accommodating the required seismic performance as desired by AISC [1-2]. Alibakhshi et al. [6] and Atashzaban et al. [7-8] find the optimum configuration of drilled holes to provide satisfactory seismic performance for DF connections. Ahmady Jazany [9] propose a design method for DF connections to improve the seismic performance of DF connection and estimate the seismic capacity of DF connection. More recently Maleki et al. [10] probabilistically evaluate the influences of drilled flange (DF) connection on seismic performance of steel moment frames (SMFs) incorporating near-field ground

*Corresponding author's email: Roohollah_Ahmady@yahoo.co.uk

Table 1. Reference experiment specification

Column section	Beam section	Doubblers Plate thickness	material		weld
			column	Beam	d/e/f
H220* 220*10*15	IPE270	8 (mm)	SM400	ST37	E7018 35/20

motions. They showed that DF connections can sustain the acceptable seismic performance similar to RBS connections.

2. EXPERIMENTAL

To study the seismic behavior of the DF connection, some experimental tests conducted by Vetr and Haddad [5] were selected for experimental validation of finite element models (FEMs). Table 1 presents a summary of the test specimen's specifications.

2.1. Verification of developed FE models

The FE models are validated by using the hysteretic responses and experimental observations of reference test specimens. The cyclic responses of FE models of reference test specimens agree well with the experimental load-



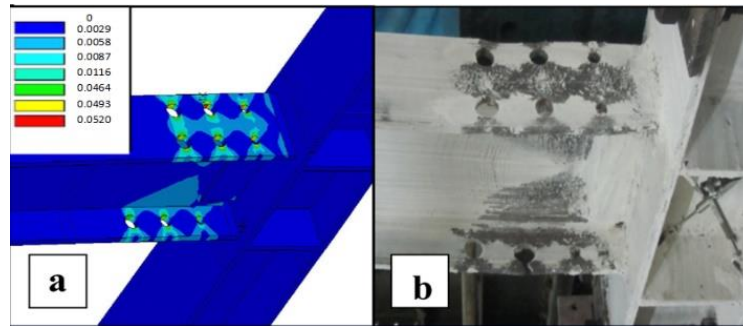


Fig. 1. Comparison between flaking off the whitewashed area on the test specimen and equivalent plastic strain distribution in the FE model of the test specimen.

displacement responses with less than 8% errors in peak strength points obtained at a story drift angle of 0.05 radians. The ultimate strength obtained from the inelastic FE analysis is well-correlated. As it is evident from Fig. 1, there is a good agreement between the flaking off the whitewashed area and EPEQ distribution for the analytical models of the reference experimental test with the experimental results from the test specimens.

2.2. Rupture index

In the present analytical study, the crack itself is not modeled explicitly but some analytical indices are employed to predict and monitor the crack initiation, related to the test observations and results. Rupture Index (RI) is one of the useful analytical indices utilized by many researchers [6-9] to evaluate the fracture potential of the connections. The Equivalent Plastic Strain (EPEQ) represents the local inelastic strain demand, used for comparing the rupture potential of different configurations of a connection. Triaxiality Ratio (TR) is the ratio of the hydrostatic stress to Von-Mises stress which is utilized to evaluate the seismic performance of DF connections.

Based on the cyclic void growth model (CVGM) developed by Kanvinde and Deierlein [11], EPEQ obtained from FEM can predict the initiation of cracking by defining the thresholds concerning the test observation; while, RI and TI are two measures that provide the potential of rupture in a structure. In other words, EPEQ can estimate the beginning of the rupture whereas RI and TR indices can compare the likelihood of rupture between different FE models. In this study EPEQ, RI and TI are employed for evaluating the seismic performance of DF connections.

2.3. Parametric FE analysis

In the present study, three important design parameters which play a pivotal role in the seismic performance of DF connection were considered including the ratio of hole slot length to hole diameter, panel zone strength ratio, and the row number of slot holes. These design parameters were not studied in the previous research studies despite their considerable effects on the seismic performance of DF connections. Some critical points are considered to compare

the rupture index. These critical points are located around the slot holes and vicinity of the CJP groove weld. These critical points affect considerably the seismic performance of DF connection concerning the previous experimental study [5].

3. CONCLUSIONS

The present detailed analytical study was performed to improve the seismic performance of drilled flange (DF) moment-resisting connections. The detailed FE models were developed to investigate DF connection with slot holes. Based on the results of this study, the following conclusions can be drawn:

- 1-The FE analyses showed that DF connection with slot holes can reduce the EPEQ around the holes and beam to column weld connection by up to, on average, 28 and 70% compared
- 2-The optimum ratio of slot length to hole diameter is the approximate value of 2. Using this ratio can lead to the minimum RI and EPEQ value around the holes and beam to column weld connection for DF connection with slot holes.
- 3-The FE analyses revealed that using DF connection with a ratio of hole slot length to hole diameter equal to 0.5 results in maximum strength degradation of cyclic response by up to 18.8%.

REFERENCES

- [1] American Institute of Steel Construction, 2015. *Seismic provisions for structural steel buildings*. American Institute of Steel Construction.
- [2] Hamburger, R.O., 2016. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, ANSI/AISC 358-05. In *Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety* (pp. 1-8)
- [3] Engelhardt, M.D., Fry, G., Jones, S., Venti, M. and Holliday, S., 2000. Behavior and design of radius cut reduced beam section connections. *Rep. No. SAC/BD-00, 17*.
- [4] Farrokhi, H., Danesh, F. and Eshghi, S., 2009. A modified moment resisting connection for ductile steel frames (Numerical and experimental investigation). *Journal of Constructional Steel Research*, 65(10-11), pp.2040-2049.
- [5] Vetr, M. and Haddad, A., 2010. Study of drilled flange connection in moment resisting frames. *Report No. 3732*. International Institute of Earthquake Engineering and Seismology Tehran;

Iran.

- [6] Alibakhshi, M., Ahmady J.R., Ghobadi, M.S. and Maki, A.M.S., 2015. "Considering the effect of holes distance of beam flange on seismic behavior of Drilled Flange (DF) connections". pp. 52-66
- [7] Atashzaban, A., Izadina M., Ahmady, J.R., and Hajrasouliha I. 2016. "Seismic performance of drilled flange beam to column connections for ductile steel frame" pp. 53-65.
- [8] Atashzaban, A., Hajirasouliha, I., Jazany, R.A. and Izadina, M., 2015. "Optimum drilled flange moment resisting connections for seismic regions". *Journal of Constructional Steel Research*, 112, pp.325-338.
- [9] Jazany, R.A., 2018. "Improved design of drilled flange (DF) moment resisting connection for seismic regions". *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(5), pp.1987-2020.
- [10] Maleki, M., Jazany, R.A. and Ghobadi, M.S., 2018. Probabilistic Seismic Assessment of SMFs with Drilled Flange Connections Subjected to Near-Field Ground Motions. *International Journal of Steel Structures*, pp.1-17.
- [11] Kanvinde, A.M. and Deierlein, G.G., 2007. Cyclic void growth model to assess ductile fracture initiation in structural steels due to ultra low cycle fatigue. *Journal of engineering mechanics*, 133(6), pp.701-712.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

P. Shademan, R. Ahmady Jazany, Study of Seismic Behavior of Drilled Flange Connection with Slot Hole, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(1) (2021) 53-56.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14422.5652](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14422.5652)





بررسی رفتار لرزه‌ای اتصالات بال سوراخ شده با سوراخ لوبیایی

پویا شادمان حیدری^۱، روح اله احمدی جزنی^{۲*}

^۱ مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق، تهران، ایران
^۲ عمران استادیار دانشگاه آزاد واحد تهران شرق ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۸
بازنگری: ۱۳۹۷/۰۴/۱۳
پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۲۶
ارائه آنلاین: ۱۳۹۷/۰۴/۳۱

کلمات کلیدی:

اتصال بال سوراخ شده
اتصال بال سوراخ شده با سوراخ لوبیایی
اتصال مقطع تیر کاهش یافته
اتصال بال تقویت نشده
چشمه اتصال

خلاصه: به علت بوجود آمدن آسیب در اتصالات بال جوش شده تقویت نشده در زلزله ۱۹۹۴ نورتریج، اتصالات خمشی مقطع تیر کاهش یافته و در بعد از آن اتصالات بال سوراخ شده برای جلوگیری از گسیختگی ترد زودرس در اتصالات جوشی رایج شد. در این مقاله، عملکرد لرزه ای اتصالات مقاوم خمشی با بال سوراخ شده با سوراخ لوبیایی را که به عنوان یک روش ساده برای اتصالات بال سوراخ شده در نواحی لرزه ای، مورد بررسی قرار می‌دهد. اتصالات بال سوراخ شده با وجود آوردن سوراخ بوسیله مته بروی بال‌های بالا و پایین، در امتداد محور اصلی تیر برای ایجاد یک منطقه ضعیف کنترل شده مفصل پلاستیک جهت کمتر شدن تمرکزهای تنش در لبه‌های اتصال، ایجاد می‌شوند. در این بررسی، بوسیله تعدادی از مطالعات تحلیلی، بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی قبلی، برای ارزیابی اثر استفاده از سوراخ لوبیایی در اتصالات بال سوراخ شده بر پتانسیل شکست در اتصالات جوش شده نفوذی در مقایسه با اتصالات بال سوراخ شده انجام می‌شود. سوراخ‌های لوبیایی با نسبت‌های متفاوت هندسی و نسبت‌های مقاومت برشی چشمه اتصال استفاده گردید تا بهینه ترین طرح بدست آید که از شکست زودرس در جوش‌های شیار با نفوذ کامل جلوگیری شود. نتایج نشان داد که طول بهینه سوراخ‌های لوبیایی در نسبت طول لوبیایی به قطر سوراخ تقریباً برابر عدد ۲ می‌باشد که این نسبت با توجه به الگوی ثابت قطر سوراخ‌ها که بوسیله مطالعات قبلی بدست آمده است می‌تواند سبب کاهش کرنش پلاستیک در جوش نفوذی اتصال مستقیم تیر به ستون به طور متوسط به اندازه ۲۸٪ و کاهش کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌ها به اندازه ۷۰٪ شود.

۱- مقدمه

هنگام خط جوش نزدیک به بال تیر قبل از هر گونه تسلیم تیر و تغییر شکل پلاستیک تیر می‌شود (FEMA-355D) [۲]. برای اصلاح این نوع اتصال، اتصالات کاهش یافته به منظور یافتن یک راه حل قابل اعتماد و عملی برای از بین بردن شکست در اتصالات جوش شده تیر به ستون توسعه یافت [۳]. اتصالات خمشی مقطع تیر کاهش یافته به طور کلی یک نقطه ضعف عمدی بر روی بال تیر ایجاد می‌کند که باعث ایجاد فیوز مناسب برای کاهش تنش در اتصال جوشی بر ستون می‌شود. Uang و همکاران [۴]، شش آزمایش اتصال تیر به ستون، شامل اتصالات مقطع تیر کاهش یافته انجام دادند. نتایج آزمایشات نشان داد که استفاده از بال پایینی تیر کاهش

زمین لرزه ۱۹۹۴ نورتریج نقطه عطفی در طراحی و ساخت اتصالات بال جوش شده تقویت نشده (WUF) بود. شکست اتصال بال جوش شده تقویت نشده در زلزله نورتریج موجب انهدام ساختمان‌های فلزی و از بین رفتن تعداد زیادی از مردم شد (YUSSEF) [۱]. این امر بسیاری از مهندسان و محققان را تشویق به انجام مطالعات متعدد تحقیقاتی در مورد عملکرد لرزه ای این اتصالات کرد (FEMA-355D) [۲]. نتایج نشان داد که تنش سه محوری در جوش نفوذی کامل بال‌های تیر، منجر به یک گسیختگی زود

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: Roohollah_Ahmady@yahoo.co.uk



عملکرد لازم در زمین لرزه های قوی را تامین کند. فرخی و همکاران [۱۱]، یک ورق اتصال کاهش یافته را با سوراخ هایی در ورق های بال برای ایجاد یک نقطه ضعیف عمدی پیشنهاد کردند. بررسی آنها نشان داد که اتصالات ورق بال سوراخ شده می توانند به طور قابل ملاحظه ای مقاومت و ظرفیت شکل پذیری انواع اتصالات خمشی جوش شده مقطع تیر کاهش یافته را بهتر کند. Atashzaban و همکاران [۱۲] مطالعات تحلیلی را برای بهینه سازی و پیدا کردن محل مناسب سوراخ جهت کاهش تنش و کرنش پلاستیک انجام داده اند. نتایج نشان داد که پیکربندی سوراخ نقش مهم در کنترل عملکرد لرزه ای اتصالات ورق بال سوراخ شده با چشمه اتصال قوی و خطوط جوش دارد. در مطالعه اخیر، Ahmady Jazany [۱۳] در تحلیلی نشان داد که اتصال بال سوراخ شده با پیکربندی سوراخ های با قطر متفاوت می تواند جذب انرژی بیشتری در مقایسه با اتصال ورق بال سوراخ شده با سوراخ هایی با قطر مشابه داشته باشد. Hancock و Mackenzie [14] روی مفهوم شکست در فولاد پر مقاومت براساس تنش چند محوره به تشریح مکانیسم های محتمل پرداختند. سپس Kanvinde و Deierlein [۱۵ و ۱۶] مدلی با نام Cyclic Void Growth Model (CVGM) برای پیش بینی شروع ترک خوردگی در مصالح شکل پذیر مانند فولاد ارائه دادند. بر اساس این مدل پتانسیل ترک خوردگی (شکست) در نقطه ای از فلز زمانی آغاز می شود که کرنش معادل پلاستیک (EPEQ) از حد معینی از کرنش که بر اساس مشاهدات و راستی آزمایی آزمایشگاهی بیشتر شود. این حد از کرنش بر اساس مدل پیشنهادی تابعی است از شرایط تنش سه محوره و تنش وون میسر. هدف این مقاله، بررسی عملکرد لرزه ای اتصالات ورق بال سوراخ شده با سوراخ لوبیایی برای یافتن بهترین اندازه طول سوراخ لوبیایی با توجه به نسبت های مقاومت خمشی تیر به مقاومت برشی چشمه اتصال، می باشد. برای اثبات عملکرد اتصالات ورق بال سوراخ شده با سوراخ لوبیایی، ظرفیت چرخشی پلاستیک و شاخص شکست تحلیلی آنها با مقادیر متناظر اتصالات ورق بال سوراخ شده با سوراخ دایره ای مقایسه می شوند.

۲- راستی آزمایی آزمایش مرجع با استفاده از روش اجزاء محدود

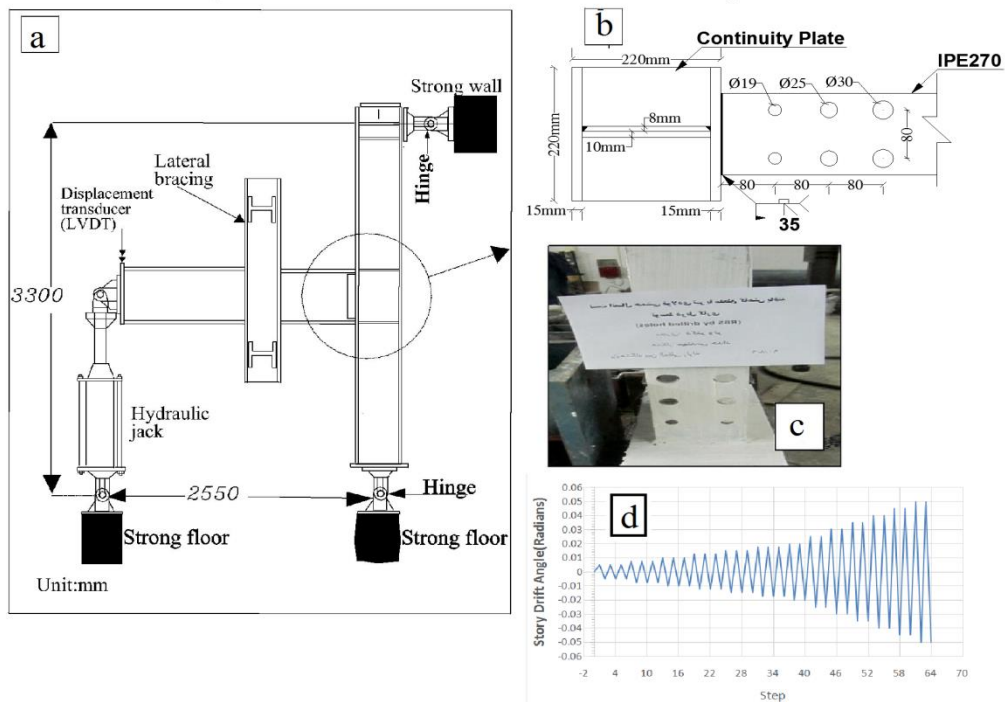
به منظور مطالعه رفتار لرزه ای اتصال ورق بال سوراخ شده با

یافته به تنهایی نمی تواند مانع گسیختگی ترد در جوش نفوذی بال بالایی شود و وجود یک دال بتنی با حذف پشت بند جوش نفوذی، عملکرد لرزه ای را بهبود می بخشد. به گفته Roeder [۵]، اتصال مقطع تیر کاهش یافته می تواند عملکرد لرزه ای با ظرفیت چرخشی پلاستیکی تا دوران ۰/۰۴ رادیان را تامین کند. Lee و همکاران [۶]، هشت آزمایش کامل روی اتصالات خمشی فولادی مقطع تیر کاهش یافته جهت بررسی اثر نوع اتصال جان (پیچ شده در مقابل جوش شده) و مقاومت چشمه اتصال بر عملکرد لرزه ای قاب خمشی انجام دادند. طبق نتایج این تحقیق هر دو نمونه چشمه اتصال قوی و متوسط که دارای یک اتصال جان جوش شده اند، قادر به ایجاد ظرفیت چرخشی مناسب بر اتصال اساس معیار های قاب های مقاوم خمشی ویژه می باشند. بر همین اساس، معیاری برای مقاومت چشمه اتصال متعادل پیشنهاد دادند، که می تواند ظرفیت چرخشی پلاستیک اتصالات مقطع تیر کاهش یافته را بهتر کند. Wu و chou [۷]، بر مبنای الگوی اتصالات خمشی مقطع تیر کاهش یافته، به ارائه الگوی خاص ورق اتصال با بال کاهش یافته فولادی که به عنوان یک فیوز برای رفع کمانش تیر و گسیختگی جوش، عمل می کند ارائه دادند و یک اتصال خمشی جدید یافتند. نتایج تحلیلی و آزمایشی آنها نشان داد که اتصال بال کاهش یافته فولادی پیشنهاد شده دارای عملکرد خوبی بوده و می تواند به تغییر مکان نسبی میان طبقه ۰/۴٪، بدون تنزل مقاومت دست یابند. اگرچه اتصال مقطع تیر کاهش یافته می تواند سطوح شکل پذیری بالایی را ایجاد کند، اما آنها معمولاً دارای تمرکز تنش افزایش یافته ای در جان تیر و یک کاهش چشمگیر در ظرفیت خمشی و سختی اتصال را تجربه می کنند. Pachoumis و همکاران [۸]، عملکرد اتصال خمشی مقطع تیر کاهش یافته با جزئیات خاص را تحت بارگذاری چرخه ای بررسی کردند. Vetr و همکاران [۹]، برای بررسی عملکرد لرزه ای اتصالات ورق بال سوراخ شده تحت بارگذاری چرخه ای، آزمایش های متعددی انجام دادند و اتصالات ورق بال سوراخ شده در بررسی های آنها به ظرفیت خمشی مورد انتظار براساس آیین نامه طراحی رسیدند و سختی چرخشی کافی و شکل پذیری چرخشی مطلوبی را نشان دادند. Ghassemieh و Kiani [۱۰]، در مطالعه تحلیلی خود، نتیجه گرفتند که اثر انعطاف پذیری اتصالات تیر به ستون باید در طراحی لرزه ای و مدل سازی عددی اتصالات خمشی مقطع تیر کاهش یافته مورد توجه قرار گیرد تا

جدول ۱. مشخصات مصالح برای نمونه‌های تحلیلی این تحقیق

نمونه آزمایش	مقطع ستون (mm)	مقطع تیر	ضخامت ورق مضاعف	مشخصات مصالح		مشخصات جوش
				ستون	تیر	d/e/f
DF	H220*220*10*15	IPE270	8 (mm)	SM400	ST37	E7018 35/20

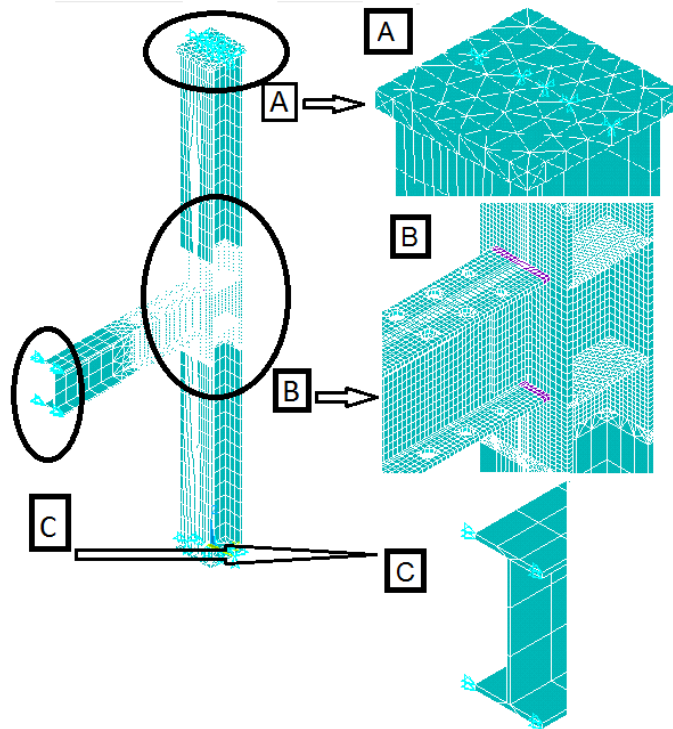
d نوع الکتروود، e زاویه پخ (درجه)، f قطر ریشه جوش (میلی‌متر)



شکل ۱. نمای شماتیک نمونه آزمایشی منتخب. (a) سازوکار نمونه آزمایش مرجع وتر و همکاران [۹]، (b) پیکربندی سوراخ در آزمایش مرجع وتر و همکاران [۹]، (c) دید از روبرو آزمایش مرجع وتر و همکاران [۹] و (d) الگوی بارگذاری

l-c و l-d) مشخصات نمونه آزمایشگاهی Vetr و همکاران [۹] که با نام DF مشخص شده و همچنین بارگذاری لرزه ای در اتصال خارجی تیر به ستون با اعمال بارگذاری تغییر مکانی در سر تیر بر اساس الگوی بارگذاری مطابق آیین‌نامه لرزه ای AISC [۱۷] لحاظ شده رانشان می‌دهد. مدل آزمایشگاهی مذکور شامل یک اتصال تیر به ستون با ابعاد نشان داده شده در شکل (l-a-b) می‌باشد. نرم‌افزار اجزا محدود ANSYS [۱۸] برای مدل‌سازی نمونه‌های تحلیلی و شبیه‌سازی

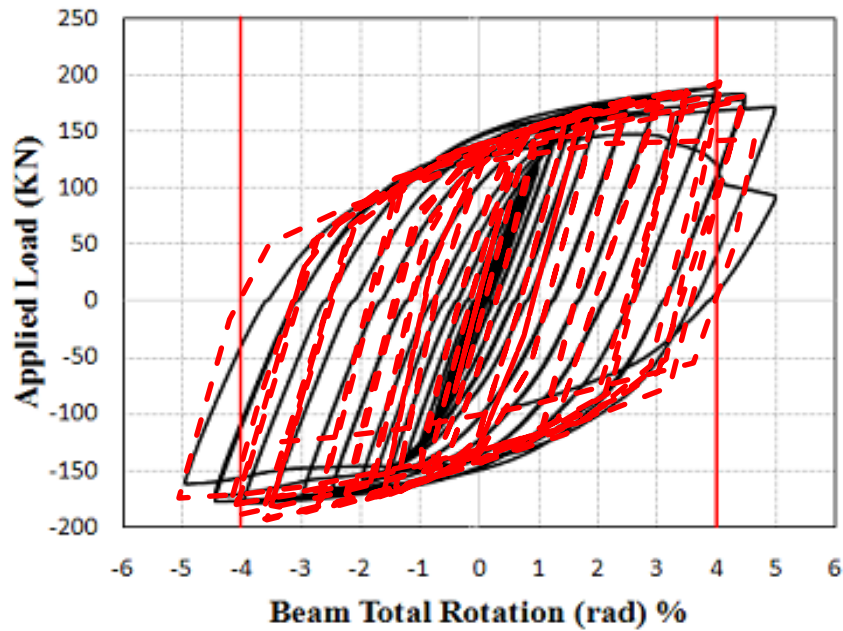
سوراخ لوبیایی، آزمایش تجربی انجام شده توسط Vetr و همکاران [۹] برای اعتبارسنجی تجربی برای مدل توسعه یافته اجزا محدود انتخاب شد. ذکر این نکته قابل اهمیت است که بال و جان تیر و ستون اتصال آزمایش شده مذکور در آزمایش مرجع [۹] ضوابط فشرده لرزه ای براساس آیین‌نامه [۱۷] AISC را ارضا می‌کنند. لذا بحث پایداری اتصال در این تحقیق فراهم شده است. مشخصات مصالح طبق آزمایش مرجع و جدول ۱ استفاده شد. شکل (l-a)، (l-b)،



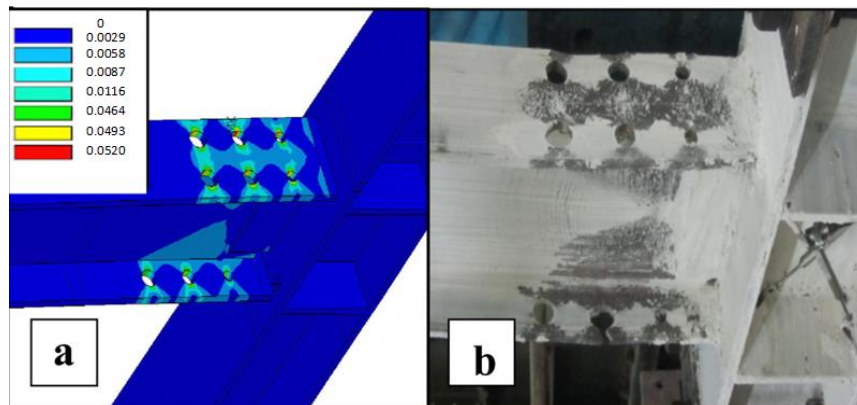
شکل ۲. مدل تحلیلی مرجع. (a) - شرایط مرزی بالا و پایین ستون (b) - اتصال DF (c) - شرایط مرزی انتهایی تیر

کمانش موضعی مشاهده شده در آزمایش مقادیر تغییر مکان نسبی به اندازه $0/001$ مقدار کمانش واقعی در مدل تحلیلی بصورت بار تغییر مکانی اعمال گردید. این عمل به عنوان یک نقص اولیه (Initial Imperfection) در اجزایی که کمانش موضعی، در آزمایش، در آنها مشاهده شده است را در تحلیل بر مبنای آزمایش وارد می‌کند. به منظور تولید مدل‌های اجزا محدود در مناطق دارای تنش بالا، با جزءبندی یکنواخت با ابعاد المان یک سانتی‌متری در نزدیکی اتصال مورد استفاده قرار گرفت. اولین معیار انتخاب اندازه جزءبندی، تغییر جزءبندی‌ها تا سطحی که نتایج پاسخ رفتاری تحلیلی با داده‌های متناظر آزمایش موجود به شباهت خوبی برسند، می‌باشد. دومین معیار، انتخاب ابعاد بهینه اجزاء را جع به زمان تحلیل و دقت بهینه لازم می‌باشد. به همین منظور، چند مدل تحلیلی با استفاده از تعدادی ابعاد جزء بندی متفاوت، تحلیل شده است تا بهترین جواب بدست آید. بالا و پایین ستون طبق آزمایش مرجع به حالت مفصلی بسته شده است و در انتهایی تیر چون بارگذاری بصورت جابه جایی قائم می‌باشد تا بارگذاری لرزه‌ای شبیه سازی شود، برای جلوگیری از حرکت در جهات غیر از جهت بارگذاری بسته شده است (شکل ۲c-b-a). در نمونه آزمایشی DF چرخشی کلی اتصال در انتهایی

رفتار لرزه ای نمونه مرجع مورد استفاده قرار گرفت. مدل عددی اجزا محدود می‌تواند رفتار غیرخطی را لحاظ کند. عناصر فولاد و جوش نمونه آزمایشگاهی Vetr و همکاران [۹] شامل تیر، ستون، خطوط جوش با استفاده از یک اجزاء جامد (SOLID185) که دارای قابلیت مدل‌سازی حرکت سه درجه آزادی در هرگره می‌باشد، مدل‌سازی شدند. همچنین اجزاء مذکور قابلیت لحاظ کردن تغییرشکل‌های بزرگ را در مدل تحلیلی دارد. برای مدل‌سازی جوش ابعاد واقعی هندسی پخ و ریشه جوش با توجه به مشخصات واقعی آن در آزمایش، در مدل تحلیلی اجزاء محدود لحاظ شدند. لازم به ذکر است که مشخصات مصالح جوش به کار رفته در مدل تحلیلی از مقادیر متناظر گزارش شده توسط آزمایش مرجع Vetr و همکاران [۹] و مطالعه Atashzaban و همکاران [۱۲] اقتباس شده است. معیار تسلیم وون میسر برای تعریف معیار تسلیم مصالح انتخاب شده است. خواص مواد به دست آمده از آزمون کشش آزمایش‌های مرجع Vetr و همکاران [۹] در مدل اجزا محدود استفاده شده است. به منظور لحاظ کردن کمانش موضعی اجزاء تیر براساس مشاهدات آزمایشگاهی ذکر شده در مطالعات Vetr و همکاران [۹] جانمایی محل کمانش‌ها از روی آزمایش‌های تجربی مشخص گردید. سپس در مختصات متناظر با



شکل ۳. مقایسه میان پاسخ آزمایشگاهی (خطوط مشکی) و تحلیلی (خطوط قرمز)



شکل ۴. (a) توزیع کرنش پلاستیک معادل مدل تحلیلی نمونه آزمایش DF در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۵ رادیان (سمت چپ) - (b) توزیع کرنش پلاستیک معادل برای مدل تحلیلی نمونه آزمایشگاهی [۹]، در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۵ رادیان (سمت راست)

با مشاهدات و پاسخ های لرزه‌ای آزمایشگاهی راستی‌آزمایی شدند. با توجه به شکل ۳ پاسخ چرخه ای که از مدل اجزا محدود نمونه DF گرفته شده است با پاسخ لرزه‌ای آزمایش مرجع با خطای کمتر از ۸٪ شباهت خوبی دارد. بر اساس نتایج تحلیلی اجزا محدود، توزیع کرنش پلاستیک در مدل برای اتصالات بال سوراخ شده برای اعتبارسنجی مدل‌های اجزا محدود استفاده شده است. همان‌طور که از شکل ۴ قابل مشاهده است، شباهت خوبی بین پوسته شدن منطقه سفید

آزمایش به حدود ۵٪ تغییر شکل نسبی طبقه رسید، قبل از این مرحله یک ترک شکل‌پذیر در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان آغاز شد، این ترک خوردگی در لبه یکی از سوراخ‌های موجود در ردیف اول بال پایینی تیر واقع شد و هنگامی که آزمایش پایان یافت این ترک تا مرز بال و جان تیر توسعه یافت. آغاز ترک خوردگی فوق‌الذکر در بال پایینی با تنزل مقاومت تا حدود ۱۵٪ همراه بود. در این تحقیق مدل مرجع اجزا محدود با استفاده از پاسخ های چرخه ای

دربخش های آینده این دو معیار مورد بررسی قرار می گیرد.

۴- توصیف مدل های اجزاء محدود

در این مطالعه روش تحلیل اجزاء محدود که قبلاً توصیف شده، برای بررسی تأثیر سوراخ لوبیایی در مشخصات هندسی به کار گرفته شده است. آرایش سوراخها شامل بر ابعاد، قطر سوراخها، تعداد ردیف سوراخها و فاصله سوراخها از هم و فاصله اولین ردیف سوراخ تا بر ستون مشابه با آزمایش Vetr و همکاران [۹] قرار داده شده است. در این مطالعه صرفاً وجود طول لوبیایی در سوراخ و ترکیب گزینه های سوراخ لوبیایی و سوراخ عادی مورد مطالعه تحلیلی قرار گرفته است و الگوی قطر سوراخها و توالی و ترتیب آنها از نظر بزرگی و کوچکی همانند نمونه آزمایشگاهی مرجع انتخاب شده است. شایان ذکر است الگوی سوراخها در آزمایش اصلی به گونه ای بوده است که در هر ردیف از سوراخها با افزایش فاصله مرکز سوراخ نسبت به بر ستون قطر سوراخ افزایش پیدا کند. این الگو بر این مبنا انتخاب شده است که، همان گونه که لنگر تقاضای لرزه ای با فاصله گرفتن از بر ستون کاهش پیدا می کند ممان اینرسی مؤثر در مقطع سوراخ با افزایش فاصله کاهش پیدا کند که این موضوع با افزایش قطر سوراخ با فاصله گرفتن از بر ستون تامین می شود. طبق آیین نامه FEMA-355D [۲]، برش بوجود آمده در چشمه اتصال به علت تسلیم خمشی تیر را، می توان به وسیله رابطه (۳) تعریف کرد:

$$V_{PZMy} = \sum \frac{M_y}{d_b} \left(\frac{L}{L-d_c-2l_p} \right) \left(\frac{h-d_b}{h} \right) \quad (3)$$

که برشی است که از تیر به چشمه اتصال منتقل می شود، طول دهانه تیر، h ارتفاع کلی ستون، d_b عمق مقطع تیر، d_c ارتفاع مقطع ستون، M_y ظرفیت لنگر تسلیم و L_p طول ورق اتصال می باشد. ظرفیت تسلیم برشی، چشمه اتصال بوسیله رابطه (۴) در مقررات FEMA-355D [۲] تعریف می شود:

$$V_y = 0.6 F_{yc} . d_c . t_{wc} \quad (4)$$

که F_{yc} تنش تسلیم جان ستون، t_{wc} ضخامت جان ستون (شامل ضخامت جان ستون و ورق های تقویتی) می باشد. توصیه نامه FEMA-355D [۲]، پیشنهاد می کند که اگر

شده در آزمایش و توزیع کرنش پلاستیک وجود دارد. این مسأله نشان می دهد سوراخها اثر کار آمدی بر کاهش کرنش پلاستیک بر جوش اتصال تیر به ستون جوش داده شده دارد که با جزئیات بیشتر در بخش های بعدی مورد بحث قرار می گیرد.

۳- شاخص های شکست:

در تحقیق تحلیلی حاضر، شاخص های شکست تحلیلی برای پیش بینی و نظارت بر شروع ترک خوردگی، مورد استفاده قرار گرفته است. شاخص شکست (RI) یکی از شاخص های تحلیلی مفید است که توسط بسیاری از محققین از جمله Atashzaban و همکاران و Ahmady Jazany [۱۲ و ۱۳] مورد استفاده قرار گرفته است تا پتانسیل شکست این اتصالات را ارزیابی کند.

$$RI = \frac{\varepsilon_{eqv}^{pl} / \varepsilon_y}{\exp(-1.5 \frac{\sigma_m}{\sigma_{eff}})} \quad (1)$$

نسبت تنش هیدرو استاتیک به تنش وون میسر یعنی $(\frac{\sigma_m}{\sigma_{eff}})$ شاخص سه محوری (TR) نامیده می شود. کرنش پلاستیک معادل (ε_{eqv}^{pl}) پارامتر دیگری است که مورد ارزیابی قرار می گیرد که در رابطه (۲) تعریف می شود:

$$\varepsilon_{eqv}^{pl} = \frac{1}{\sqrt{2(1+\nu)}} \left[(\varepsilon_x^{pl} - \varepsilon_y^{pl})^2 + (\varepsilon_y^{pl} - \varepsilon_z^{pl})^2 + (\varepsilon_z^{pl} - \varepsilon_x^{pl})^2 + \frac{2}{3} (\gamma_{xy}^{pl^2} + \gamma_{yz}^{pl^2} + \gamma_{zx}^{pl^2}) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

که ε_i^{pl} و $i=X,Y,Z$ مؤلفه های مربوطه به کرنش طولی پلاستیک، $(ij=XY,YZ,XX)$ مؤلفه های مربوطه به کرنش برش پلاستیک و ν' ضریب پواسون مؤثر می باشد. نتایج کرنش پلاستیک معادل با استفاده از نمودارهای توزیع کرنش نشان داده می شود و از آن می توان برای پیش بینی سطح توزیع تسلیم با دقت مناسب به کار برد. آیین نامه AISC [۱۷] تنها دو ضابطه برای کفایت استفاده از یک اتصال پیشنهادی برای قاب خمشی ویژه در نظر می گیرد:

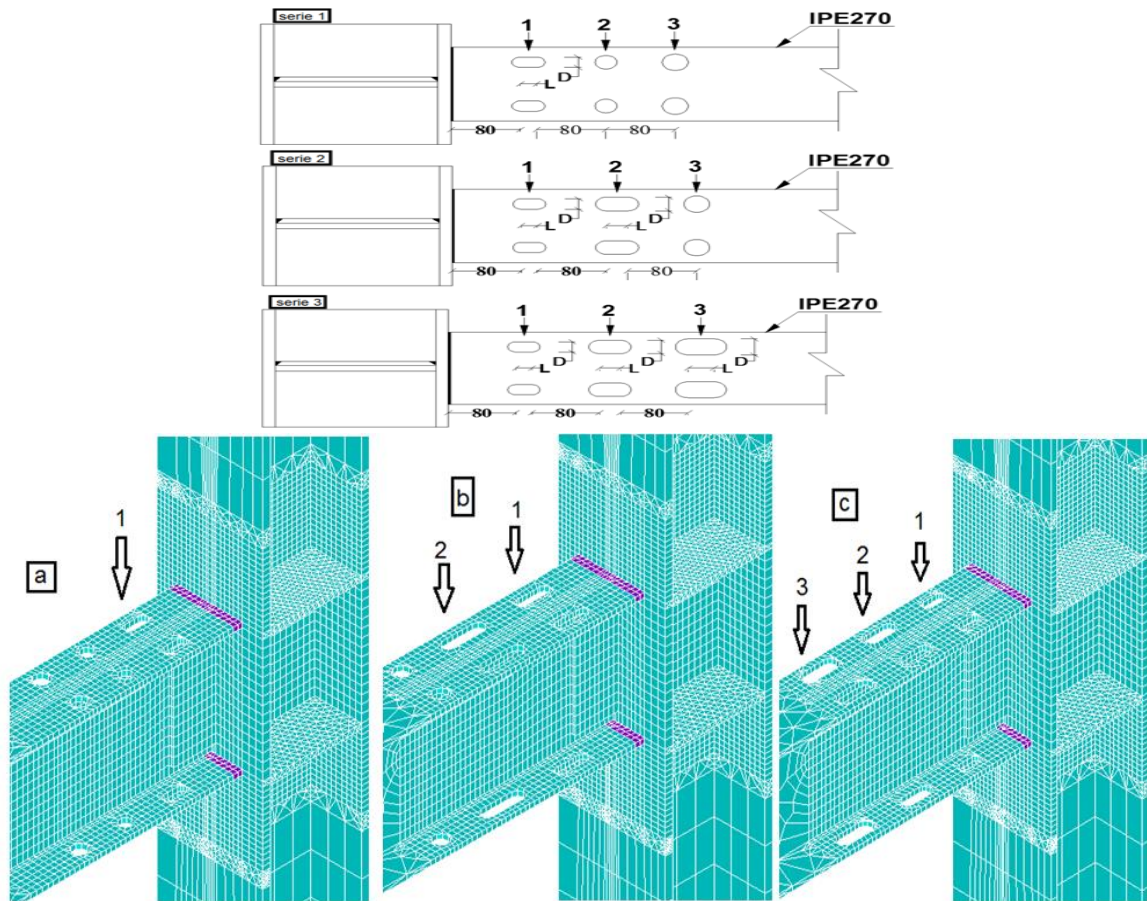
- ۱- اتصال بتواند دوران های مجموع تا ۰/۰۴ رادیان را و دوران پلاستیک تا ۰/۰۳ رادیان را تا قبل از شکست اتصال تجربه نماید.
- ۲- مقدار افت مقاومت نسبت به مقاومت پیشینه از ۲۰٪ تجاوز ننماید.

الگوی سوراخ‌های لوبیایی، تعداد کلی ۳۰ مدل تحلیلی قابل مقایسه تعریف شدند. اولین مجموعه از مدل‌های تحلیلی با چشمه اتصال متوسط و دارای سه الگوی سوراخ لوبیایی می‌باشد. اولین الگو ایجاد سوراخ لوبیایی در ردیف اول با طول لوبیایی L برحسب قطر سوراخ D و نسبت‌های $(\frac{L}{D})$ ، $0/5$ ، 1 ، $1/5$ ، 2 ، $2/5$ می‌باشد. دومین الگو ایجاد سوراخ لوبیایی در ردیف اول و دوم با طول لوبیایی L برحسب قطر سوراخ D و نسبت‌های $(\frac{L}{D})$ ، $0/5$ ، 1 ، $1/5$ ، 2 و $2/5$ می‌باشد. سومین الگو ایجاد سوراخ لوبیایی در ردیف اول و دوم و سوم با طول لوبیایی L برحسب قطر سوراخ D و نسبت‌های $(\frac{L}{D})$ ، $0/5$ ، 1 ، $1/5$ ، 2 و $2/5$ می‌باشد (جدول ۲).

$0/6 \leq V_{pzm} / V_y \leq 0/9$ باشد، حاشیه ای ایمنی برای جلوگیری از تمرکز تنش اضافی در اتصال یا تغییر شکل بیش از حد چشمه اتصال فراهم می‌شود. در آزمایش مرجع ضخامت ورق تقویتی به کار رفته ۸ میلی‌متر بوده و در میانگین محدوده چشمه اتصال متوسط قرار می‌گیرد. یعنی $V_{pzm} / V_y \cong 0/75$ می‌باشد. برای توسعه نتایج آزمایش مینا، نسبت‌های V_{pzm} / V_y ، $0/75$ ، $0/50$ ، $0/75$ = چشمه اتصال متوسط و $0/50$ = چشمه اتصال قوی) نیز در مدل‌های تحلیلی استفاده شده است. برای ایجاد چشمه اتصال قوی از ۲ عدد ورق تقویتی به ضخامت ۸ میلی‌متر در پشت و جلوی جان ستون در مدل‌های تحلیلی استفاده شده است. بر مبنای نوع چشمه اتصال و

جدول ۲. خلاصه جزئیات برای نمونه‌های تحلیلی این تحقیق

سری	نمونه‌های تحلیلی	$(\frac{L}{D})$	ردیف سوراخ			D (mm)			L (mm)		
			1	2	3	19	25	30	9.50	0.00	0.00
1*	DF 1-0.50	0.50	1	2	3	19	25	30	9.50	0.00	0.00
	DF 1-1.00	1.00	1	2	3	19	25	30	19.00	0.00	0.00
	DF 1-1.50	1.50	1	2	3	19	25	30	28.50	0.00	0.00
	DF 1-2.00	2.00	1	2	3	19	25	30	38.00	0.00	0.00
	DF 1-2.50	2.50	1	2	3	19	25	30	47.50	0.00	0.00
2*	DF 1,2-0.50	0.50	1	2	3	19	25	30	9.50	12.50	0.00
	DF 1,2-1.00	1.00	1	2	3	19	25	30	19.00	25.00	0.00
	DF 1,2-1.50	1.50	1	2	3	19	25	30	28.50	37.50	0.00
	DF 1,2-2.00	2.00	1	2	3	19	25	30	38.00	50.00	0.00
	DF 1,2-2.50	2.50	1	2	3	19	25	30	47.50	62.50	0.00
3*	DF 1,2,3-0.50	0.50	1	2	3	19	25	30	9.50	12.50	15.00
	DF 1,2,3-1.00	1.00	1	2	3	19	25	30	19.00	25.00	30.00
	DF 1,2,3-1.50	1.50	1	2	3	19	25	30	28.50	37.50	45.00
	DF 1,2,3-2.00	2.00	1	2	3	19	25	30	38.00	50.00	60.00
	DF 1,2,3-2.50	2.50	1	2	3	19	25	30	47.50	62.50	75.00
	الگوی سوراخ‌ها مطابق شکل (۵) می‌باشد										
	L/D نسبت طول لوبیایی به قطر سوراخ										
	D قطر سوراخ										
	L طول لوبیایی										
	* سری‌های فوق برای نسبت‌های چشمه اتصال ۰.۷۵ و ۰.۵۰ مشابه هم می‌باشد										



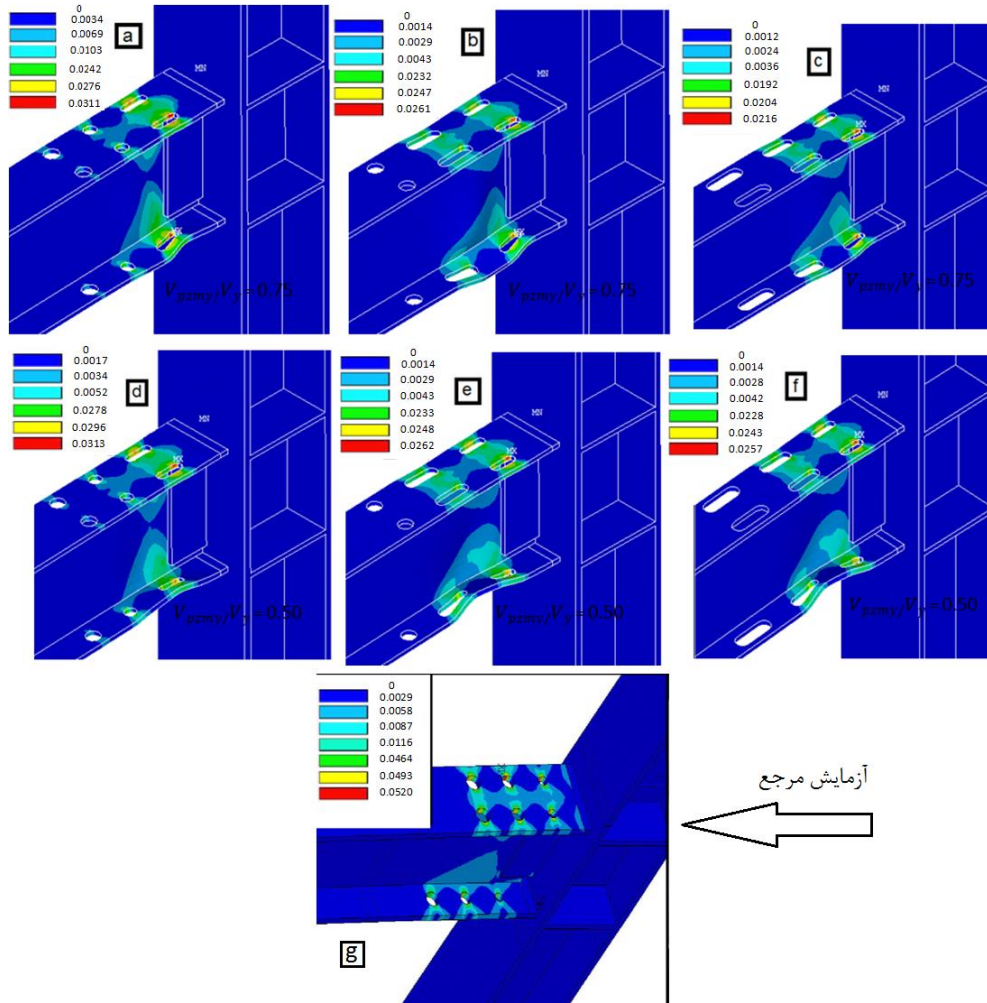
شکل ۵. نمونه‌های تحلیلی اجزا محدود. (a) پیکربندی سوراخ با یک ردیف لوبیایی، (b) پیکربندی سوراخ با دو ردیف لوبیایی و (c) پیکربندی سوراخ با سه ردیف لوبیایی

عملکرد قاب مقاوم خمشی ویژه را به عنوان یک سیستم مقاوم جانبی شکل‌پذیر، کاهش می‌دهد. در این تحقیق از شاخص گسیختگی (RI) و کرنش پلاستیک معادل (EPEQ) و تنش سه محوری (TR) برای بررسی پتانسیل شکست استفاده می‌شود. از آنجایی که مقررات لرزه ای AISC [۱۷]، تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان را به عنوان یکی از معیارهای پذیرش قاب مقاوم خمشی ویژه تعریف کرده است. بنابراین در این بررسی، همه پارامترهای تحلیلی مثل کرنش پلاستیک معادل (EPEQ) و شاخص گسیختگی (RI) و تنش سه محوری (TR) در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان در نظر گرفته می‌شود. برای همه مدل‌های تحلیلی، نقطه بحرانی اول و دوم در تقاطع (فصل مشترک) تیر به ستون در جوش نفوذی و کنار سوراخ ها واقع شده است. این نقاط براساس مشاهدات آزمایشگاهی انتخاب شدند. برای بررسی پتانسیل شکست، مقادیر شاخص های شکست

نامگذاری متشکل از دو قسمت می باشد قسمت اول، ردیف سوراخ و قسمت دوم نسبت $\left(\frac{L}{D}\right)$ را نشان می‌دهد. درجه چشمه اتصال در نمودارها با نسبت‌های $V_{p2my}/V_y = 0.75, 0.50$ بر اساس ضخامت ورق‌های مضاعف (شامل ضخامت جان ستون)، برای هر مجموعه نشان داده شده است. شکل ۵ نمونه‌های تحلیلی اجزا محدود را که تعریف شده اند نشان می‌دهد.

۵- مقایسه شاخص های شکست

شاخص گسیختگی (RI) به صورت رابطه (۱) تعریف شده است. بر مبنای این معادله، یک مقدار شاخص گسیختگی (RI) بزرگتر، پتانسیل محتمل تری برای ترک خوردگی را نشان می‌دهد. گسیختگی اتصال بال تیر در ناحیه جوش نفوذی به ستون، یک مود گسیختگی نامطلوب برای اتصالات جوش شده بال تقویت نشده بوده و



شکل ۶. کرنش پلاستیک معادل (EPEQ)، در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی های مختلف سوراخ لوبیایی با نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ و (e)،(d) و (f). برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.50$ و (a)،(b)،(c). برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.75$ و (g). آزمایش مرجع

برابر قطر اولین ردیف سوراخ‌ها برای کنترل تغییرشکل‌های بزرگ و کرنش پلاستیک در بر اتصال جوشی در نظر گرفته شده است. مقایسه EL-Tawil و همکاران [۱۹] نشان داد نسبت تنش سه محوری بیشتر از ۱/۵ شکستگی ترد در جوش بوجود می‌آورد و چون مقادیر (TR) جدول ۳ و شکل ۷ c و d بین ۰/۵ تا ۱/۵ می باشد باعث کاهش در کرنش گسیختگی جوش می‌شود. شکل ۶ نشان دهنده کرنش پلاستیک معادل (EPEQ) در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی های مختلف سوراخ لوبیایی با نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ می باشد که بر حسب درصد بیان شده است. بر اساس همین رابطه برای RI بزرگتر پتانسیل محتمل تری برای ترک خوردگی ایجاد می‌کند و با لوبیایی کردن ردیف اول و دوم و سوم سوراخ‌ها در نسبت

تحلیلی در نقاطی بحرانی و با توجه به مدل‌های تحلیلی با الگوهای مختلف اتصال در نظر گرفته شدند. شکل ۶ کرنش پلاستیک معادل در نمونه‌های تحلیلی با نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل سه آرایش سوراخ لوبیایی کمترین مقدار کرنش پلاستیک معادل را در هر دو چشمه اتصال قوی و متوسط دارد. با توجه به این شکل، کمانش‌های ایجاد شده در بال پایینی نمونه‌های تحلیلی که در شکل ۶ مشاهده می‌شود ناشی از تغییرشکل‌های بزرگ غیر خطی مصالح می باشد که با در نظر گرفتن فاصله مناسب برای اولین ردیف سوراخ لوبیایی نسبت به بال ستون امکان کنترل این کمانش غیرخطی بطور نسبی فراهم می‌شود. در مطالعه آتش‌زبان و همکاران [۱۲] فاصله بهینه اولین ردیف سوراخ نسبت به بر ستون برابر ۳ تا ۵

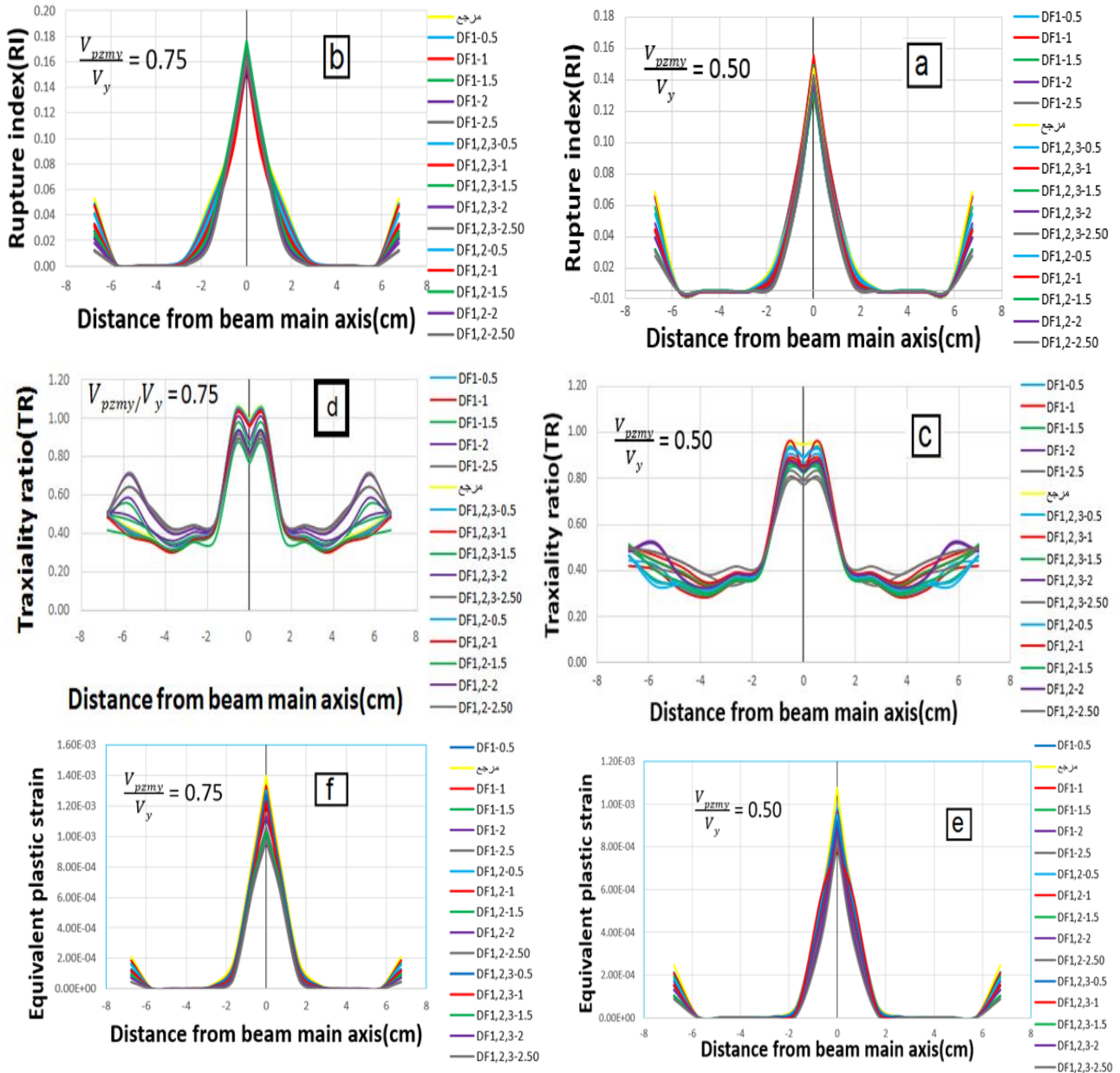
جدول ۳. مقادیر شاخص گسیختگی (RI) تنش سه محوری (TR) کرنش پلاستیک معادل (EPEQ)، در وسط و انتهای خط جوش نفوذی در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی‌های مختلف سوراخ لوبیایی

نمونه‌های تحلیلی	چشمه اتصال متوسط						چشمه اتصال قوی					
	EPEQ		TR		RI		EPEQ		TR		RI	
	فاصله از محور اصلی تیر		فاصله از محور اصلی تیر		فاصله از محور اصلی تیر		فاصله از محور اصلی تیر		فاصله از محور اصلی تیر		فاصله از محور اصلی تیر	
	0	6.75	0	6.75	0	6.75	0	6.75	0	6.75	0	6.75
مرجع	0.0014	0.0002	0.9956	0.5059	0.1714	0.0528	0.0011	0.0002	0.9485	0.5058	0.1419	0.0633
DF 1-0.5	0.0014	0.0002	0.9885	0.5013	0.1689	0.0486	0.0010	0.0002	0.8629	0.4420	0.1482	0.0599
DF 1-1	0.0013	0.0002	0.9776	0.5019	0.1677	0.0474	0.0010	0.0002	0.8324	0.4202	0.1504	0.0606
DF 1-1.5	0.0011	0.0002	0.8560	0.5111	0.1708	0.0415	0.0009	0.0002	0.8221	0.4597	0.1444	0.0536
DF 1-2	0.0011	0.0001	0.8877	0.5127	0.1637	0.0276	0.0010	0.0002	0.8886	0.4986	0.1370	0.0434
DF 1-2.5	0.0011	0.0001	0.8094	0.5120	0.1720	0.0245	0.0009	0.0001	0.7959	0.4935	0.1423	0.0384
DF 1,2- 0.5	0.0013	0.0002	0.9803	0.4994	0.1639	0.0406	0.0010	0.0002	0.8888	0.4687	0.1370	0.0492
DF 1,2-1	0.0012	0.0001	0.9548	0.9548	0.1619	0.0327	0.0009	0.0002	0.8505	0.5053	0.1369	0.0391
DF 1,2- 1.5	0.0010	0.0001	0.7645	0.4173	0.1759	0.0274	0.0008	0.0001	0.8290	0.5153	0.1266	0.0265
DF 1,2-2	0.0010	0.0001	0.8168	0.5049	0.1636	0.0211	0.0008	0.0001	0.8281	0.4819	0.1339	0.0342
DF 1,2- 2.5	0.0010	0.0000	0.7934	0.5000	0.1627	0.0121	0.0008	0.0001	0.7711	0.4946	0.1374	0.0254
DF 1,2,3- 0.5	0.0013	0.0001	0.9762	0.4950	0.1611	0.0331	0.0009	0.0001	0.8927	0.4642	0.1318	0.0406
DF 1,2,3- 1	0.0012	0.0001	0.9693	0.4957	0.1565	0.0310	0.0008	0.0002	0.8272	0.4999	0.1241	0.0395
DF 1,2,3- 1.5	0.0010	0.0001	0.8269	0.5031	0.1618	0.0228	0.0009	0.0001	0.8409	0.4978	0.1333	0.0265
DF 1,2,3- 2	0.0010	0.0001	0.8196	0.4804	0.1556	0.0183	0.0009	0.0001	0.8557	0.4867	0.1335	0.0344
DF 1,2,3- 2.5	0.0010	0.0000	0.7937	0.5066	0.1614	0.0116	0.0008	0.0001	0.7890	0.4967	0.1378	0.0226

[۹] پارگی کنار یکی از سوراخ‌ها در ۰/۰۴ رادیان و گسترش آن در ۰/۰۵ رادیان باعث کاهش عملکرد لرزه ای اتصال و افت مقاومت نهایی تا ۱۰٪ شده است. در این تحقیق، میزان کرنش پلاستیک در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان، با افزایش نسبت $(\frac{L}{D})$ ، در کنار سوراخ‌ها و همچنین بروی خط جوش کاهش می یابد. طبق نتایج جدول ۴ برای چشمه اتصال با درجه متوسط ($V_{pmy}/V_y = 0.75$) با لوبیایی کردن ردیف اول سوراخ‌ها در نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ نسبت به نمونه تحلیلی مرجع میزان ۴۷٪ کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های ردیف

$(\frac{L}{D}=2)$ مطابق جدول ۳ و شکل ۷ a و b نسبت به نمونه تحلیلی مرجع میزان RI به مقدار ۱۰٪ کاهش یافته است.

همچنین از معیارهای سنجش در این تحقیق میزان کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های لوبیایی نسبت به سوراخ‌های آزمایش مرجع می باشد (شکل ۸) و در طول سوراخ لوبیایی، کرنش پلاستیک قرائت شده و مقدار بیشینه آن با توجه به شکل ۹ بدست آمده است و قبلا در تحقیقاتی مثل (آتش زبان و همکاران و احمدی جزنی [۱۲] و [۱۳]) مورد بررسی قرار گرفته است. در آزمایش مرجع وتر و همکاران



شکل ۷. (a)، (b). شاخص گسیختگی (RI)، (c)، (d). تنش سه محوری (TR)، (e)، (f). مقادیر کرنش پلاستیک معادل (EPEQ)، در امتداد خط جوش نفوذی CJP در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی های مختلف سوراخ لوبیایی و (a)، (c)، (e). برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.50$ و (b)، (d)، (f). برای نسبت

$$V_{pzmy}/V_y = 0.75$$

نسبت به نمونه تحلیلی مرجع میزان ۰/۶۱ و ۰/۷۱ و ۰/۸۸. کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های ردیف اول و دوم و سوم کاهش یافته است. برای چشمه اتصال با درجه قوی $V_{pzmy}/V_y = 0.50$ با لوبیایی کردن ردیف اول سوراخ‌ها در نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ نسبت به نمونه

اول کاهش یافته است. با لوبیایی کردن ردیف اول و دوم سوراخ‌ها در نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ نسبت به نمونه تحلیلی مرجع میزان ۰/۵۳ و ۰/۶۶. کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های ردیف اول و دوم کاهش یافته است. با لوبیایی کردن ردیف اول و دوم و سوم سوراخ‌ها در نسبت

تقریباً در تمام نمونه ها شروع می شود ناشی از کمانش ناحیه‌ای از بال در کنار سوراخ لوبیایی می باشد. بر طبق آیین‌نامه ATC 24 [۲۰] پوش لرزه ای منحنی چرخه‌ای مدل‌های تحلیلی کشیده شده است (شکل ۱۱) و طبق پروتکل AISC [۱۷] اگر افت مقاومت بالای ۲۰٪ داشته باشند نمونه برای اتصال خمشی ویژه قابل قبول نمی باشد. با توجه به نمودارها در شکل ۱۱ و مقادیر جدول ۵ برای تمام نمونه‌های تحلیلی افت مقاومت بالای ۲۰٪ نداشته و تمامی آنها ضابطه دوم قاب اتصال قاب خمشی که در بخش قبلی ذکر شده است را برآورده می کند.

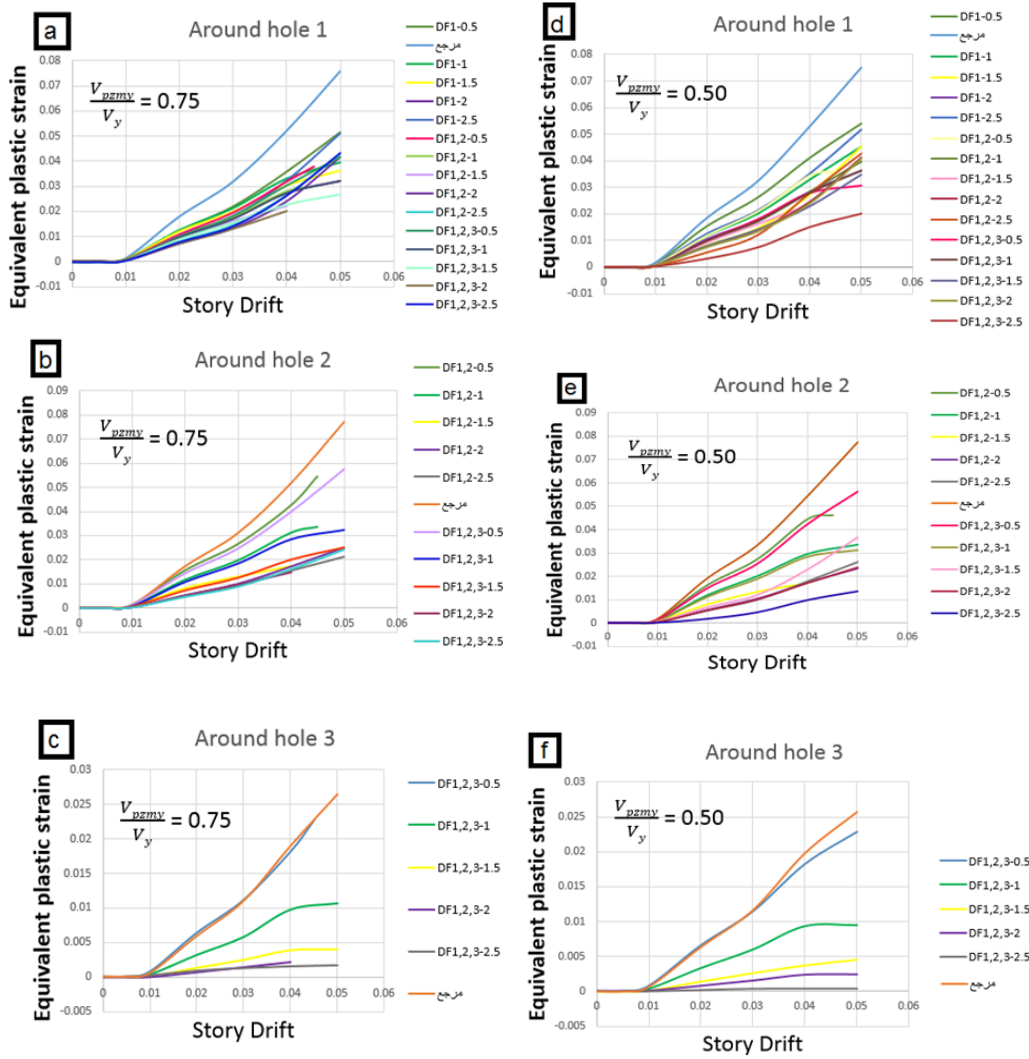
میزان استهلاک انرژی چرخه ای نمونه ها در جدول ۶ محاسبه شده است. مقادیر این جدول نشان می دهد که استهلاک انرژی چشمه اتصال متوسط بیشتر از چشمه اتصال قوی می باشد. دلیل این افزایش مشارکت چشمه اتصال متوسط نسبت به قوی در

تحلیلی مرجع میزان ۴۶٪ کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های ردیف اول کاهش یافته است. با لوبیایی کردن ردیف اول و دوم سوراخ‌ها در نسبت $\left(\frac{L}{D}=2\right)$ نسبت به نمونه تحلیلی مرجع میزان ۵۳٪ و ۶۸٪ کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های ردیف اول و دوم کاهش یافته است. با لوبیایی کردن ردیف اول و دوم و سوم سوراخ‌ها در نسبت $\left(\frac{L}{D}=2\right)$ نسبت به نمونه تحلیلی مرجع میزان ۵۴٪ و ۶۸٪ و ۸۷٪ کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌های ردیف اول و دوم و سوم کاهش یافته است (جدول ۴ و شکل ۸).

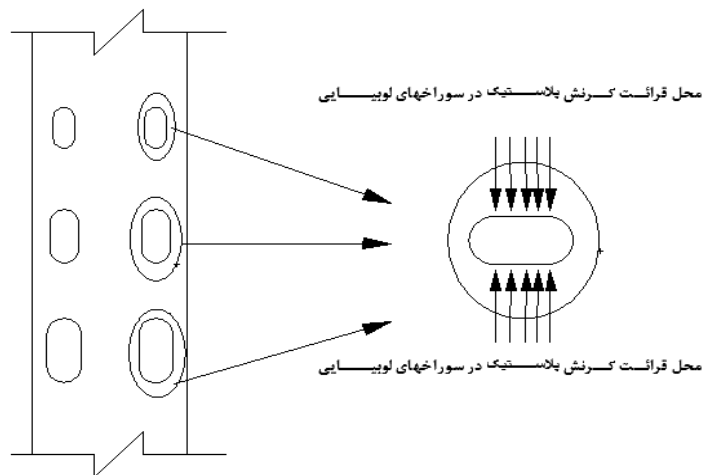
به منظور ارزیابی رفتار لرزه ای مدل‌های پیشنهادی رفتار چرخه ای مدل‌های تحلیلی با رفتار چرخه‌ای مدل تحلیلی مرجع مقایسه می‌شود. شکل ۱۰ نمودارهای منحنی چرخه‌ای مدل‌های تحلیلی با نسبت $\left(\frac{L}{D}=2\right)$ و چشمه اتصال متوسط و قوی را نشان می دهد. با مقایسه شکل ۱۰ و ۶ افت پاسخ‌ها که بعد از دوران کلی ۰/۰۴ رادیان

جدول ۴. مقادیر کرنش پلاستیک معادل (EPEQ) در کنار سوراخ‌ها در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی های مختلف سوراخ لوبیایی. مقادیر سبز برای نمونه تحلیلی آزمایش مرجع و مقادیر زرد سوراخ‌های لوبیایی می باشد

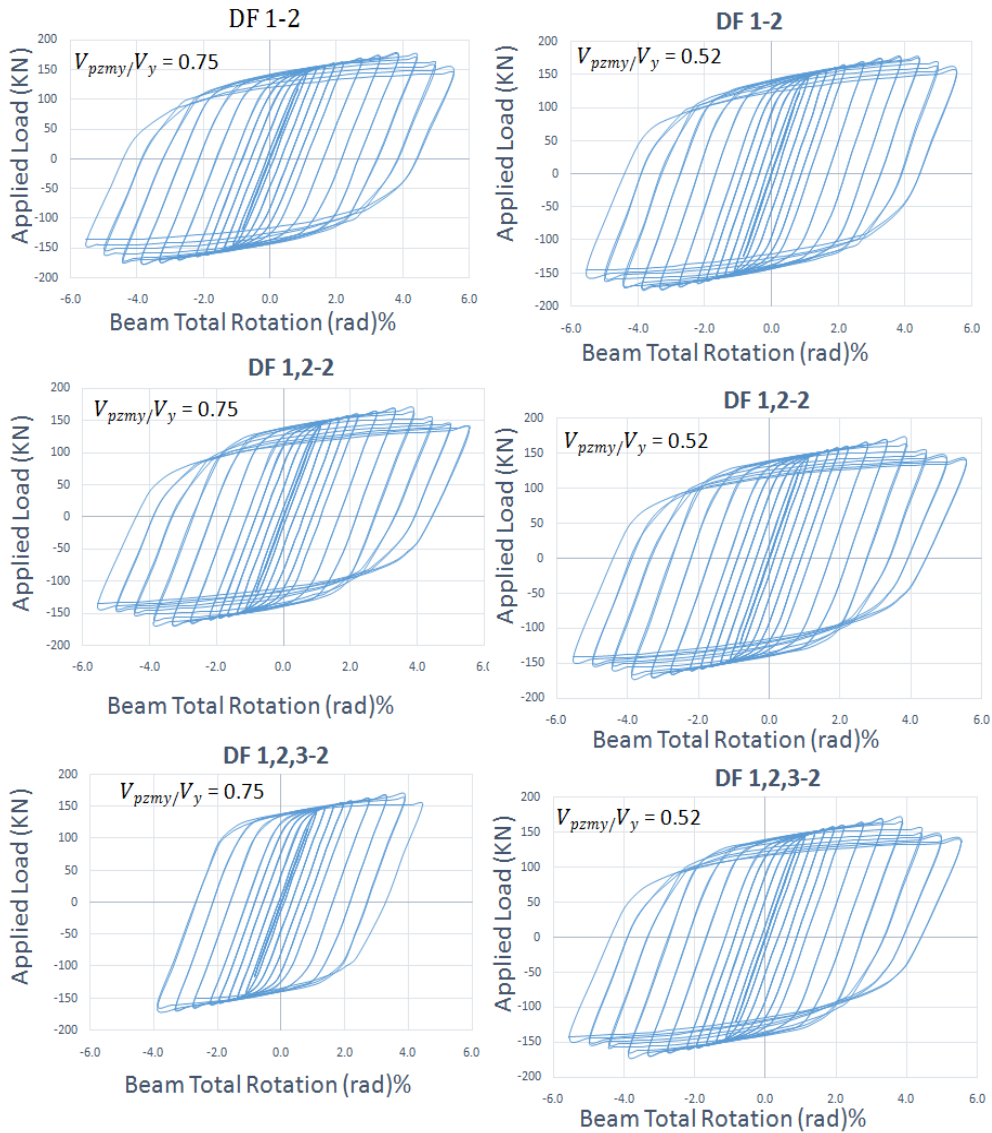
نمونه‌های تحلیلی	چشمه اتصال متوسط			چشمه اتصال قوی		
	EPEQ کنار سوراخ در ۰/۰۴ رادیان			EPEQ کنار سوراخ در ۰/۰۴ رادیان		
	سوراخ ردیف ۱	سوراخ ردیف ۲	سوراخ ردیف ۳	سوراخ ردیف ۱	سوراخ ردیف ۲	سوراخ ردیف ۳
مرجع	0.0520	0.0195	0.0173	0.0529	0.0545	0.0198
DF 1-0.5	0.0358	0.0404	0.0223	0.0411	0.0410	0.0147
DF 1-1	0.0330	0.0314	0.0202	0.0329	0.0315	0.0198
DF 1-1.5	0.0302	0.0257	0.0158	0.0273	0.0222	0.0125
DF 1-2	0.0275	0.0227	0.0131	0.0284	0.0231	0.0132
DF 1-2.5	0.0321	0.0149	0.0080	0.0353	0.0143	0.0076
DF 1,2-0.5	0.0320	0.0179	0.0140	0.0346	0.0446	0.0144
DF 1,2-1	0.0282	0.0162	0.0088	0.0284	0.0297	0.0092
DF 1,2-1.5	0.0162	0.0134	0.0050	0.0235	0.0171	0.0050
DF 1,2-2	0.0242	0.0146	0.0038	0.0245	0.0174	0.0040
DF 1,2-2.5	0.0265	0.0000	0.0025	0.0280	0.0178	0.0025
DF 1,2,3-0.5	0.0303	0.0171	0.0143	0.0279	0.0424	0.0183
DF 1,2,3-1	0.0274	0.0156	0.0108	0.0281	0.0284	0.0094
DF 1,2,3-1.5	0.0228	0.0130	0.0073	0.0229	0.0229	0.0037
DF 1,2,3-2	0.0201	0.0141	0.0051	0.0240	0.0172	0.0024
DF 1,2,3-2.5	0.0262	0.0000	0.0046	0.0152	0.0099	0.0004



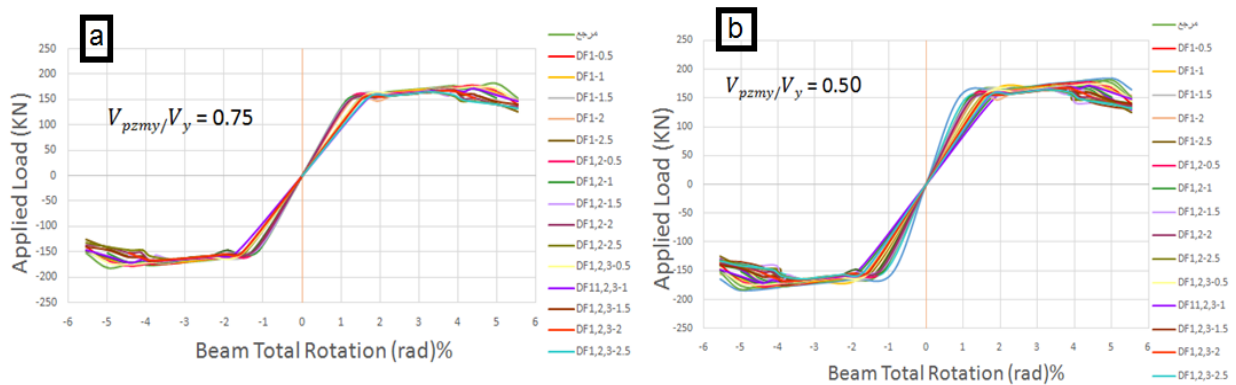
شکل ۸. (a)، (b)، (c). کرنش پلاستیک معادل (EPEQ) در کنار سوراخ‌های لوبیایی در تغییر شکل نسبی طبقه ۴/۰+ رادیان و - (a)، (b)، (c). برای نسبت $V_{pzy}/V_y = 0.50$ و (d)، (e)، (f). برای نسبت $V_{pzy}/V_y = 0.75$



شکل ۹. محل قرائت کرنش پلاستیک در کنار سوراخ‌ها



شکل ۱۰. منحنی چرخه ای برای نسبت $(\frac{L}{D}=2)$ تا تغییر شکل نسبی طبقه $+0.5/+0.5$ رادیان سمت چپ برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.75$ و سمت راست برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.50$



شکل ۱۱. پوش منحنی چرخه ای تا تغییر شکل نسبی طبقه $+0.5/+0.5$ رادیان (a). برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.75$ و (b). برای نسبت $V_{pzmy}/V_y = 0.50$

جدول ۵. مقادیر درصد افت منحنی چرخه ای در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی های مختلف سوراخ لوبیایی

نمونه‌های تحلیلی	چشمه اتصال متوسط			چشمه اتصال قوی		
	مقاومت ماکزیمم	افت مقاومت در ۰.۰۴ رادیان	درصد افت مقاومت	مقاومت ماکزیمم	افت مقاومت در ۰.۰۴ رادیان	درصد افت مقاومت
DF 1-0.5	17723	16763	5.42%	17363	14479	16.61%
DF 1-1	17575	16237	7.61%	17477	14282	18.28%
DF 1-1.5	17452	16955	2.85%	16005	14752	7.83%
DF 1-2	17362	16170	6.87%	17490	15977	8.65%
DF 1-2.5	16944	15866	6.36%	16146	14687	9.04%
DF 1,2-0.5	17649	16884	4.33%	17552	16278	7.26%
DF 1,2-1	17039	15187	10.87%	17192	16435	4.40%
DF 1,2-1.5	16968	15723	7.34%	16628	15855	4.65%
DF 1,2-2	16644	15189	8.74%	16840	15178	9.87%
DF 1,2-2.5	16440	15783	4.00%	15955	14387	9.83%
DF 1,2,3-0.5	17475	17161	1.80%	17165	13924	18.88%
DF 1,2,3-1	17141	15921	7.12%	16968	14755	13.04%
DF 1,2,3-1.5	16855	15984	5.17%	16542	14328	13.38%
DF 1,2,3-2	16679	15299	8.27%	16809	15290	9.04%
DF 1,2,3-2.5	16417	15976	2.69%	16428	14454	12.02%

جدول ۶. مقادیر استهلاک انرژی چرخه ای در تغییر شکل نسبی طبقه ۰/۰۴ رادیان برای پیکربندی های مختلف سوراخ لوبیایی

نمونه‌های تحلیلی	چشمه اتصال متوسط	چشمه اتصال قوی
	KN.cm	KN.cm
آزمایش مرجع	19700	19571
DF 1-0.5	19246	18860
DF 1-1	19077	18979
DF 1-1.5	18947	17375
DF 1-2	18859	18983
DF 1-2.5	18391	17545
DF 1,2-0.5	19179	19053
DF 1,2-1	18501	18673
DF 1,2-1.5	18426	18078
DF 1,2-2	18069	18296
DF 1,2-2.5	17814	17329
DF 1,2,3-0.5	18981	18611
DF 1,2,3-1	18628	18388
DF 1,2,3-1.5	18314	17964
DF 1,2,3-2	18080	18261
DF 1,2,3-2.5	17794	17854

که در انجام این تحقیق مؤثر بودند قدردانی می‌گردد.

مراجع

- [1] Youssef. NFG, Bonowitz. D, Gross. JL. A, survey of steel moment resisting frame buildings affected by the 1994 Northridge earthquake, NIST, Report No. NISTIR 5625, Gaithersburg, MD, (1995).
- [2] FEMA, State of the art report on connection performance, Report No, FEMA-355D, Federal Emergency Management Agency, (2000).
- [3] Engelhardt. M. D, Fry. G, Johns. S, Venti. M, Holliday. S, Behavior and design of radius cut reduced beam section connections, Rep. No. 00/17, SAC, California, (2000).
- [4] Uang. C, Yu. Q, Noel. S, Gross. J, Cyclic testing of Steel Moment Connections Rehabilitated with RBS or Welded Haunch, Journal of Structural Engineering (ASCE), 126(1) 2000(57-68).
- [5] Roeder. CW, Connection Performance for Seismic Design of Steel Moment Frames, Journal of Structural Engineering (ASCE), 128(4) (2002) 517-525.
- [6] Lee. C, Jung. J, Oh. M, Koo. E, Experimental Study of Cyclic Seismic Behavior of Steel Moment Connections Reinforced with Ribs, Journal of Structural Engineering (ASCE), 131(1) (2005) 108-118.
- [7] Chou. C, Wu. C, Performance Evaluation of Steel Reduced Flange Plate Moment Connections, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 36(14) (2007) 2083-97.
- [8] Pachoumis. DT, Galoussi.s EG, Kalfas. CN, Christitsas. AD, Reduced beam section moment connections subjected to cyclic loading Experimental analysis and FEM simulation, Journal of Engineering Structure, 31(1) (2009) 216-223.
- [9] M.GH. Vetr, M. Miri, A. Haddad, Seismic Behavior of a New Reduced Beam Section Connection by Drilled Holes Arrangement (RBS_DHA) on the Beam Flanges through Experimental Studies, 15th World Conference of Earthquake Engineering(15WCEE), Lisbn, Portugal, (2012).
- [10] Ghassemieh. M, Kiani. J, Seismic Evaluation of Reduced Beam Section Frames Considering Connection Flexibility,

استهلاک انرژی کل در اتصال مذکور می باشد. از طرفی بر طبق شکل ۱۱ با وجود کاهش کرنش‌های پلاستیک، میزان سختی اولیه در نمودارها حداکثر ۱۵٪ نسبت به نمونه مرجع کاهش دارد که از معایب سوراخ‌های لوبیایی است.

۶- جمع بندی

کار تحلیلی بروی ۳۰ عدد مدل با تبدیل کردن سوراخ‌های معمولی به لوبیایی با طول‌های مختلف در اتصال بال سوراخ شده و همچنین چشمه اتصال با درجه متوسط و قوی انجام گردید و نتایج ذیل بدست آمد.

۱- تحلیل نشان می دهد سوراخ لوبیایی می‌تواند مانند سوراخ‌های عادی در اتصال سوراخ شده ضوابط آیین‌نامه AISC [۱۷] را ارضا کند.

۲- تحلیل‌ها نشان می دهد که بهترین حالت آرایش سوراخ لوبیایی آرایش سه گانه نسبت به آزمایش مرجع می باشد. بر این اساس بیشترین کاهش پتانسیل شکست نسبت به آزمایش مرجع کنار خط جوش برای آرایش سه ردیف سوراخ لوبیایی است که مقدار ۶۵٪ کاهش نسبت به نمونه مرجع می‌باشد.

۳- تحلیل‌ها نشان می دهد که بهترین حالت آرایش سوراخ لوبیایی آرایش سه گانه نسبت به آزمایش مرجع برای بیشترین کاهش کرنش پلاستیک کنار سوراخ به میزان ۵۴٪ و ۶۸٪ و ۸۷٪ در کنار سوراخ‌های ردیف اول و دوم و سوم است.

۴- بهترین نسبت $\left(\frac{L}{D}\right)$ برای آرایش سه ردیف سوراخ لوبیایی با عدد ۲ می باشد که مقدار RI و $EPEQ$ کنار جوش اتصال تیر به ستون را بین ۶۵٪ و ۲۸٪ نسبت به نمونه تحلیلی آزمایش مرجع کاهش می دهد.

۵- تحلیل‌ها نشان می دهد که بیشترین مقدار افت مقاومت برای نسبت $\left(\frac{L}{D} = 0.50\right)$ و $V_{pzmny} / V_y = 0.50$ برابر ۱۸٫۸۸٪ می باشد که ضوابط AISC [۱۷] را برای قاب مقاوم خمشی ویژه رعایت می کند.

۶- تحلیل‌ها نشان می دهد که میزان سختی حداکثر ۱۵٪ نسبت به نمونه مرجع کاهش دارد که از معایب سوراخ‌های لوبیایی است.

تشکر و قدر دانی

از کلیه اساتید و کارکنان دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شرق

- micromodels for ultra low cycle fatigue crack initiation in steel structures, Proceedings of the structures congress and exposition, ASCE, Reston, VA, (2005).
- [16] Kanvinde. AM, Deierlein. GG, A cyclic void growth model to assess ductile fracture in structural steel due to ultra low cycle fatigue, J Eng Mech, 133(6) (2007) 701-712.
- [17] AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago (IL), American Institute of Steel Construction, (2016).
- [18] ANSYS, Release 16 reference manual, Swanson Analysis Systems, Inc, (2000).
- [19] El-Tawil. S, Mikesell. T, Vidarsson. E, Kunnath. S, Strength and ductility of FR welded bolted connections, Report No, SAC/BD-98/01, Sacramento, CA, SAC Joint Venture, (1998).
- [20] ATC. 24, Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures, Applied Technology Council, (1992).
- Structural Design of Tall and Special Buildings, (2013) 1248-1269.
- [11] Farrokhi. H, Danesh. F, Eshghi. SA, Modified Moment Resisting Connection for Ductile Steel Frames Numerical and experimental investigation, Journal of Constructional Steel Research 65(10-11) (2009) 2040-2049.
- [12] Ardavan. Atashzaban, Iman. Hajirasouliha, Roohollah. Ahmady. Jazany, Mohsen Izadina, Optimum drilled flange moment resisting connections for seismic regions, Journal of Constructional Steel Research, (2015).
- [13] Roohollah. Ahmady. Jazany, [Improved design of drilled flange \(DF\) moment resisting connection for seismic regions](#), Bulletin Earthquake Engineering, 16 (2017) 1987-2020.
- [14] Hancock. JW, Mackenzie. AC, On the mechanisms of ductile failure in high strength steels subjected to multi-axial stress states, J Mech Phys Solids 24 (1976) 147-169.
- [15] Kanvinde. AM, Deierlein. GG, Continuum based

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

P. Shademan, R. Ahmady Jazany, Study of Seismic Behavior of Drilled Flange Connection with Slot Hole, Amirkabir J. Civil Eng., 53(1) (2021) 229-246.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14422.5652](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14422.5652)



