

## تغییرات لنگر - دوران در اتصال خورجینی

دانشیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی

فریدون ایرانی

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی

محمد یوسف سعیدی

### چکیده

در این مقاله مهمترین مشخصه اتصال خورجینی تیر به ستون که همان منحنی لنگر - دوران اتصال است براساس مشخصات نبشی‌های اتصال معین شده است. برای این منظور از یک مدل ریاضی برای نمایش منحنی فوق استفاده شده است که دارای سه پارامتر است. دو پارامتر اول به ترتیب سختی اولیه اتصال و ظرفیت نهایی لنگر اتصال است و پارامتر سوم یعنی پارامتر شکل اتصال خورجینی به روش حداقل مربعات و براساس یافته‌های تجربی معین شده است. در نهایت به کمک نتایج آزمایش‌ها و معادلات ریاضی روشی عملی برای تعیین سختی خمشی اتصالات خورجینی معین شده است.

کلمات کلیدی: سازه‌های فولادی، اتصالات، اتصالات نیمه صلب، اتصال خورجینی.

## Moment – Rotation Curve in Saddlebag Connections

F. Irani and M. Y. Saïdi

Dept. of Civil Eng., School of Eng., Ferdowsi University, Meshad, Iran

### Abstract

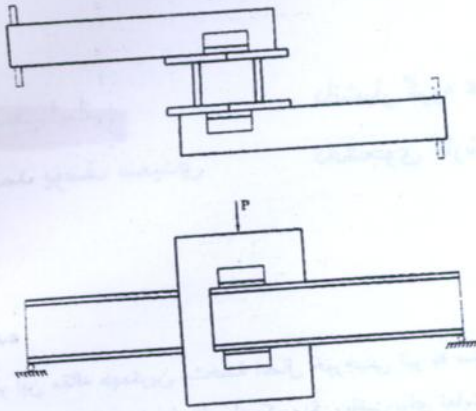
In this paper the most important character of saddlebag type connection which is the moment – rotation relation has been driven based on the dimensions of its constitutive angles. An analytical model with three parameters has been chosen to present the moment – rotation relationship. The two first parameters are respectively the initial stiffness and ultimate moment capacity of the connection, the third one (shape parameter) has been determined by the least square method. Finally considering the test results and mathematical equations a practical method is proposed to determine the rigidity of all saddlebag type connection.

**Key words:** Steel structures, Connections, Semi-rigid connections, Saddlebag type connections.

۱- مقدمه

اتصال خورجینی تیرها به ستون که توسط مجریان سازه‌های فولادی پیر ایران و در برخی دیگر از کشورها به دلیل سادگی در اجرا متداول شده است. روش مدونی جهت تعیین مشخصات طراحی آن وجود ندارد و مهندسین مجری بر اساس تجربه خود اقدام به انتخاب مشخصات نبشی‌های اتصال می‌نمایند و اغلب طراحان این گونه اتصالات را اتصال ساده تصور می‌کنند که بر طبق یافته‌های تجربی با عملکرد اتصال ناسازگار است.

در سالیان گذشته تحقیقات متعددی به منظور شناسایی عملکرد این اتصال از طرف محققین ایرانی (نظیر [۱] و [۲]) انجام گرفته است. در این مقاله بر اساس یافته‌های حاصل از عملکرد نمونه‌های آزمایشی و تحلیل نظری روش ترسیم منحنی  $M - \theta$  برای این اتصال ارائه شده است.



شکل ۱- مدل نمونه‌های آزمایشی اتصال خورجینی

در کلیه آزمایش‌ها متغیرهای آزمایشگاهی ابعاد هندسی نبشی‌ها است که در جدول (۱) مشخصات نمونه‌ها آورده شده است.

۲- تشریح آزمایش و ارائه یافته‌های تجربی

۲-۱- شرح نمونه‌های آزمایشی

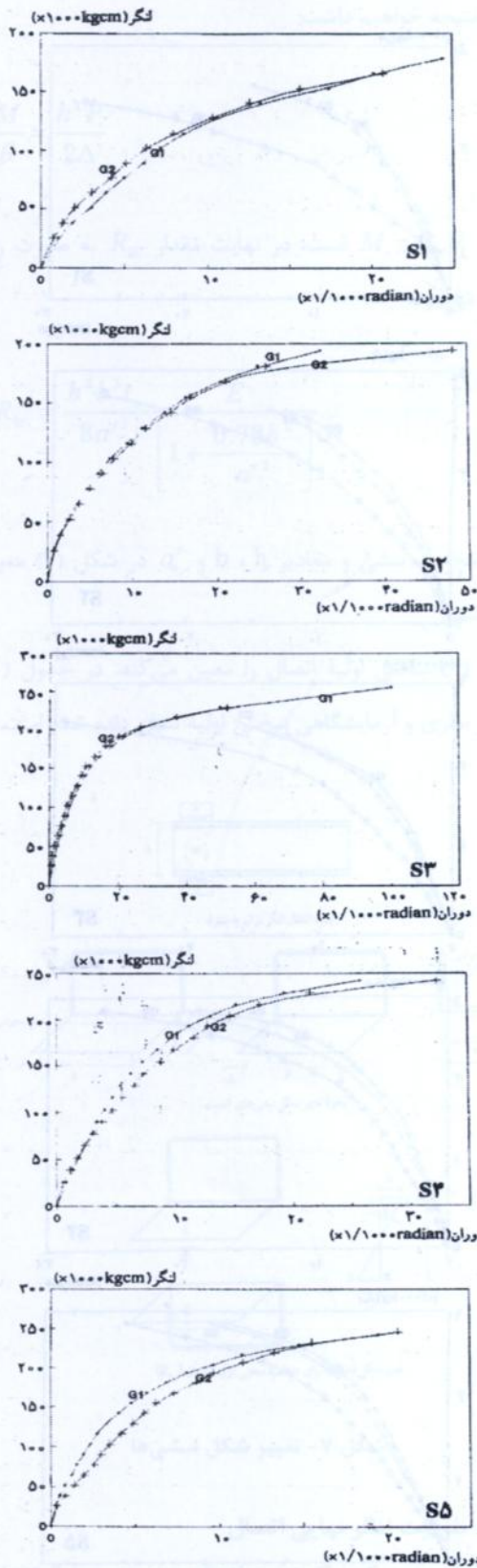
با استفاده از تجارب آزمایشگاهی موجود در مراجع مختلف [۳] و [۴] اقدام به تهیه نمونه‌های آزمایشی گردید. هر نمونه آزمایش در بر گیرنده دو اتصال خورجینی کناری است که همزمان تحت بارگذاری قرار می‌گیرند شکل (۱). هر یک از نمونه‌ها از دو قطعه نیمرخ IPE۱۴ به طول یک متر به‌عنوان تیر و از دو قطعه نیمرخ IPE۱۴ به طول ۷۰ سانتی‌متر به‌عنوان ستون و از چهار نبشی یکسان تشکیل شده است. جوشکاری نبشی‌ها در کل ضخامت نبشی و نظیر جوشکاری کارگاهی انجام شده است. نحوه بارگذاری نمونه‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۲- ابزار اندازه‌گیری

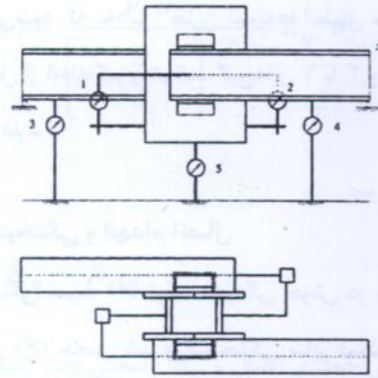
برای بارگذاری نمونه‌ها از جک ۱۰ تنی و برای اندازه‌گیری تغییر مکان هر نمونه از ۵ گیج مکانیکی (۳ گیج برای اندازه‌گیری تغییر مکان انتقالی و ۲ گیج برای اندازه‌گیری تغییر مکان دورانی) استفاده گردید. در شکل (۲) محل استقرار وسایل اندازه‌گیری تغییر مکان (گیج‌ها) نشان داده شده است دو گیج ۱ و ۲ جهت تعیین دوران نسبی تیر و ستون (با استفاده از میله‌هایی به طول ۳۰ سانتی‌متر از مرکز اتصال خورجینی) و دو گیج ۳ و ۴ به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از لبه بال ستون به منظور تعیین تغییر مکان تیر و گیج ۵ که در زیر ستون قرار دارد جهت تعیین تغییر مکان ستون در اثر بارگذاری به‌کار رفته است.

جدول ۱- مشخصات هندسی نمونه‌ها

توضیحات	طول نبشی‌ها cm	مشخصات نبشی‌ها	تیر به طول ۱۰۰ cm	ستون به طول ۷۰ cm	شماره نمونه
ساخته‌شده با ورق	۸	۴L۶۰×۶۰×۵	۲IPE۱۴	۲IPE۱۴	S۱
ساخته‌شده با ورق	۱۰	۴L۶۰×۶۰×۵	۲IPE۱۴	۲IPE۱۴	S۲
کارخانه‌ای	۸	۴L۸۰×۸۰×۸	۲IPE۱۴	۲IPE۱۴	S۳
کارخانه‌ای	۱۰	۴L۸۰×۸۰×۶	۲IPE۱۴	۲IPE۱۴	S۴
کارخانه‌ای	۱۰	۴L۸۰×۸۰×۸	۲IPE۱۴	۲IPE۱۴	S۵

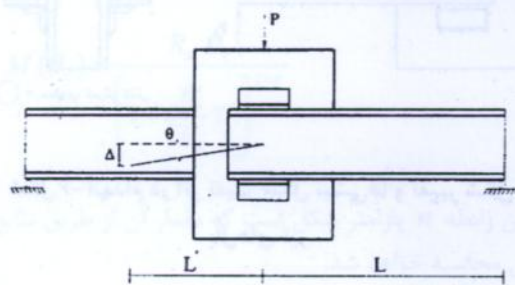


شکل ۴- منحنی لنگر - دوران در نمونه‌های آزمایشی



شکل ۲- وسایل اندازه‌گیری تغییر مکان‌ها

در شکل (۳) نحوه تعیین دوران انتهایی تیر ( $\theta$ ) به کمک اندازه‌گیری توسط گیج‌های ۱ و ۲ معین و محاسبه لنگر اعمال شده به اتصال از طریق روابط (۱) و (۲) نشان داده شده است.



شکل ۳- روش اندازه‌گیری لنگر و دوران اتصال

$$M = \frac{PL}{2} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{\Delta}{L'} \quad (2)$$

مقدار  $L$  برای کلیه نمونه‌ها ۸۵ سانتیمتر شکل (۳) و مقدار  $L'$  برابر با ۳۰ سانتیمتر بوده است. مقادیر  $\Delta$  و  $P$  براساس روند افزایش بار از طریق آزمایش معین شده است.

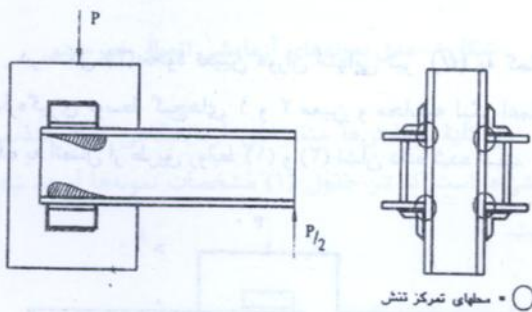
### ۲-۳- نتایج تجربی

در شکل‌های (۴) و (۵) به ترتیب نتایج حاصل از اندازه‌گیری گیج‌های ۱ تا ۵ در قالب نمودار نشان داده شده است. در شکل (۴) منحنی  $M - \theta$  برای نمونه‌ها و در شکل (۵) تغییر مکان سه گیج نشان داده شده است.

ملاحظه می‌شود که به دلیل تقارن نمونه‌ها انطباق مطلوبی بین نتایج حاصل از اندازه‌گیری توسط گیج‌های ۱ با ۲ و گیج‌های ۳ با ۴ وجود دارد.

#### ۲-۴- گسیختگی و انهدام اتصال

گسیختگی نمونه ۱ با ترک خوردگی جوش در محل تمرکز تنش شکل (۶) حاصل شد و گسیختگی سایر نمونه‌ها با تغییر شکل موضعی نبشی‌ها و بال تیر به دست آمد.



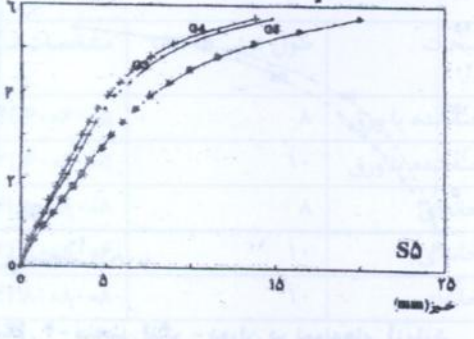
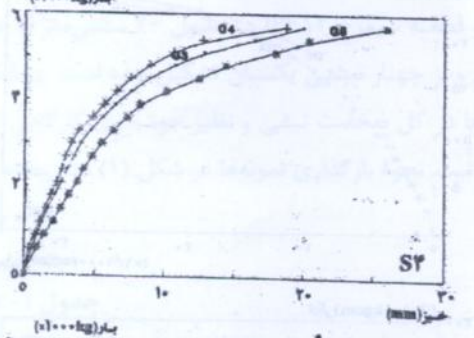
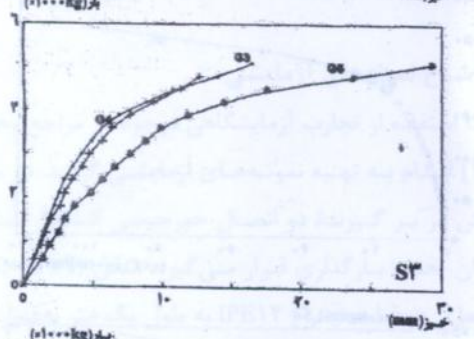
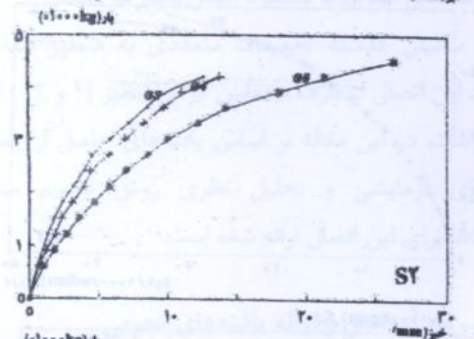
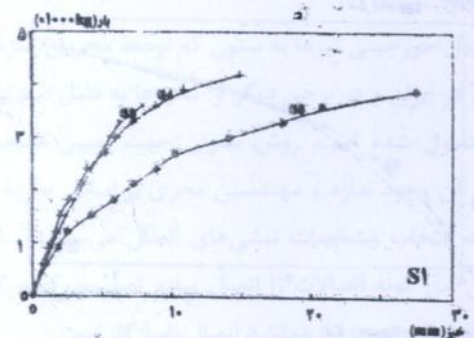
شکل ۶- انهدام در اثر تغییر شکل نبشی‌ها و تغییر شکل بال‌های تیر

#### ۳- مدل ریاضی دوران در اتصال خورجینی

برای تعیین منحنی لنگر - دوران اتصالات نیمه صلب از مدل‌های ریاضی مختلفی [۵، ۶ و ۷] استفاده شده است که از آن جمله مدل چند جمله‌ای (Polynommal Model)، مدل B-اسلاین درجه ۳ (Cubic B-Spline)، مدل نمایی (Exponential Model)، مدل توانی انگ و موریس (Ang-Morris Power Model)، مدل اکسپوناسیل لونی و چن (Lui-Chen Model)، مدل توانی کلسن (Colson Power Model)، مدل توانی کیشی و چن (Kshi and chen Power Model) را می‌توان نام برد. با بررسی دقیق مدل‌های فوق [۸] مدل توانی کیشی و چن برای ارائه منحنی لنگر - دوران این اتصال انتخاب گردید.

#### ۳-۱- مدل توانی کیشی و چن

این مدل ریاضی به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود [۶ و ۷]:



شکل ۵- منحنی بار - خیز در نمونه‌های آزمایشی

و در نتیجه خواهیم داشت:

$$M(\theta_r) = \frac{R_1 \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\theta_r}{\theta_0}\right)^n\right]^{1/n}} + R_{kp} \theta_r \quad (3)$$

که در آن داریم:

$$\frac{M}{\theta} = \frac{h^2 P}{2\Delta} \quad (8)$$

چون  $M = R_{ki} \theta$  است، در نهایت مقدار  $R_{ki}$  به صورت زیر معین می‌شود:

$$R_1 = R_{ki} - R_{kp} \quad (3-1)$$

$R_{kp}$ : سختی خمیری اتصال و  $R_{ki}$ : سختی اولیه اتصال

$$R_{ki} = \frac{h^2 b^3 t_a E}{8a'^3 \left[1 + \frac{0.78b^2}{a'^2}\right]} \quad (9)$$

$$\theta_0 = \frac{M_u}{R_{ki}} \quad (3-2)$$

$t_a$  ضخامت نبشی و مقادیر  $h$ ،  $b$  و  $a'$  در شکل (۷) معین شده است.

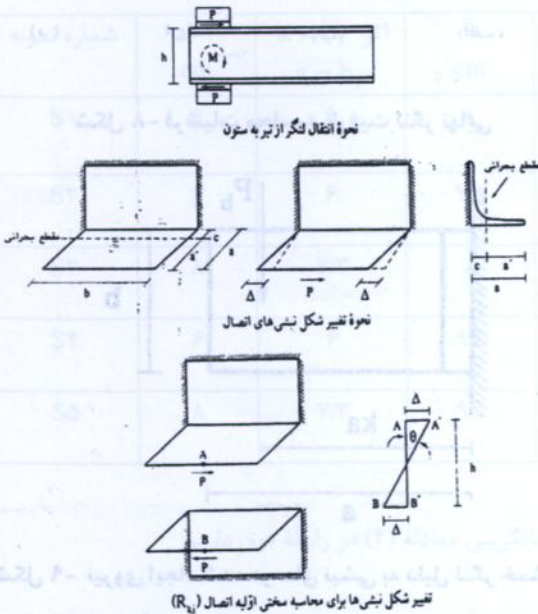
$M_u$ : ظرفیت لنگر نهایی (رابطه ۱۳)

اگر فرض شود که در لنگر نهایی منحنی دارای مجانب افقی باشد  $R_{kp} = 0$  خواهد بود و رابطه (۳) به صورت زیر در می‌آید.

رابطه (۹) سختی اولیه اتصال را معین می‌کند. در جدول (۲) مقادیر نظری و آزمایشگاهی سختی اولیه نشان داده شده است.

$$M(\theta_r) = \frac{R_{ki} \theta_r}{\left[1 + \left(\frac{\theta_r}{\theta_0}\right)^n\right]^{1/n}} \quad (4)$$

در این رابطه  $n$  پارامتر شکل است که مقدار آن از طریق نتایج تجربی محاسبه خواهد شد.



شکل ۷- تغییر شکل نبشی‌ها

### ۳-۳- ظرفیت لنگر نهایی اتصال

فرض می‌شود که لنگر نهایی اتصال مجموع سه لنگر نشان داده شده در شکل (۸) است.

### ۲-۳- محاسبه سختی اولیه اتصال

بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی و تحلیل‌های رایانه‌ای در خصوص نحوه تغییر شکل اتصال می‌توان دریافت که لنگر انتهایی تیر توسط دو زوج نیرو از طریق بال تیرها به ساق نبشی‌ها منتقل می‌گردد و تغییر شکل نبشی‌ها مطابق شکل (۷) خواهد بود. بر این اساس خواهیم داشت شکل (۷).

$$\Delta = \frac{Pa'^3}{3EI_a} \left[1 + \frac{0.78b^2}{a'^2}\right] \quad (5) \text{ (صفحه ۱۸۲۳ مرجع [۷])}$$

$$I_a = \frac{1}{12} b^3 t_a \quad \text{و همچنین بر طبق شکل (۷):}$$

$$\theta = \frac{2\Delta}{h} \quad (6)$$

$$M = Ph \quad (7)$$

جدول ۲- مقایسه بین مقادیر سختی اولیه حاصل از نتایج آزمایشی و نظری  $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$  و  $\sigma_y = 2300 \text{ kg/cm}^2$

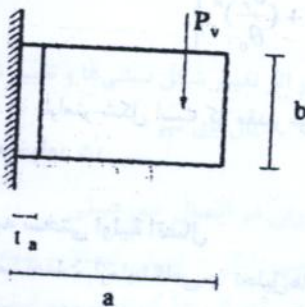
شماره نمونه	a cm	c cm	a' cm	b cm	t <sub>a</sub> Cm	h cm	سختی اولیه اتصال $R_{Ht} \text{ cm/radian}$	
							آزمایشگاهی	رابطه (۹)
S1	۶	۰	۶	۸	۰/۵	۱۴	۲۶/۹	۲۵/۶
S2	۶	۰	۶	۹/۵	۰/۵	۱۴	۳۳/۳	۳۴/۵
S3	۸*	۲/۲۶	۵/۰۴	۸	۰/۸	۱۴	۵۴/۶۲	۵۵/۵
S4	۶	۱/۶۹	۴/۳۱	۹/۵	۰/۶	۱۴	۶۰	۶۹
S5	۸*	۲/۲۶	۵/۰۴	۹/۵	۰/۸	۱۴	۷۳/۵	۷۳/۱

\* مقدار a' در این دو مورد برابر با عرض تیر یعنی ۷/۳ cm منظور شده است.

ب- لنگر پیچشی ناشی از برش (یا  $T_v$ )  
با توجه به شکل‌های (۸-ج) و (۱۰) داریم:

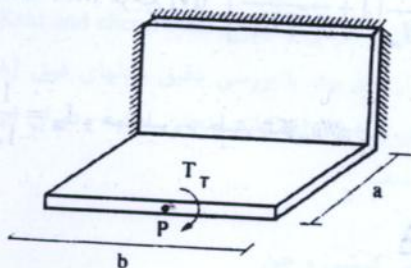
$$P_v = b t \tau_y$$

$$T_v = P_v h = b t h \tau_y = \frac{b t h}{\sqrt{3}} \sigma_y \quad (11)$$



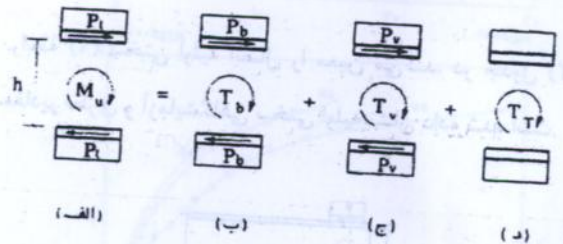
شکل ۱۰- نیروی برش ساق نبشی

ج- لنگر پیچشی ناشی از پیچش ساق نبشی‌ها (یا  $T_T$ )  
با توجه به شکل‌های (۸-د) و (۱۱) خواهیم داشت:

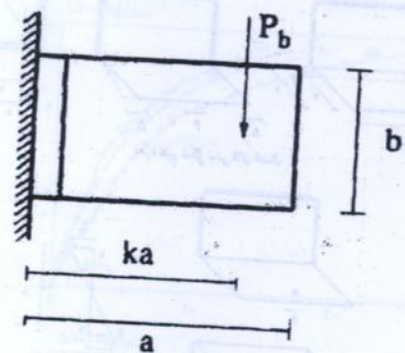


شکل ۱۱- ساق نبشی تحت اثر لنگر پیچشی

الف- لنگر پیچشی ناشی از خمش ساق نبشی (یا  $T_b$ )  
با توجه به شکل‌های (۸-ب) و (۹) خواهیم داشت:



شکل ۸- فرضیات محاسبه ظرفیت لنگر نهایی



شکل ۹- نیروی ایجاد شده در ساق نبشی به دلیل لنگر خمشی

$$M_b = \frac{\sigma_y I}{C} = \frac{\sigma_y b^2 t}{6}$$

$$P_b = \frac{M_b}{k a}$$

$$T_b = P_b h = \frac{M_b}{k a} h = \frac{h b^2 t}{6 k a} \sigma_y \quad (10)$$

یکدیگر مقایسه شده است.

۳-۴ - سختی لحظه‌ای اتصال

سختی لحظه‌ای به ازاء مقدار دلخواه  $\theta_r$  حاصل می‌شود که برابر با شیب خط مماس بر منحنی  $M - \theta_r$  در نقطه مورد نظر است، لذا با مشتق‌گیری از معادله (۴) نسبت به  $\theta_r$  به دست خواهد آمد که با اعمال تغییر متغیرهای لازم در نهایت معادله (۱۴) حاصل می‌شود:

$$R(\theta_r) = \frac{dM}{d\theta_r} = \frac{R_{ki}\theta_0}{\left[1 + \left(\frac{\theta_r}{\theta_0}\right)^n\right]^{\frac{n+1}{n}}} \quad (14)$$

در حالتی که  $n \rightarrow \infty$  میل کند، حد معادله (۱۴) به سمت صفر میل خواهد کرد که بیانگر حالت خمیری کامل اتصال با سختی صفر است.

جدول ۳ - مقایسه بین مقادیر ظرفیت لنگر نهایی تجربی و نظری  $\sigma_y = 2300 \text{ kg/cm}^2$

شماره نمونه	a cm	اگر $a > b_f$ $a = b_f$	b cm	k	t Cm	h cm	$M_u$ t.cm	
							آزمایشگاهی	رابطه (۱۳)
S1	۶	۶	۸	$\frac{1}{3}$	۰.۵	۱۴	۱۷۰	۱۶۲
S2	۶	۶	۹/۵	$\frac{1}{3}$	۰.۵	۱۴	۲۰۰	۲۱۱
S3	۸	۷/۳	۸	$\frac{1}{3}$	۰.۸	۱۴	۲۴۰	۲۳۹
S4	۶	۶	۹/۵	$\frac{1}{3}$	۰.۶	۱۴	۲۵۰	۲۵۵
S5	۸	۷/۳	۹/۵	$\frac{1}{3}$	۰.۸	۱۴	۲۸۰	۳۰۸

با جایگزینی معادله (۴) در رابطه فوق داریم:

$$E(n) = \sum_{k=1}^N \left\{ \frac{R_{ki}(\theta_r)_k}{\left[1 + \left(\frac{\theta_r}{\theta_0}\right)^n\right]^{1/n}} - M_k(\theta_r) \right\}^2 \quad (16)$$

در این معادله:

$$T_r = \frac{r_y J}{C} = \frac{(\sigma_y / \sqrt{3}) \frac{1}{3} b t^3}{t/2} = \frac{2\sigma_y^3 b t^2}{3\sqrt{3}}$$

و برای دو نبشی مقدار فوق در عدد ۲ ضرب می‌شود و لذا داریم:

$$T_r = \frac{4\sigma_y b t^2}{3\sqrt{3}} \quad (12)$$

سرانجام ظرفیت لنگر نهایی اتصال برابر خواهد بود با:

$$M_u = T_b + T_v + T_r$$

$$M_u = \left[ \frac{b^2 h t}{6ka} + \frac{b t h}{\sqrt{3}} + \frac{4 b t^2}{3\sqrt{3}} \right] \sigma_y \quad (13)$$

در روابط فوق  $k$  ضریبی است که بر اساس تحلیل رایانه‌ای و نتایج آزمایشگاهی برابر با  $\frac{1}{3}$  در نظر گرفته می‌شود. در جدول (۳) نتایج آزمایشگاهی و مقادیر نظری بر طبق رابطه (۱۳) با

۳-۵ - تعیین پارامتر شکل  $n$  به روش حداقل مربعات

می‌دانیم که منحنی  $M - \theta_r$  از معادله (۴) حاصل می‌شود که در آن  $\theta_0$  از رابطه (۲-۳) و مقدار  $M_u$  از رابطه (۱۳) و  $R_{ki}$  از رابطه (۹) به دست می‌آید.

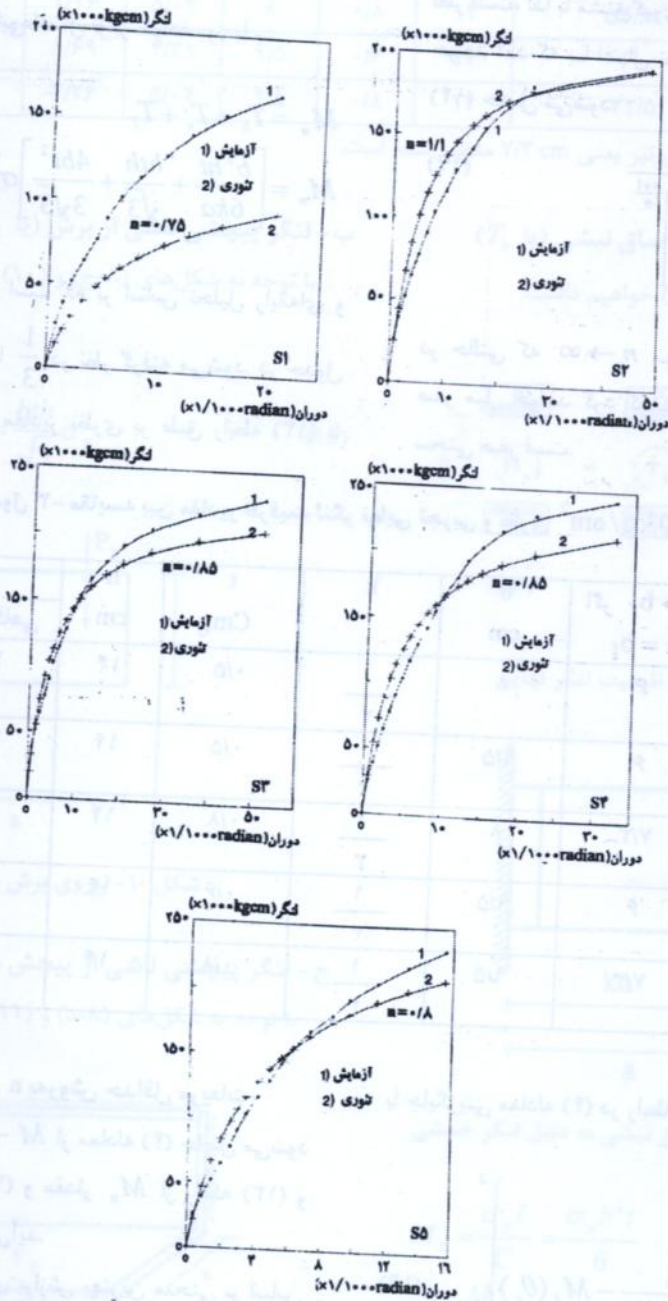
مقدار پارامتر شکل  $n$  برای برازش بهترین منحنی بر اساس نتایج آزمایشگاهی نمونه‌ها به روش حداقل مربعات [۶] به دست می‌آید. رابطه حداقل مربعات به صورت معادله (۱۵) است:

$$E(x) = \sum_{k=1}^m [f(x_k) - y_k]^2 \quad (15)$$

مختلف مقداری از  $n$  که کمترین خطا را داشته باشد به دست می‌آید. با تعیین مقدار  $n$  برای هر آزمایش منحنی  $M-\theta$  بر اساس آزمایش و رابطه نظری در شکل (۱۲) معین شده است.

$k$  ( $\theta_r$ ) دوران  $k$  ام که از آزمایش به دست می‌آید.  $M_k(\theta_r)$  لنگر متناظر با دوران  $k$  ام که از آزمایش به دست می‌آید.

با استفاده از یک برنامه رایانه‌ای و انتخاب مقادیر مختلف  $n$  [۸] و محاسبه مقادیر  $E(n)$  و مقایسه توابع خطا برای  $n$  های



شکل ۱۲- منحنی لنگر - دوران نمونه‌ها  
 ۱- بر اساس نتایج تجربی، ۲- بر اساس نتایج نظری



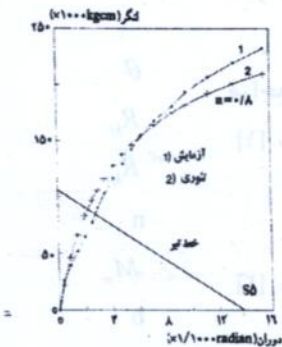
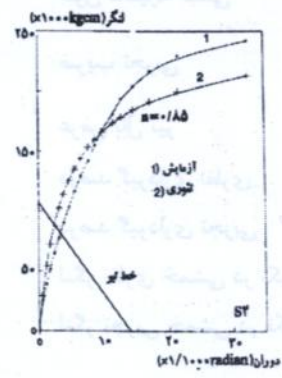
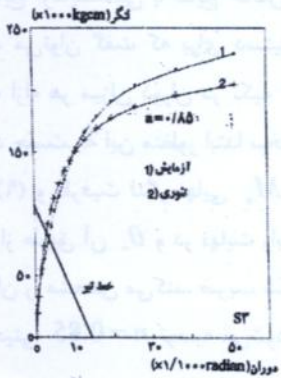
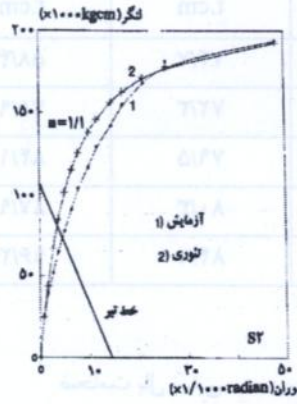
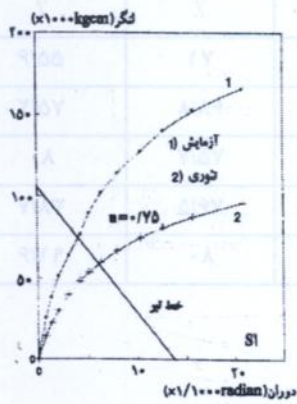
همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌جز نمونه S1 که با ترک خوردگی جوش به گسیختگی می‌رسد و لذا مقدار n در آن نمونه مورد استفاده نخواهد بود، در سایر نمونه‌ها مقدار n و منحنی ترسیمی معقول است و با در نظر گرفتن نتایج حاصل، پیشنهاد می‌شود مقدار n در اتصالات خورجینی برابر با ۰/۸۵ اخذ گردد.

۴- محاسبه درصد گیرداری اتصال خورجینی

برای تعیین درصد گیرداری اتصال باید از روش خط تیر

درصد گیرداری متفاوت خواهد بود.

درصد گیرداری متفاوت خواهد بود.



شکل ۱۳- منحنی لنگر - دوران نمونه‌ها به‌همراه خط تیر

به دست می آید.  $M_{FM}$  لنگر گیرداری کامل اتصال است.

$$\theta = \frac{M'}{M_{FM}} \times 100 \quad (17)$$

در جدول (۴)  $M'_{ex}$  و  $M'_{th}$  به ترتیب لنگر خمشی در محل اتصال با منحنی  $M-\theta$  تجربی و نظری است و  $\theta_{ex}$  و  $\theta_{th}$  به ترتیب درصد گیرداری تجربی و نظری است که از رابطه (۱۷)

جدول ۴ - مقایسه بین درصد گیرداری نمونه های آزمایشی

شماره نمونه	$M_{FM}$ t.cm	$M'_{ex}$ t.cm	$M'_{th}$ t.cm	$\alpha_{ex}$ %	$\alpha_{th}$ %	مشخصه اتصال
S1	۱۰۵	۷۴/۷	۵۸/۴	۷۱	۵۵/۶	نبشی پرسی
S2	۱۰۵	۷۲/۳	۷۸/۹	۶۸/۸	۷۵/۲	نبشی پرسی
S3	۱۰۵	۷۹/۵	۸۴/۱	۷۵/۷	۸۰	نبشی کارخانه ای
S4	۱۰۵	۸۰/۳	۸۷/۹	۷۶/۵	۳۸/۷	نبشی کارخانه ای
S5	۱۰۵	۸۴/۱	۹۶/۲	۸۰	۹۱/۶	نبشی کارخانه ای

### ۵- نتیجه گیری

همانگونه که از تطابق نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از روش نظری مشاهده می شود می توان گفت که برای دستیابی به لنگر گیرداری  $M(\theta_r)$  به ازاء هر میزان دوران در تکیه گاه  $\theta_r$ ، می باید از رابطه (۴) سود جست. به این منظور ابتدا سختی اولیه تکیه گاه  $R_{ki}$  از رابطه (۹) و ظرفیت لنگر نهایی  $M_{ii}$  از رابطه (۱۳) معین می شود و از طریق آن  $\theta_0$  و در نهایت رابطه (۴) منحنی تغییرات لنگر دوران را مشخص می کند. ضریب شکل  $n$  برای اتصالات متعارف خورجینی  $n = 0.85$  توصیه می شود.

### نمادها

$\theta$  دوران تیر در تکیه گاه  
 $R_{ki}$  سختی اولیه اتصال  
 $R_{kp}$  سختی خمیری اتصال  
 $n$  پارامتر شکل (منحنی)  
 $M_{ii}$  ظرفیت لنگر نهایی  
 $b$  عرض نبشی  
 $a$  طول بال نبشی  
 $a'$  از لب بال نبشی تا شروع ماهیچه عمق تیر  
 $h$

ضخامت بال نبشی

طول ماهیچه نبشی

ضریب تجربی

عرض بال تیر

درصد گیرداری نظری

درصد گیرداری تجربی

لنگر نظری خمشی در تکیه گاه

لنگر تجربی خمشی در تکیه گاه

لنگر کامل گیرداری

### مراجع

- [۱] سیمونیان، واهاک و کافی، محمد علی، اعمال اتصالات قیچی در تحلیل ماتریسی سازه ها، انتشارات عمیدی، پاییز ۱۳۷۰.
- [۲] مالک، شاهرخ و طریقت، امیر، مطالعه رفتار الاستیک اتصالات خورجینی، پایان نامه کارشناس ارشد، دانشگاه تهران، ۱۳۷۳.
- [3] N. E. Shanmugugarm and L. C. Ting "Welded Interior Box -Column to I-Beam connections".

$t_a$

$$c = a - a'$$

$$k = \frac{1}{3}$$

$b_f$

$\alpha_{th}$

$\alpha_{ex}$

$M'_{th}$

$M'_{ex}$

$$M_{FM} = \frac{wL^2}{12}$$

- Vol. 115, No. 1, January, 1989, ASCE, paper No 23104.
- [7] N. Kishi. And Wai - Fah Chen "Moment - Rotation Relations of Semi- Rigid Connections with Angles". Journal of Structural Engineering, Vol. 1163, No. 7, July 1990, ASCE, paper No. 24833.
- [۸] سعیدی، محمد یوسف، بررسی رفتار اتصالات خورجینی، پایان نامه کارشناس ارشد، دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۵.
- [9] John. H. Mathews. "Numerical Methods for Computer Science Engineering and Mathematics".
- Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 5, May 1995, ASCE. Paper No: 7933.
- [4] K. C. Tsai and Shun Wa and Egor P. Popov "Experimental Performance of Seismic Steel Beam Column Moment Joints", Journal of Structural Engineering, Vol. 121, No. 6, June 1995, ASCE paper No. 8504.
- [5] W. F. Chen "Steel Beam to - Column Building Connections", Reprinted from Journal of Constructional Steel Research, Vol. 10, 1988.
- [6] Wai-Fah Chen and N. Kishi. "Semi-Rigid Steel Beam - to - Column Connections. Data and Modeling", Journal of Structural Engineering,

## Seismic Analysis of Masonry Structures Including Dynamic Soil-Structure Interaction

M. Hezazi

Surveying Engineering Division, Faculty of Engineering,  
University of Isfahan, Isfahan, Iran

A. Salari

Department of Civil Engineering, Azad University of  
Yasooj, Yasooj, Iran

### Abstract

Dynamic soil-structure interaction problem during earthquakes is a very important topic in the analysis of the dynamic behavior of civil engineering systems. A finite method is the finite and infinite elements coupled model. In this method, the seismic waves propagating from the field (center) are transformed into local dynamic loads acting on the structure boundary between finite and infinite elements where the reflected waves from foundation surface and structure are transmitted back into the far field through the finite and infinite element coupled system. In this paper, the method of damage analysis of masonry structures during earthquakes and obtained results are presented. In this approach, the masonry structure is discretized into finite elements. These elements are coupled with infinite elements that are used to model the infinite soil medium. The examples presented indicate the usefulness of the present method in engineering practice.

Key words: Analysis, Seismic, Dynamic, Soil, Structure, Interaction, Masonry.